

Implementação de um Controlador Fuzzy para Controle de Temperatura**Implementation of a Fuzzy Controller for Temperature Control**

DOI:10.34117/bjdv6n6-388

Recebimento dos originais: 08/05/2020

Aceitação para publicação: 17/06/2020

Marco Antonio Berni Junior

Graduado em Engenharia de Controle e Automação pela Faculdade Estácio de Sá de Ourinhos

Instituição: Faculdade Estácio de Sá de Ourinhos

Endereço: Av. Luiz Saldanha Rodrigues, s/n, Nova Ourinhos, Ourinhos, SP, CEP: 19907-510

E-mail: maarco.eng@outlook.com

Vinicius Alexandre Soares

Graduado em Engenharia de Controle e Automação pela Faculdade Estácio de Sá de Ourinhos

Instituição: Faculdade Estácio de Sá de Ourinhos

Endereço: Av. Luiz Saldanha Rodrigues, s/n, Nova Ourinhos, Ourinhos, SP, CEP: 19907-510

E-mail: vinicius-a-soares@outlook.com

Gustavo José Corrêa Gonçalves

Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Instituição: Faculdade Estácio de Sá de Ourinhos

Endereço: Av. Luiz Saldanha Rodrigues, s/n, Nova Ourinhos, Ourinhos, SP, CEP: 19907-510

E-mail: gustavo.correa@estacio.br

Marcelo Rodrigo Munhoz

Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Instituição: Faculdade Estácio de Sá de Ourinhos

Endereço: Av. Luiz Saldanha Rodrigues, s/n, Nova Ourinhos, Ourinhos, SP, CEP: 19907-510

E-mail: marcelo.munhoz@estacio.br

Larissa Galante Dias

Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Instituição: Faculdade Estácio de Sá de Ourinhos

Endereço: Av. Luiz Saldanha Rodrigues, s/n, Nova Ourinhos, Ourinhos, SP, CEP: 19907-510

E-mail: larissa.dias@estacio.br

Gustavo Vendrame Barbara

Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Instituição: Instituto Federal do Paraná, Campus Jacarezinho

Endereço: Av. Dr. Tito, 801, Jardim Panorama - Jacarezinho, PR, Brasil, CEP: 86400-000

E-mail: gustavo.barbara@ifpr.edu.br

Ricardo Breganon

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo

Instituição: Instituto Federal do Paraná, Campus Jacarezinho

Endereço: Av. Dr. Tito, 801, Jardim Panorama, Jacarezinho, PR, Brasil, CEP: 86400-000

E-mail: ricardo.breganon@ifpr.edu.br

RESUMO

Diferentes tecnologias são aplicadas em controladores industriais sendo uma delas, os controladores baseados em lógica Fuzzy, onde para sua implantação não requer um conhecimento matemático absoluto do processo, sendo possível desenvolvê-lo partir de conhecimentos e habilidades de especialistas ou de operadores. Com base nisso, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um controlador Fuzzy utilizando o software LabVIEW em conjunto com o Arduino® UNO com o objetivo de realizar o controle de temperatura em uma planta experimental didática. Foram realizados testes em diferentes *setpoints*, com a finalidade de verificar o comportamento do controlador. Os resultados apresentados indicam que a estratégia de controle Fuzzy utilizada foi satisfatória para o controle de temperatura estudado.

Palavras-chave: Controlador Fuzzy, Planta Experimental Didática, Controle de Temperatura.

ABSTRACT

Different technologies are applied in industrial controllers, including controllers based on Fuzzy logic, where for its implementation it does not require absolute mathematical knowledge of the process, being possible to develop it from the knowledge and abilities of specialists or operators. However, this work presents the development of a Fuzzy controller using the LabVIEW software together with Arduino® UNO in order to perform temperature control in a didactic experimental plant. Tests were performed on different setpoints, in order to verify the behavior of the controller. The results presented indicate that the Fuzzy control strategy used was satisfactory for the studied temperature control.

Key words: Fuzzy Controller, Didactic Experimental Plant, Temperature Control.

