


CONTROLADOR *FUZZY* APLICADO A UM SISTEMA SERVOPOSICIONADOR PNEUMÁTICO

FUZZY CONTROLLER APPLIED TO A SERVO-PNEUMATIC POSITIONING SYSTEM

Alan Souza Dutra de Paula¹ Gislaine Camargo da Silva¹ Hugo Fernando Yamanaka¹ Ricardo Breganon² Uiliam Nelson Lenzion Tomaz Alves³ João Paulo Lima Silva de Almeida⁴ 

Resumo: Em geral, os sistemas pneumáticos apresentam características que requerem uma estratégia de controle capaz de lidar com eventos inesperados relacionados à dinâmica do fluxo de ar e dos mecanismos (atuadores) envolvidos ao longo do sistema, tais como as válvulas proporcionais eletropneumáticas. Além disso, um modelo matemático representativo deste tipo de sistemas nem sempre é de fácil obtenção. Neste sentido, a utilização de sistemas inteligentes em estratégias de controle é uma opção válida para este contexto, em específico a utilização de controladores *fuzzy*. A principal característica que torna estas estratégias de controle válidas é o fato do projeto de controladores *fuzzy* não depender exclusivamente do modelo matemático da planta a ser controlada e sim, primordialmente, do conhecimento especialista sobre o processo. Com base nesta premissa, este trabalho tem como objetivo apresentar resultados experimentais da implementação de um controlador *fuzzy* para controlar um sistema servoposicionador pneumático. O controlador implementado foi baseado na estrutura PD-Fuzzy, via diagrama de blocos do Simulink e *toolbox* específica de lógica *fuzzy* do Matlab®. Para isso, duas variáveis de entrada e uma de saída foram consideradas, com regras e funções de pertinência definidas pelos autores. Resultados experimentais são apresentados e demonstram desempenho promissores em termos de tempo de subida e erro em regime permanente em patamares aceitáveis para o sistema analisado.

Palavras-chave: Controle *fuzzy*. Controle inteligente. Servoposicionador pneumático. *Simulink*.

¹ Discente do curso de Engenharia de Controle e Automação, IFPR, Jacarezinho, Paraná, {alansouzadutrap; gih828; hugofernandoyamanaka}@gmail.com.

² Doutor em Engenharia Mecânica, IFPR, Jacarezinho, Paraná, ricardo.breganon@ifpr.edu.br.

³ Doutor em Engenharia Elétrica, IFPR, Jacarezinho, Paraná, uiliam.alves@ifpr.edu.br.

⁴ Doutor em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, IFPR, Jacarezinho, Paraná, joao.almeida@ifpr.edu.br.

Abstract: In general, pneumatic systems have characteristics that require a control strategy capable of dealing with unexpected events related to the dynamics of the airflow and the mechanisms (actuators) involved throughout the system, such as electropneumatic proportional valves. Furthermore, a representative mathematical model of these systems can be challenging to obtain. In this way, using intelligent systems in control strategies is a valid option for this context, particularly fuzzy controllers. The main characteristic that makes these control strategies worthwhile is that the design of fuzzy controllers does not depend exclusively on the mathematical model of the plant to be controlled but primarily on specialist knowledge about the process. Based on this premise, this work aims to present experimental results of implementing a fuzzy controller to control a servo-pneumatic positioning system. The implemented controller was based on a PD-Fuzzy structure via diagrams designed on Simulink using a specific Matlab® fuzzy logic toolbox. For this, two input and one output variable were considered, with rules and membership functions defined by the authors. Experimental results are presented and demonstrate promising performance in terms of rise time and steady-state error at acceptable levels for the analyzed system.

Keywords: Fuzzy control. Intelligent control. Servo-pneumatic positioning system. Simulink.

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos desenvolvimentos tecnológicos da área de controle de processos, sempre esteve presente a necessidade de aumento de eficiência por meio de técnicas e equipamentos aprimorados. Uma classe de técnicas para este aprimoramento consiste em métodos de sistemas inteligentes, que visam reproduzir computacionalmente o comportamento intuitivo de um ser humano no controle de um determinado processo (RUSSEL e NORVIG, 2013).

