



Construção de um kit didático de controle de posicionamento de uma aleta via fluxo de ar

The making of a didactic kit to control the positioning of a flap via air flow

Gustavo Okubo Sabatin ^{*}, Prof. Dr. Emerson Ravazzi Pires da Silva [†]

RESUMO

Módulos didáticos com o propósito de análise dinâmica e estudo de implementação de técnicas de controle têm sido cada vez mais requisitado diante da grande dificuldade de aplicações práticas em plantas reais num ambiente industrial. Esses módulos têm o objetivo de representar, com certa realidade, processos industriais em escala reduzida, porém, com baixo custo relativo de desenvolvimento e maior simplicidade de implementação das mais variadas classes de controladores. Por este ângulo, o presente trabalho demonstra como controlar posição de um mecanismo através do controle de fluxo de ar, e para isso foi criado um módulo didático para controlar a posição de uma aleta impulsionada por uma ventoinha em que o controle é embarcado via arduino. Para garantir o controle da ventoinha foi necessário um controlador proporcional, integrativo e derivativo (PID) em que, os ganhos foram encontrados de maneira empírica, e ainda foi possível suavizar a resposta do sistema através de um filtro de média móvel. A realização deste trabalho, também possibilitou o aprofundamento do conhecimento em outras áreas da engenharia como eletrônica e mecânica.

Palavras-chave: Controle via fluxo de ar. Controle de posição. Módulo didático. Arduino.

ABSTRACT

Didatics modules with the proposal analyze the dynamis and the study of implementation of control technique have been requested more beneath the big difficulties on pratical applications in real installations in a industrial environment. This module has the objective to represent, with certain, reality, industrial process in smaller scale, but, low cost relative to development and with a bigger simplicity of implementations on the most various categories of controllers. For this angle the current work demonstrates how to control mecanism position by control of air flow, and for this it had been created a didatics modules in order to control the flap position that it's driven by cooler, wich control is embedded by Arduino. In order to ensure the cooler control it've been necessary proportional, integrative and derivative controller (PID) that gains were founded in empirical way, in addition it was possible smooth the system answer by a moving average filter. The fulfillment of this work either enabled deepning of knowledge of others engineering areas like eletronics and mechanic.

Keywords: control via air flow. Position control. Didatic modules. Arduino.

1 INTRODUÇÃO

É possível controlar a posição de um mecanismo através do controle de fluxo de ar? Neste trabalho, com um sistema de controle, vamos mostrar que sim.

^{*}  Engenharia de Controle e Automação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, PR, Brasil;
 gu.okubosabatin@gmail.com.

[†]  Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Cornélio Procópio;  emersonr@utfpr.edu.br.



Os sistemas de controle são responsáveis por integrar máquinas e humanos, fornecendo produtos e serviços autônomos, e têm sido cada vez mais requisitado no campo da engenharia e da ciência. Os sistemas de controle são muito importantes para a sociedade moderna contando com inúmeras aplicações como, por exemplo, foguetes que são acionados, ônibus espacial decolando para orbitar a terra, jatos de água para resfriamento, peça metálica usinada automaticamente e veículos autônomos distribuindo materiais para as estações de trabalho (NISE, 2012).

Diante dos diferentes tipos existentes de variáveis que podem ser controladas, o controle de posicionamento é amplamente utilizado na esfera acadêmica e também no meio industrial. A posição é uma variável de extrema importância, com ela pode-se controlar máquinas CNC (do inglês, *Computer Numeric Control*), braços robóticos, válvulas proporcionais entre outros mecanismos (SILVA, 2017). Pode-se observar que há inúmeras aplicações envolvendo o controle de posição, porém, se os dispositivos pertencem a um ambiente fabril torna-se impraticável e muito custoso testar distintas técnicas de controle diretamente na planta industrial em questão, podendo-se justificar em razão da magnitude do sistema e complexidade do projeto.

Sendo assim, torna-se importante o desenvolvimento e a construção de módulos didáticos de baixo custo relativo para que seja possível analisar, implementar, testar e compreender diferentes estratégias da área de controle dinâmico. Sabendo desta necessidade, o presente trabalho tem como propósito a construção de um kit didático de controle de posicionamento de uma aleta via fluxo de ar.

Esse tipo de sistema de controle esta sendo cada vez mais utilizado e explorado nas tecnologias mais recentes como, a título de exemplo, no uso de controle de drones que têm ganhado destaque devido ao seu uso no meio civil, na segurança pública, na agricultura, na obtenção de imagens entre outras atividades (SANTOS; CARDOSO; SILVA CARVALHO, 2015).

Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo principal construir um kit didático onde o objetivo será controlar o posicionamento de uma aleta que é determinado pelo fluxo de ar fornecido por uma ventoinha. Esta aplicação está muito ligada a área acadêmica e está fundamentada no projeto desenvolvido e apresentado em (ALMEIDA et al., 2014).

2 MÉTODO (OU PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS DA PESQUISA)

O kit se baseia na alteração de posição angular de uma aleta impulsionada por um fluxo de ar fornecido por uma ventoinha, em que a variação desse ângulo é capturada por um sensor do tipo infravermelho (sensor IR).

Ao aplicar uma tensão na ventoinha, a mesma fornece um fluxo de ar em direção a aleta, alterando sua posição angular. Simultaneamente, o sensor infravermelho mensura essa alteração e compara com uma referência (*setpoint*) de posicionamento preestabelecida. Caso o ângulo da aleta seja diferente do *setpoint*, o sistema de controle regula a tensão da ventoinha para que a aleta fique na posição desejada

Para a construção do kit foi priorizado utilizar materiais de baixo custo e de fácil acesso para que ele possa, caso necessário, ser facilmente replicado.

O kit é constituído basicamente de uma aleta (neste projeto foi utilizado o polipropileno, material presente nas pastas de plástico muito utilizadas no ambiente acadêmico), de uma ventoinha com alimentação de 12V (comumente utilizada como *cooler* para fazer o resfriamento de aparelhos e equipamentos eletroeletrônicos), de um sensor do tipo infravermelho, de uma placa de prototipagem Arduino[®] que faz toda a interface de controle, além de componentes eletrônicos como um transistor, um potenciômetro e alguns resistores.

Para controlar o posicionamento angular da aleta foi embarcado no Arduino[®] um controlador Proporcional-Integral-Derivativo (PID). A função de transferência do PID está representada na Equação (1). Para mais detalhes

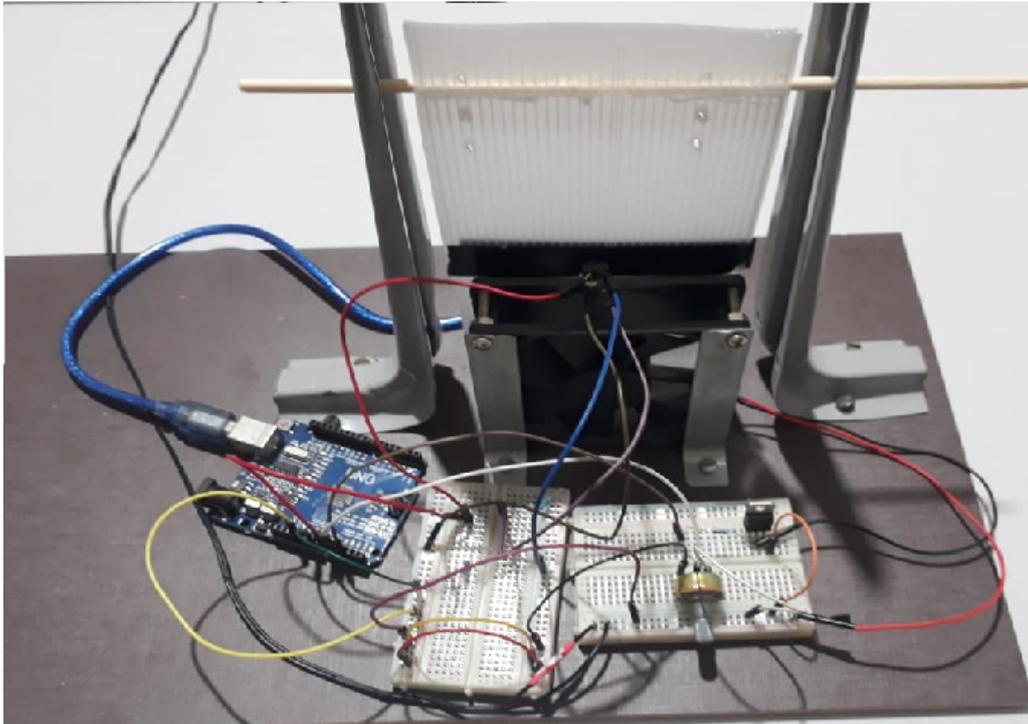
sobre controladores da família PID vide, por exemplo, (NISE, 2012).

$$G_{pid}(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (1)$$

sendo que K_p , K_i e K_d são os ganhos proporcional, integrativo e derivativo, respectivamente. A síntese dos ganhos K_p , K_i e K_d foi realizada de maneira empírica, após exaustivos testes experimentais.