1 INTRODUÇÃO

Os controladores empregados na automação industrial são de fundamental importância para otimizar os processos de manufatura e contínuos, permitindo assim que as empresas se tornem competitivas em um mercado que se renova constantemente.

A exigência e alta procura do consumidor final por produtos de qualidade, fez com que os processos automatizados se tornassem um caminho para o aumento da produtividade e a qualidade dos produtos, tornando-se assim, uma forma das empresas se manterem competitivas em um mercado amplo e livre (ROSÁRIO, 2009).

A aplicação de controladores promove vários benefícios para o processo, entre eles destaca-se a melhoria do desempenho em linhas de produção. Um sistema de controle bem elaborado pode reduzir à necessidade de reprocessamento de produtos por não atingir o padrão de qualidade desejado, além de tornar os sistemas mais confiáveis, evitando paradas repentinas e tornando o processo mais seguro (CAMPOS e TEIXEIRA, 2006).

Diferentes tecnologias são aplicadas em controladores industriais. Uma delas são os controladores baseados em lógica Fuzzy ou lógica Difusa, como também é conhecida. Controladores tradicionais como o PID (Proporcional, Integral e Derivativo) trabalham bem quando o processo a

ser controlado são lineares, onde caso ocorra uma mudança em sua entrada resultara em uma saída proporcional (SIMÕES e SHAW, 2007).

Controladores baseados em lógica Fuzzy, tem como vantagem não ser necessário o conhecimento matemático do processo a ser controlado, podendo reduzir o tempo gasto no seu desenvolvimento. Ele tem como base de conhecimento o método heurístico, sendo possível assim incluir os conhecimentos e a experiência de estratégias utilizadas por operadores para controlar processos de difícil compreensão, mal elaborados, complexos e não lineares (CAMPOS e SAITO, 2004).

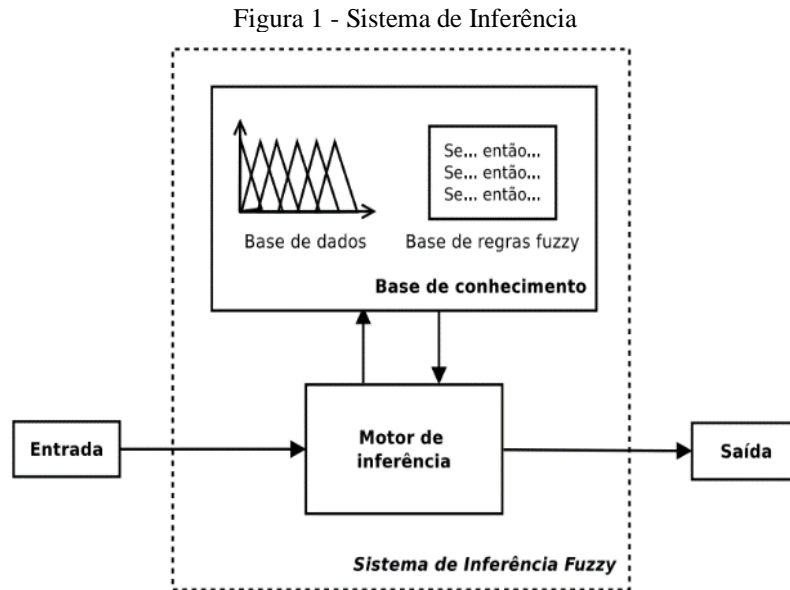
De acordo com Vasconcellos (2016), a lógica Fuzzy tem sido utilizada em técnicas de controle por incorporar a forma humana de pensar, e desta forma é sugerida para aplicações em sistemas de controle convencionais. Na literatura, um controlador Fuzzy foi implementado para um sistema de controle de nível em (SOUZA e LOPEZ, 2012; LUNA FILHO, GOSMANN e BAUCHPIESS, 2002), em uma planta para controle de nível e temperatura em (BELÉM, ALEXANDRE e SILVESTRE, 2018; CHINTHAMANI et al., 2019), um controlador Fuzzy foi desenvolvido para controle de pressão em sistemas de abastecimento de água em (BARRETO et al., 2016), além de aplicações como na robótica móvel autônoma, visto no trabalho de (MENDONÇA et al., 2020).