Uma das características importantes de controle de processos baseados em sistemas inteligentes é a metodologia de projeto da estratégia, em que, em muitos casos, não é necessária a obtenção de um modelo matemático representativo da planta a ser controlada, mas sim conhecimentos especialistas são utilizados. Esta característica se torna primordial em casos em que o modelo matemático da planta é de alta complexidade, devido às não-linearidades intrínsecas e/ou incertezas. Neste contexto, os controladores baseados em Lógica *Fuzzy* são amplamente utilizados. A Lógica *Fuzzy* é uma das técnicas da Inteligência Artificial, que surgiu em 1965 com a publicação de um artigo sobre Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*, que teve o objetivo de fornecer um ferramental matemático para o tratamento de informações imprecisas ou vagas (ZADEH, 1965).

Um dos tipos de processos que apresentam parte das características mencionadas anteriormente, em relação a não-linearidades e incertezas, que dificultam a obtenção de um modelo matemático representativo do sistema, consiste nos que possuem elementos pneumáticos. Em geral, os atuadores pneumáticos são elementos mecânicos que, por meio de movimentos lineares ou rotativos, transformam energia cinética gerada pelo ar pressurizado e em expansão, em energia mecânica, produzindo trabalho. A pneumática é o elemento mais simples, de maior rendimento e de menor custo que pode ser utilizado na solução de muitos problemas de automatização, sendo largamente utilizado pelas indústrias (FIALHO, 2004).

A aplicação de controladores inteligentes tem mostrado resultados promissores na área de sistemas de controle. Em Ren *et al.* (2020) é proposta uma estratégia de controle com Rede Neural Artificial (RNA) para o controle de

um sistema servoposicionador pneumático. Abordagens que consideram sistemas de controle *fuzzy* também apresentam resultados promissores, principalmente os que possuem componentes adaptativos (BOUBAKIR *et al.*, 2021) e híbridos, isto é, que operam em conjunto com outras técnicas (MU *et al.*, 2019; AZAHAR *et al.*, 2021). Nos casos apresentados, os aprimoramentos na estratégia de controle são considerados devido as não-linearidades e incertezas dos sistemas pneumáticos a serem controlados, e os controladores se demonstram eficazes.

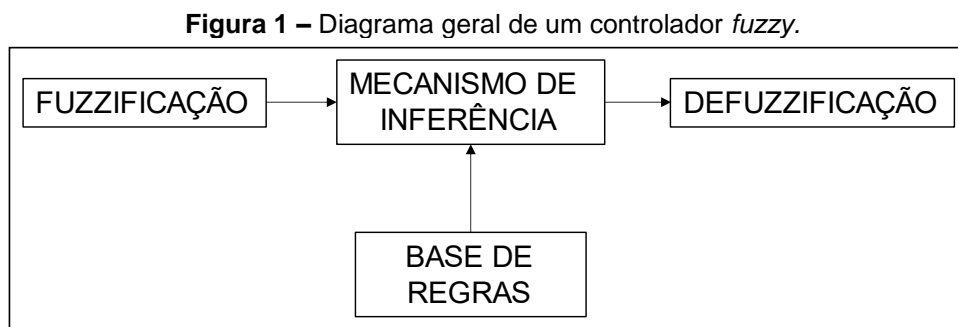
Dado o contexto acima, neste trabalho são apresentadas as principais etapas de projeto de um controlador *fuzzy* implementado em um sistema didático de servoposicionador pneumático, disponível no Laboratório de Automação e Controle, do Instituto Federal do Paraná (IFPR) - Jacarezinho. Neste sistema, tem-se o objetivo de controlar a posição de um bloco acoplado a um guia (deslocamento linear) por meio da atuação em uma válvula eletropneumática. Resultados experimentais são apresentados para validar a estratégia de controle *fuzzy*.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: na Seção 2 são apresentados os principais conceitos sobre o controlador *fuzzy* considerado neste trabalho; na Seção 3 são apresentadas as principais etapas de projeto do controlador, considerando o conhecimento especialista sobre a planta; na Seção 4 são apresentados resultados experimentais da implementação do controlador projetado e, por fim, na Seção 5 são apresentadas as principais conclusões do trabalho.