O kit didático de controle de posicionamento de uma aleta via fluxo de ar está ilustrado na Figura 1

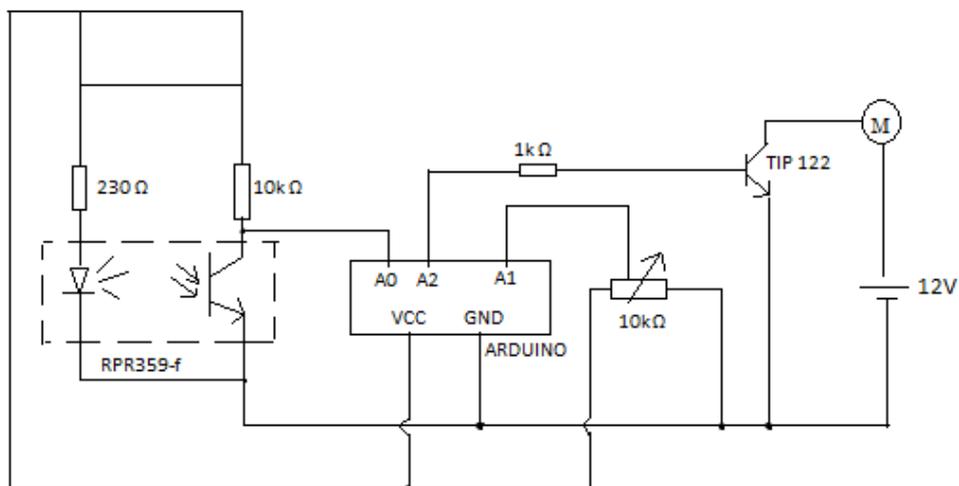
Figura 1 – Kit didático.



Fonte: Autoria Própria (2021).

O diagrama do circuito eletrônico implementado no projeto pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 – Circuito eletrônico.

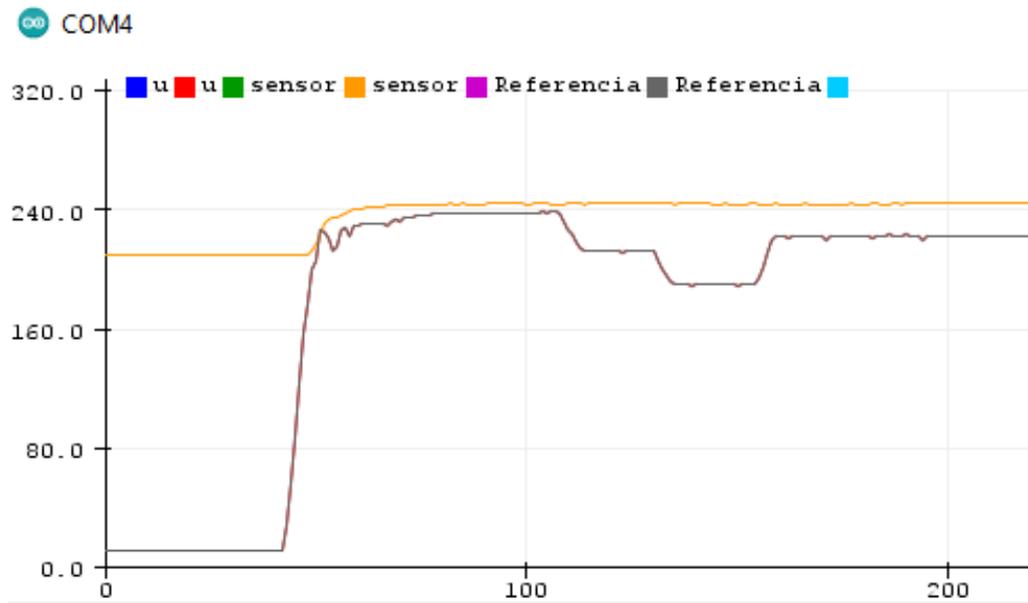


Fonte: Autoria Própria (2021).

3 RESULTADOS

Após realizar a comunicação do kit com o Arduino® para aquisição de dados, foi gerada uma curva de reação da planta em malha-aberta, conforme mostra o gráfico na Figura 3.

Figura 3 – Curva de reação em malha-aberta.



Fonte: Autoria Própria (2021).