Este projeto tem como objetivo, implementar um controlador SISO (*single input, single output*) do tipo Mamdani com base em lógica Fuzzy para realizar o controle de temperatura no interior de uma estrutura fechada, visando corrigir o erro entre a temperatura lida pelo sensor e a temperatura de referência, com o propósito de se obter um controle eficiente, mas, ao mesmo tempo, de fácil compreensão, através do software LabVIEW e o microcontrolador Arduino® UNO, onde foi realizada a programação do controlador Fuzzy e a aquisição de dados, respectivamente.

As próximas seções são organizadas da seguinte forma: na Seção 2 são apresentados os materiais e métodos que viabilizaram o projeto do controlador Fuzzy; na Seção 3 é apresentado o desenvolvimento do sistema; os resultados e discussões são verificados na Seção 4; por fim, as principais conclusões são apresentadas na Seção 5.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

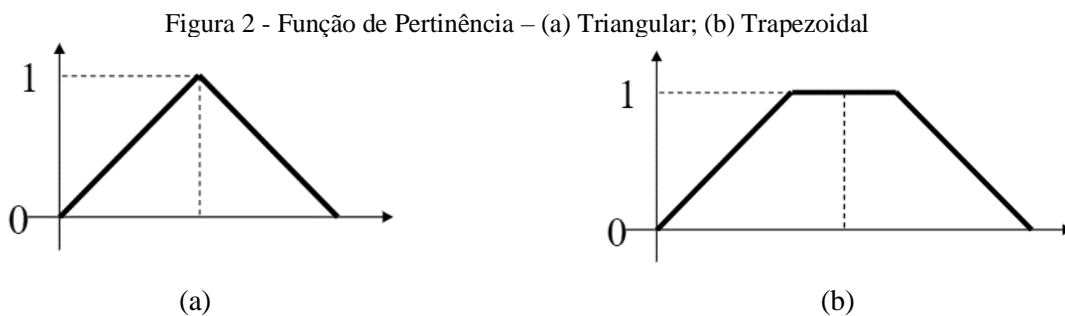
Para o desenvolvimento do controlador Fuzzy, se faz necessário entender primeiramente as etapas do Sistema de Inferência Fuzzy (Figura 1), elas são classificadas em Fuzzificação, Regras de Inferência e Defuzzificação. Basicamente é a transformação de variáveis de termos linguísticos em uma saída de valor real (discreto), além do software e os componentes eletrônicos utilizados.



Fonte: Adaptado de Gonçalves (2014).

O processo de fuzzificação é o mapeamento dos números reais para o domínio Fuzzy, representando assim que foi atribuído valores incertos ou qualitativos na entrada do sistema, esses valores foram definidos por uma função de pertinência. Uma quantidade menor de valores resultará em um processamento mais rápido (SIMÕES e SHAW 2007).

A função de pertinência é uma função numérica que pode ser representada tanto em forma de tabela como de gráfico, onde são atribuídos valores de pertinência Fuzzy para valores reais de uma variável de um universo de discurso (SIMÕES e SHAW, 2007).



Fonte: Nguyen (2002).

A função em forma triangular pode ser definida em (1) e a função trapezoidal em (2).

$$A(x) = \begin{cases} \alpha \left(\frac{x-a}{c-a} \right) & \text{IF } a \leq x \leq c \\ \alpha \left(\frac{x-b}{c-b} \right) & \text{IF } c \leq x \leq b \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (1)$$

$$A(x) = \begin{cases} \alpha \left(\frac{x-a}{c-a} \right) & \text{IF } a \leq x \leq c \\ \alpha & \text{IF } c \leq x \leq d \\ \alpha \left(\frac{x-b}{d-b} \right) & \text{IF } c \leq x \leq b \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (2)$$

As funções em forma triangular e trapezoidal são comumente utilizadas (Figura 2), sendo possível construí-las com poucas informações, porém existem outras formas de funções de pertinência.