2 FUNDAMENTOS DE CONTROLADORES FUZZY

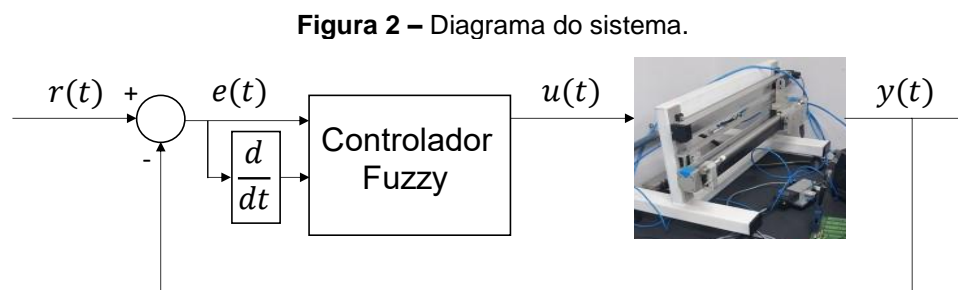
De acordo com Passino (1997), um controlador *fuzzy* é composto pelos seguintes blocos funcionais: *fuzzificação*, base de regras, mecanismo de inferência e *defuzzificação*, conforme sintetizado na Figura 1. A interface de *fuzzificação* trata da conversão dos sinais de entrada (variáveis numéricas) em conjuntos *fuzzy*, ou seja, as entradas “não-*fuzzy*” são “*fuzzificadas*”, por meio de

funções de pertinências; A base de regras é a representação do conhecimento especialista, por meio de uma tabela e tomadas de decisão simples (do tipo “se-então”), acerca do processo a ser controlado; o mecanismo de inferência é a fase onde é gerada a ação de controle através da combinação de regras, de forma a simular tomada de decisões humanas utilizando as implicações *fuzzy*, isto é, ponderar ações de controle frente à incertezas de medidas, por exemplo; por fim, a interface de *defuzzificação* converte a ação de controle *fuzzy*, resultado da inferência *fuzzy*, em valor numérico correspondente e compatível com a entrada do processo a ser controlado.



Fonte: Dos autores.

De uma forma geral, uma estratégia de controle *fuzzy* considera o diagrama apresentado na Figura 1 em malha fechada com o processo a ser controlado. Na Figura 2 é apresentado um exemplo desta malha de controle, já incluso o sistema servoposicionador pneumático em estudo neste trabalho, em que: $r(t)$ é o sinal de referência; $e(t)$ é a medida de erro; $u(t)$ é o sinal de controle aplicado em uma válvula eletropneumática; e $y(t)$ é a saída do sistema (posição do bloco).



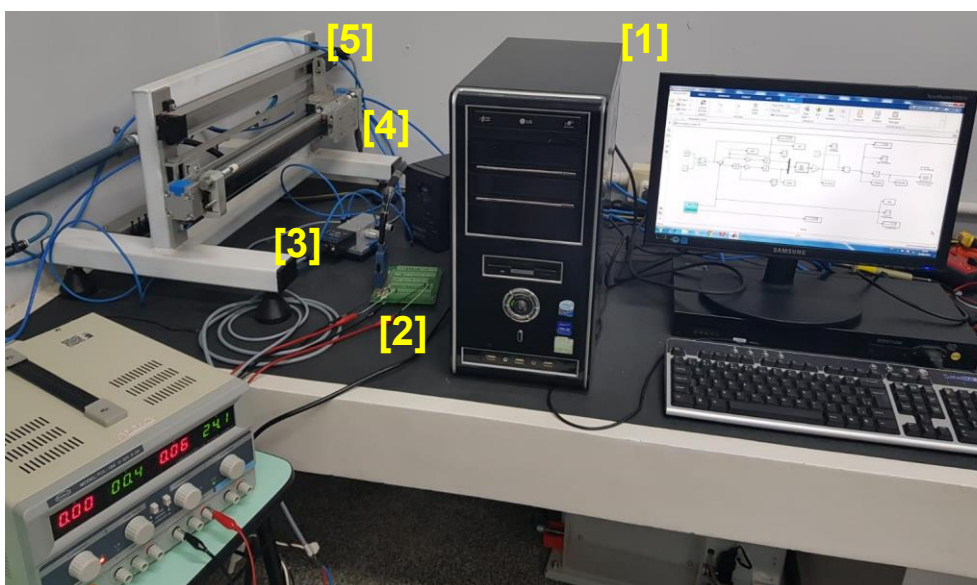
Fonte: Dos autores.