Em que a variável u representa o sinal de controle, a variável sensor representa a leitura do sensor IR indicando a variação de posição angular da aleta que é a variável de interesse a ser controlada. A variável referência representa a referência a ser seguida, isto é, o *setpoint* desejado. Pode-se observar que não é possível identificar a variável u pois nesse momento ainda não se tinha um sinal de controle na planta.

Ao analisar a figura 3, pode-se observar que houve erro em regime permanente, ou seja, a variável referência não foi seguida.

Para contornar o problema, foi implementado um controlador PID (Proporcional, Integrativo e Derivativo) a fim de se controlar a posição angular da aleta.

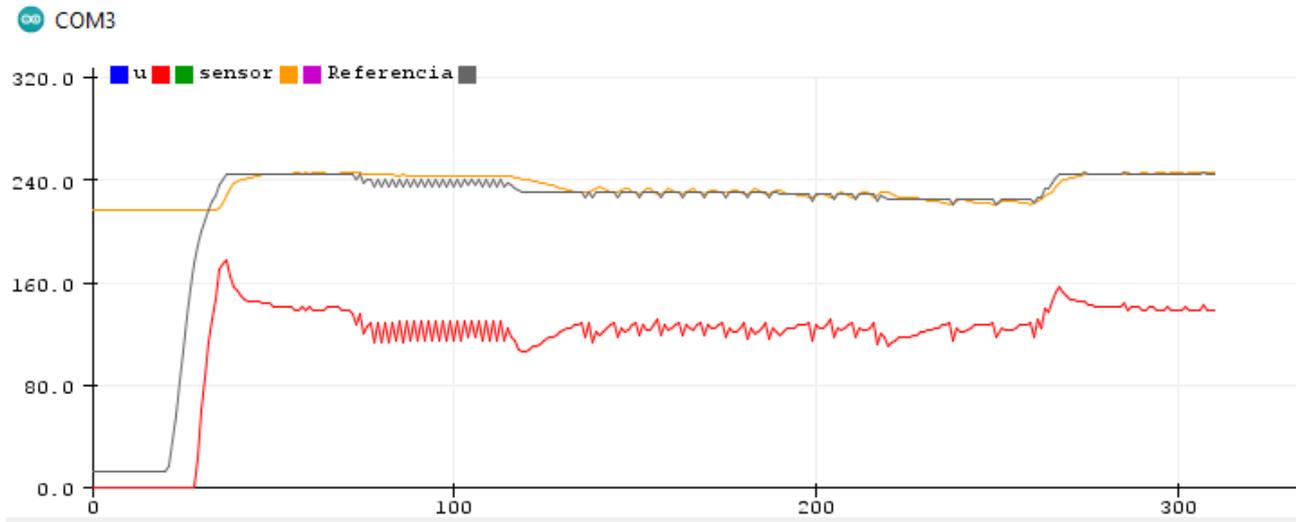
Após inúmeros testes e experimentos para se chegar aos ganhos K_p , K_i e K_d obteve-se o seguinte resultado: $K_p = 2,1$, $K_i = 0,2$ e $K_d = 0,03$ obtendo seguinte resposta em malha fechada que pode ser observada na figura 4

Com o controlador implementado ainda foi possível observar a presença de ruídos influenciando na dinâmica do sistema. Portanto foi condicionado ao controlador um filtro digital de média móvel para que a resposta controlada fosse suavizada com maior intensidade. A resposta pode ser observada na figura 5.

Após a construção do kit didático de controle de posição, comunicação do kit com o placa Arduino® e a sintonia dos ganhos do controlador PID, foi possível obter a resposta controlada de malha-fechada do sistema, bem como o sinal de controle atuante. Ao observar as Figuras 4 e 5 é possível notar que a posição angular da aleta se modifica conforme a reação da referência, é observado também a ausência de *overshoot*, característica desejável nos sistemas de controle.