Outra etapa do Sistema de Inferência Fuzzy, são as regras de inferência, elas são utilizadas para associar termos a partir de premissas, como o objetivo de se criar uma afirmação, podendo ser expressa pela estrutura SE, ENTÃO, como no exemplo abaixo.

SE causa 1= A e causa 2= B; ENTÃO efeito = C.

Segundo Simões (2007), existe dois tipos básicos de regras de inferência, o modus ponens (modo afirmativo) e o modus tollens (modo negativo), onde ambos operam com base em premissas para criar afirmações. As regras de inferência é a principal etapa para obter o sucesso do controlador Fuzzy, já que ela irá fornecer as saídas do sistema (CAVALCANTI et al., 2012).

A última etapa de um controlador Fuzzy é a defuzzificação, onde seu objetivo é fornecer um único valor real de saída que represente os valores Fuzzy inseridos na variável linguística, desta forma traduzindo para uma linguagem que o sistema possa compreender. Pode-se destacar três métodos entre vários utilizados para defuzzificação: Centro-da-área (C-o-A), Centro-do-Máximo (C-o-M) e Média-do-Máximo (M-o-M) (SIMÕES e SHAW, 2007).

O método escolhido para realização do projeto foi o (C-o-A) onde se calcula o centro da área entre a função de pertinência e o eixo x. Segundo Simões (2017) o método é composto pela união de todas contribuições de regras definidas.

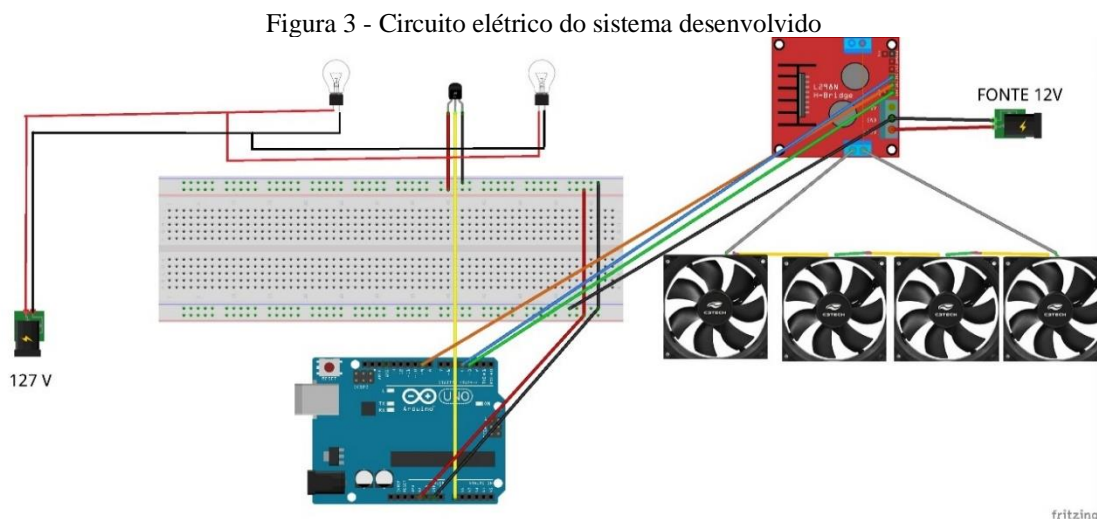
O LabVIEW foi o software utilizado para realizar a lógica de programação, tendo suas aplicações voltadas para áreas de testes, medições, instrumentação e automação. Tendo como a linguagem de programação gráfica, ou também chamada de linguagem G, onde os dados são enviados através de diagramas de blocos.

Para realizar a aquisição de dados foi usada uma placa Arduino® UNO, o mesmo possui um microcontrolador baseado no ATmega328P. Possuindo 14 pinos entre entradas e saídas digitais, dos quais 6 podem ser utilizadas como saídas PWM (*Pulse Width Modulation*), mais especificadamente as saídas 3, 5, 6, 9, 10 e 11, e 6 entradas analógicas, além de um cristal de 16 MHz.