A estratégia de controle *fuzzy* apresentada na Figura 2 é conhecida na comunidade científica da área como PD-Fuzzy, pois admite como entradas o erro e a variação do erro (derivada do erro) e é inspirada em controladores do tipo Proporcional-Derivativo (PD) convencionais (PASSINO, 1997). Tais conceitos foram utilizados para o projeto do controlador *fuzzy* considerado neste trabalho, descrito na seção de metodologia.

3 METODOLOGIA

O sistema servoposicionador pneumático, disponível no Laboratório de Automação e Controle do IFPR - Campus Jacarezinho é composto por cinco partes principais, conforme são identificadas na Figura 3: um computador [1], uma placa de aquisição de dados [2], uma válvula proporcional eletropneumática [3], um cilindro de dupla ação [4] e uma régua potenciométrica [5].

Figura 3 – Sistema servoposicionador pneumático.



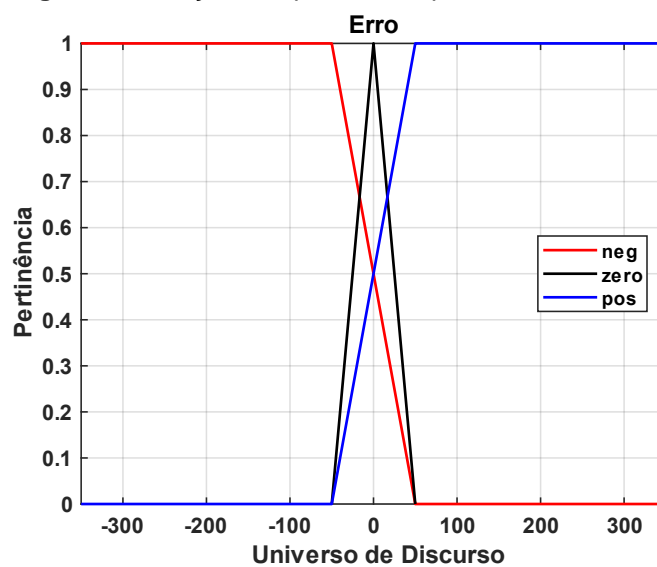
Fonte: Dos autores.

O computador [1] possui um processador Intel® Core™ 2 Duo CPU E8400, com 3 GB de memória (RAM), o qual foi utilizado para fazer a implementação do controlador via Simulink/Matlab®. A placa de aquisição de

dados utilizada é da fabricante *National Instruments*®, modelo PCI-6221, que converte sinais reais para o domínio digital. A válvula proporcional de vazão, MPYE-5-1/8-HF-010-B da Festo, foi usada para controlar o atuador linear pneumático Festo DGPL, de 450mm. O sistema de medição de curso MLO-POT-TLF Festo foi utilizado para realizar a medição de posição de um bloco acoplado ao sistema.

A partir de uma base de conhecimento especialista sobre o sistema servoposicionador pneumático, e com dados obtidos de experimentos preliminares, foi projetado, via Simulink/Matlab®, um controlador *fuzzy* na estrutura PD-Fuzzy, que admite como entradas o sinal do erro e da variação do erro (derivada do erro), conforme representado na Figura 2. As funções de pertinência definidas para as entradas são mostradas nas Figuras 4 e 5, cujas variáveis linguísticas utilizadas foram: negativo (neg), zero e positivo (pos).

Figura 4 – Funções de pertinência para a variável do erro.



Fonte: Dos autores.

As funções de pertinência definidas para a saída do controlador (ação de controle) são apresentadas na Figura 6, em que as variáveis linguísticas “p” e “m” representam valores “pequenos” e “médios”, conforme observações em experimentos preliminares.

Figura 5 – Funções de pertinência para a variável de variação do erro.