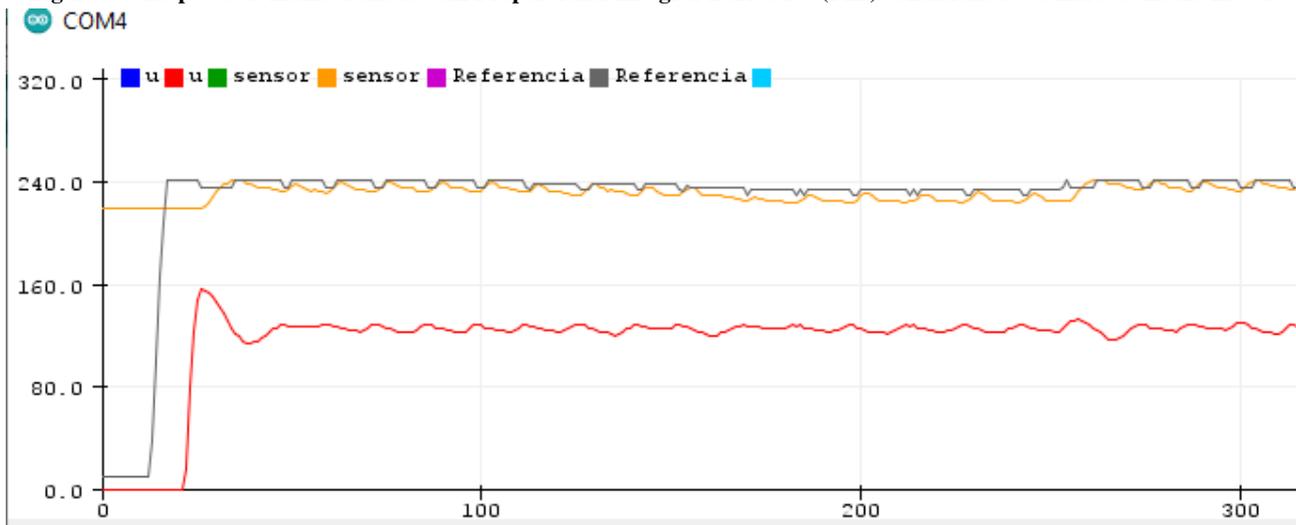
Ainda, comparando as Figuras 4 e 5, é possível constatar que na resposta da Figura 5 existe um atraso no comportamento da variável controlada. Isso deve ao fato da utilização do filtro de média móvel, onde há um

Figura 4 – Resposta de malha-fechada com Proporcional-Integral-Derivativo (PID).



Fonte: Autoria Própria (2021).

Figura 5 – Resposta de malha-fechada com Proporcional-Integral-Derivativo (PID) condicionado ao filtro de média móvel.



Fonte: Autoria Própria (2021).

deslocamento dos pontos de medição conduzidos a uma média e isso gera um atraso na resposta do sistema.

4 CONCLUSÕES

O principal objetivo desse trabalho foi o desenvolvimento e a construção de um kit didático de controle de posição de uma aleta via fluxo de ar, sendo validado através de diferentes testes experimentais. Para o controle do módulo didático foi sintetizado um controlador PID de forma empírica, onde os ganhos K_p , K_i e K_d foram projetados através de diversos ensaios práticos, observando a resposta do sistema em malha-fechada para diferentes valores de ganhos e, desta forma, foi possível alcançar valores de ajustes satisfatórios.

O desenvolvimento deste trabalho proporcionou aprofundar o conhecimento em áreas relacionadas a programação, alimentação, circuitos eletrônicos, sensoriamento e controle dinâmico. Vale destacar que a construção mecânica é de extrema importância para o bom funcionamento do kit, principalmente na definição do



material utilizado na aleta, parte fundamental do projeto. Vários testes e alterações foram realizados de modo a chegar em uma estrutura mecânica adequada.

Um outro fator importante na execução desse projeto foi em relação a gestão de despesas, onde materiais de baixo custo relativo e acessíveis foram utilizados com o propósito de facilitar a replicabilidade do módulo, caso preciso.

Por último, o presente projeto deixa perspectivas de aperfeiçoamento para trabalhos futuros como, por exemplo, realizar a identificação de um modelo matemático apropriado para o sistema, tornando possível a execução de sínteses mais precisas e, conseqüentemente, utilizar-se de outras estratégias de controle mais sofisticadas na abordagem do problema.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Nival Nunes de et al. **1 Vídeo (5 min) Controlador PID com Arduino. Publicado pelo canal: Ricardo Melos.** [S.l.: s.n.], 2014. Disponível em: [🔗](#).

NISE, Norman S. **Engenharia de Sistemas de Controle.** 6. ed. Rio de Janeiro: Grupo Editora Nacional, 2012.

SANTOS, André Almeida dos; CARDOSO, Vitor Campos; SILVA CARVALHO, Luis Paulo da. Automação de voos e calibração de sensores e controladores para um drone de baixo custo. **Mostra Nacional de Robótica (MNR)**, p. 3, 2015.

SILVA, Elves Sousa e. Sistema de Controle de Posição Aplicado a um protótipo de Vávula Proporcional. **Mostra Nacional de Robótica (MNR)**, p. 3, 2017.