Para ser possível realizar a comunicação entre o software e a placa foi necessário carregar a biblioteca LIFA (LabVIEW *Interface For Arduino*) tornando possível uma conexão serial, realizando a modulação entre os sinais digitais e analógicos do Arduino® UNO.

O sensor de temperatura escolhido foi o LM35, comumente utilizado por se tratar de um sensor de baixo custo e por possuir circuitos integrados de precisão, sendo sua saída linearmente proporcional à temperatura em Celsius, sua saída possui sinal de 10 mV para cada grau Celsius, não sendo preciso realizar calibração externa, o mesmo possui um range de trabalho de -55°C a $+150^{\circ}\text{C}$ e com precisão de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. A fonte de calor do sistema é realizada por 2 lâmpadas incandescentes de 100 W de potência.

O módulo Ponte H L298N, é utilizado para controlar a velocidade de rotação de motores DC (*direct current*), bem como o seu sentido de rotação, onde as entradas IN1, IN2, IN3 e IN4 são responsáveis por realizar o controle dos motores, que neste trabalho, são os 4 coolers. Na Figura 3 é apresentado o circuito elétrico utilizado para o controle de temperatura.



Fonte: Elaborado pelos Autores.

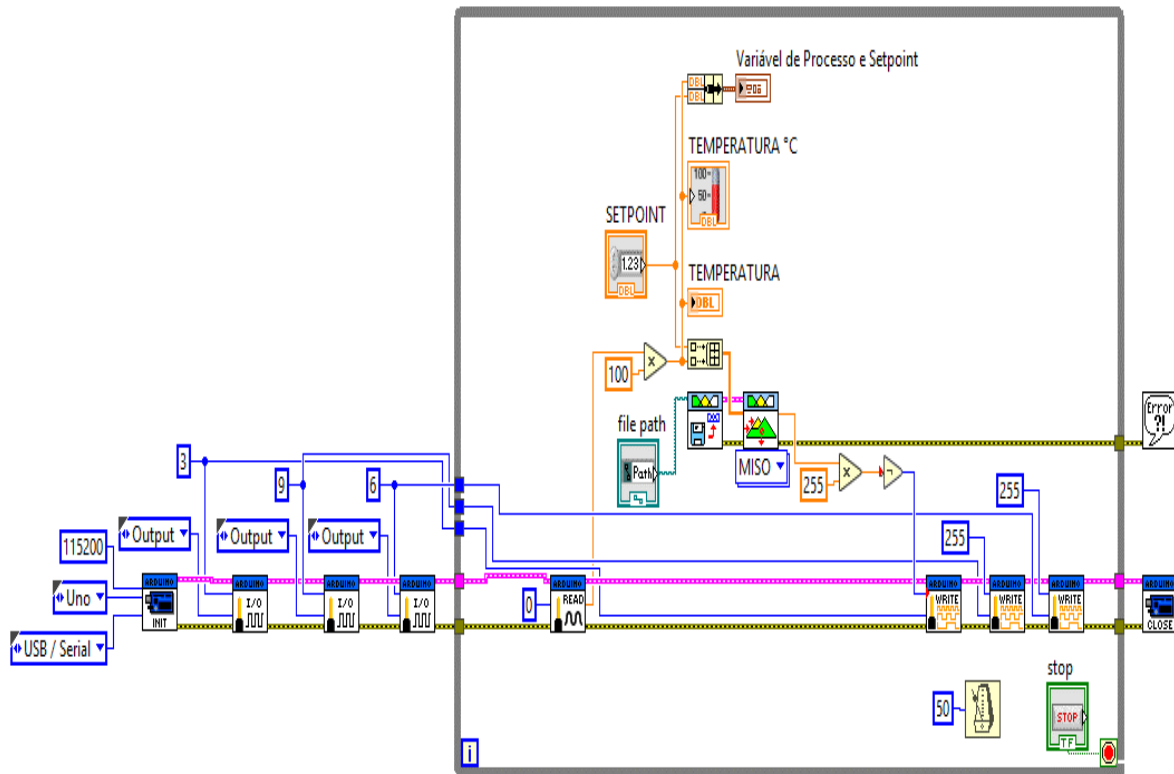
3 DESENVOLVIMENTO

Após um breve entendimento dos materiais e métodos utilizados para realização do projeto, foi desenvolvida a lógica de programação no software LabVIEW, bem como o desenvolvimento de todas as etapas do Sistema de Inferência Fuzzy.