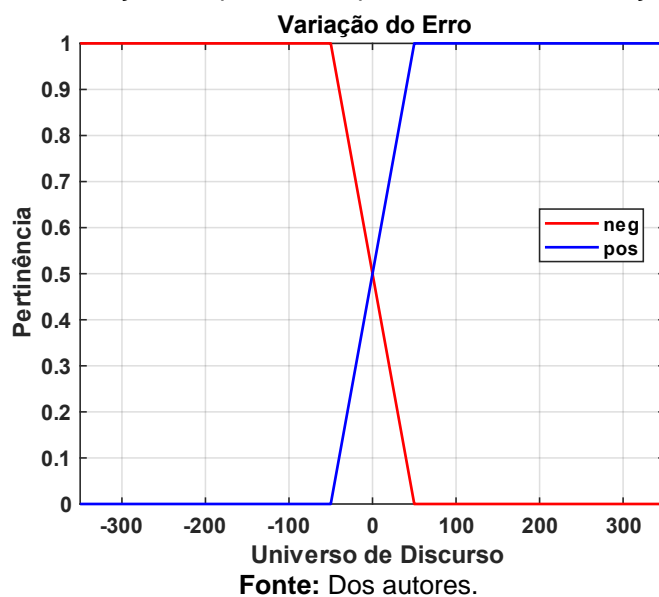
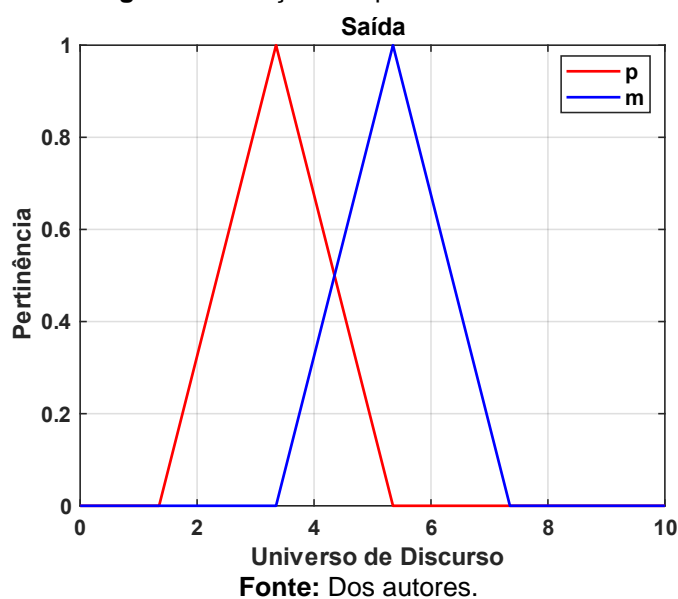


Figura 6 – Funções de pertinência de saída.



Após a definição das funções de pertinência, foi constituída a base de regras apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Base de regras do controlador PD-Fuzzy.

VAR. DO ERRO \ ERRO	POSITIVO	ZERO	NEGATIVO
POSITIVO	m	m	p
NEGATIVO	m	p	p

Fonte: Dos autores.

Uma vez constituídas as funções de pertinências das entradas e da saída do controlador *fuzzy* e a base de regras, foi implementado via Simulink/Matlab® o diagrama da Figura 2 e experimentos foram conduzidos.

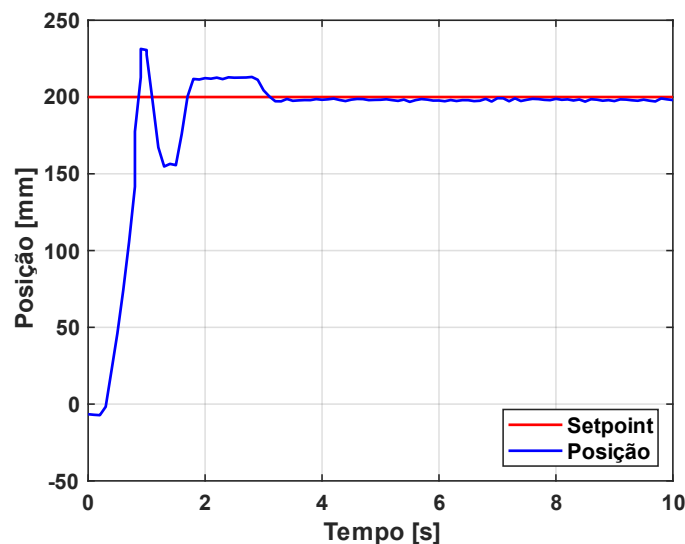
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados experimentais apresentados nesta seção têm o objetivo de analisar se o controlador *fuzzy* implementado neste trabalho foi capaz de levar a variável controlada (posição) a um valor de referência fixo, com ações de controle aplicadas à válvula proporcional eletropneumática sem variações abruptas, a fim de conservar a vida útil do atuador.

