

## **MODELAGEM E CONTROLE DE UM LEVITADOR PNEUMÁTICO REVERSO**

*Rafael Pissinati De Souza<sup>4</sup>*

*José Diogo Forte de Oliveira Luna*

*Fernando Gromiko Helena*

**Palavras-Chave** Levitador pneumático, modelagem, controle automático.

### **INTRODUÇÃO**

Levitação pneumática é o processo pelo qual um objeto é erguido sem suporte mecânico em uma posição estável, provendo através de um fluxo de ar uma força para cima que se contrapõe à força gravitacional exercida no objeto. Utilizando esse princípio, os levitadores pneumáticos têm sido uma planta didática para estudo de sistemas de controle automático largamente utilizados tanto como uma plataforma didática para o ensino de teoria de controle como, também, um benchmark para leis de controle avançadas, adaptativas e não-lineares (Takács et al, 2020). Este tipo de sistema pode ser construído de forma relativamente barata, em termos de custo e esforço, desde que se esteja disposto a abrir mão de alguma precisão no sistema (Chacon et al, 2017).

Em Escano et al. (2005) foi descrito um controle de posição de um levitador pneumático. No trabalho foram comparados os desempenhos de controladores PID clássicos, H-infinito robusto e fuzzy. No trabalho de Caro e Quijano (2011) é discutida a utilidade do experimento de levitação pneumática como uma plataforma de ensino e pesquisa em controles clássicos e avançados. Em Rodriguez-Zalapa et al. (2014) o sistema é utilizado com realimentação por visão computacional, mostrando as virtudes do controle fuzzy em sistemas não-lineares com incertezas.

---

<sup>4</sup> Instituto Federal de Rondônia (IFRO)

Em Chacón et al. (2017) é apresentado um estudo sobre diferentes controladores PI não-lineares usando um sistema de levitação pneumática para aplicar os estudos. Já em Chaos et al. (2020), é proposto um controlador chaveado robusto para um levitador pneumático com capacidade de medição limitada.

## **OBJETIVOS**

O presente estudo objetiva apresentar a modelagem e controle de um levitador pneumático invertido, mostrando, ainda, que sua modelagem é equivalente à de um levitador convencional.

## **METODOLOGIA**

A obtenção de um modelo dinâmico para o sistema proposto pode ser feita a partir do conhecimento das leis que regem seus fenômenos. Fazendo o diagrama de corpo livre, sobre o objeto em levitação agem a força peso e a força produzida pelo deslocamento de ar. A dinâmica da velocidade do ar com relação a potência do motor pode ser aproximada por uma dinâmica de primeira ordem (Takács et al., 2020). Obtendo-se as equações diferenciais, chega-se a uma dinâmica não-linear de terceira ordem que descreve o sistema. Ao se contrastar o modelo fenomenológico obtido com aquele apresentado nas literaturas revisadas para levitadores convencionais, nota-se que ambos coincidem completamente. Isso se deve pela força de arrasto depender apenas da direção do fluxo de ar.

Tendo por base a revisão bibliográfica, foi desenvolvido uma plataforma didática de levitador pneumático. O sistema desenvolvido foi fabricado a baixo custo, com retalhos de PS e de acetato compondo sua estrutura.

O objeto a ser levitado é uma bolinha de pingue pongue. Para medir a altitude da bolinha é usado um sensor infravermelho 2y0a21 da Sharp e como atuador foi usado um motor DC escovado para RC e modelismo. O motor é chaveado através de um transistor darlington TIP120 e o controle é embarcado em um Arduino, uma placa de prototipagem de microcontrolador 8 bits de baixo custo.

Note-se que, diferentemente dos sistemas encontrados na literatura, usou-se o soprador montado no topo da coluna, sugando a bolinha de pingue pongue, ao invés de soprá-la, como visto comumente. Igualmente, o sensor foi montado, também, de forma inversa, colocado na base do módulo. Considerando o modelo dinâmico obtido na seção de modelagem, nota-se que o sistema tem o comportamento integrador.

Diante disto, para realizar a sintonia de um controlador, pode-se aproximar o sistema por um sistema de segunda ordem com um integrador. Assim, realizou-se um ensaio de resposta ao degrau para obter uma função de transferência para o sistema. O modelo obtido foi de segunda ordem com um integrador, um segundo polo com constante de tempo de 0,1 segundo e um ganho de 243,29 cm/>. De posse do modelo, foi realizada a sintonia de um controlador PI através do método SIMC, *Simple Internal Model Control* (Skögestad, 2003), com ganho para 0,006 %/cm e o tempo integral para 12 segundos.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Observou-se que independentemente da posição do motor, por gerar o fluxo de ar, seja em cima ou embaixo, a direção do fluxo será a mesma e, portanto, os modelos são iguais. Com a sintonia do controlador PI, conseguiu-se uma resposta dinâmica estável, capaz de rastrear o *setpoint* e rejeitar perturbações, como pode ser observado no link [https://www.youtube.com/watch?v=j21jO\\_7zHlk](https://www.youtube.com/watch?v=j21jO_7zHlk).

## **CONCLUSÕES**

O presente trabalho apresentou a modelagem fenomenológica de um levitador pneumático reverso. Através de dedução, usando as leis fundamentais que regem o comportamento do sistema, foi possível mostrar que o modelo é similar ao de um levitador convencional. Esta constatação permite o uso das técnicas de controle, já estabelecidas para levitadores convencionais, em levitadores reversos.

De modo a exemplificar o funcionamento de tal abordagem, apresentou-se uma aplicação clássica de controle em um dispositivo de levitação pneumática reverso. Em trabalhos futuros cabe-se analisar o uso de técnicas de controle avançado no dispositivo construído.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

CARO, Claudia; QUIJANO, Nicanor. Low cost experiment for control systems. In: **IX Latin American Robotics Symposium and IEEE Colombian Conference on Automatic Control, 2011 IEEE**. IEEE, 2011. p. 1-6.

CHACÓN, Jesus et al. Design of a low-cost air levitation system for teaching control engineering. **Sensors**, v. 17, n. 10, p. 2321, 2017. CHACÓN, J. et al. **Experimental study of nonlinear PID controllers in an air levitation system. IFAC-PapersOnLine**, v. 51, n. 4, p. 304-309, 2018.

CHAOS, D. et al. Robust switched control of an air levitation system with minimum sensing. **ISA transactions**, v. 96, p. 327-336, 2020.

CHOŁODOWICZ, Ewelina; ORŁOWSKI, Przemysław. Low-cost air levitation laboratory stand using MATLAB/Simulink and Arduino. **Pomiary Automatyka Robotyka**, v. 21, 2017.

ESCANO, Juan M.; ORTEGA, Manuel G.; RUBIO, Francisco R. Position control of a pneumatic levitation system. In: **2005 IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation**. IEEE, 2005. p. 6 pp.-528.

RODRÍGUEZ-ZALAPA, Omar; HERNÁNDEZ-ZAVALA, Antonio; HUERTA-RUELAS, Jorge Adalberto. Fuzzy controller for a pneumatic positioning nonlinear system. In: **Mexican International Conference on Artificial Intelligence**. Springer, Cham, 2014. p. 370-381.

SKOGESTAD, Sigurd. Simple analytic rules for model reduction and PID controller tuning. **Journal of process control**, v. 13, n. 4, p. 291-309, 2003.