Na Figura 7 é mostrada a resposta do sistema (posição) considerando uma referência de 200 mm. Observa-se que o controlador conseguiu levar o bloco até posição desejada em menos de 5 segundos e o manteve sem a presença de erro em regime permanente significativo.

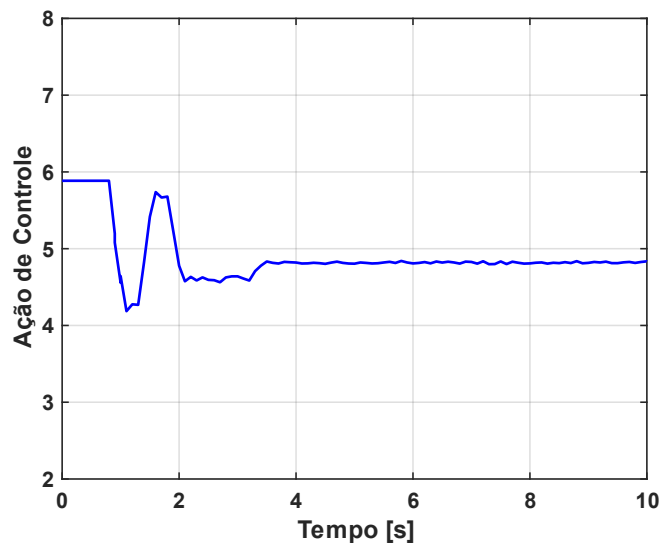
Na Figura 8 é mostrada a ação de controle aplicada à válvula ao longo do experimento. É possível notar que não ocorreram variações abruptas que degradariam a vida útil do atuador.

Figura 7 – Resposta do sistema (posição).



Fonte: Dos autores.

Figura 8 – Ação de controle.



Fonte: Dos autores.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou resultados experimentais da implementação de um controlador *fuzzy* em um sistema didático de servoposicionador pneumático, disponível no IFPR – Jacarezinho. São apresentadas as principais etapas de projeto do controlador (funções de pertinência e base de regras) e de sua implementação via Simulink/Matlab®.

Por meio dos resultados experimentais apresentados, notou-se que o controlador projetado foi eficaz em controlar a posição do bloco acoplado ao servoposicionador, por meio de atuação em uma válvula proporcional eletropneumática.

Para trabalhos futuros, pretende-se considerar outras estratégias de controle inteligente e/ou híbridas a fim de possibilitar uma análise mais minuciosa acerca do desempenho de controladores neste tipo de processo.

REFERÊNCIAS

AZAHAR, M. I. P.; IRAWAN, A.; ISMAIL, R. M. T. R. **Self-tuning hybrid fuzzy sliding surface control for pneumatic servo system positioning.** Control Engineering Practice, vol. 113, 2021.

Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão. Paranaguá, PR, v.7, n.7, p. 465-1,465-11, 2022.
DOI: 10.21575/25254782rmetg2022vol7n72358

BOUBAKIR, Ahsene; LABIOD, Salim; BOUDJEMA, Fares. **Direct adaptive fuzzy position controller for na electropneumatic actuator: Design and experimental evaluation.** Mechanical Systems and Signal Processing, vol. 147, 2021.

FIALHO, A. B. **Automação Pneumática: Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos.** 2^a. ed. São Paulo: Érica Ltda, 2004.

MU, S. *et al.* **Intelligent position control for pneumatic servo system based on predictive fuzzy control.** Computer and Electrical Engineering, vol. 75, p. 112-122, 2019.

PASSINO, Kevin. M.; YURKOVICH, Stephen. **Fuzzy Control.** Addison Wesley Longman, Inc., 2725 Sand Hill Road, Menlo Park, California, 1997.

REN, Hai-Peng *et al.* **Adaptative RBF Neural Network Control Method for Pneumatic Position Servo System.** International Federation of Automatic Control, vol. 53, p. 8826-8831, Berlin, Germany, 2020.

RUSSELL, Stuart J.; NORVIG, Peter. **Inteligência Artificial.** Tradução Regina Célia Simille - 3^a. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

ZADEH, Lofti A. **Fuzzy Sets.** Information and Control, vol. 8, n. 3, 1965.

Edição especial – Simpósio de Engenharia de Controle e Automação - SIMECA
- IFPR

Enviado em: 27 nov. 2022

Aceito em: 01 dez. 2022

Editor responsável: Mateus das Neves Gomes