A Figura 4 mostra que o bloco do controlador Fuzzy foi declarado como MISO (*multiple input, single output*), porém, o sistema a ser controlador é SISO, isso ocorre pelo fato de não ser possível entrar com os dois parâmetros declarando o controlador como SISO, caso fosse adicionado somente uma entrada ao controlador não haveria um parâmetro para realizar a comparação entre a temperatura lida e o sinal de referência (*setpoint*).

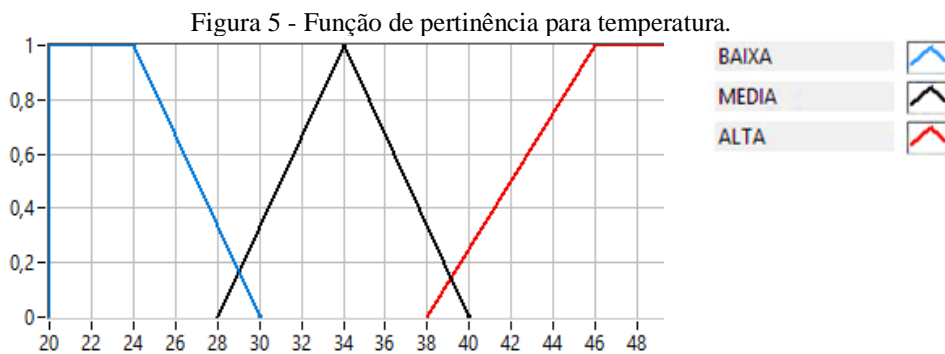
A primeira etapa do sistema de inferência Fuzzy é a fuzzificação, ou seja, a criação das funções de pertinência para todas as entradas e saída existentes no processo. Para o controle de temperatura foi utilizada duas entradas, uma sendo a temperatura lida pelo sensor, e a outra o *setpoint*, as funções de pertinência criada para cada uma das entras é mostrada nas Figuras 5 e 6.

Figura 4 – Programação desenvolvida no software LabVIEW



Fonte: Elaborado pelos Autores.

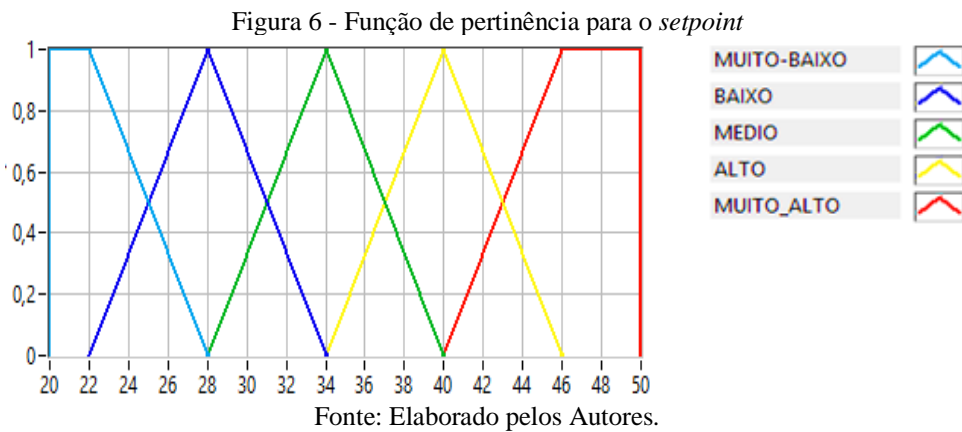
O range de temperatura da Figura 5 se encontra entre 20° C a 50° C, e as variáveis linguísticas foram definidas como BAIXA, MEDIA e ALTA, e cores em azul, preto e vermelho foram utilizadas para facilitar o entendimento, além do formato trapezoidal e triangular que comumente é utilizada, também é possível criar funções com formatos diferentes.



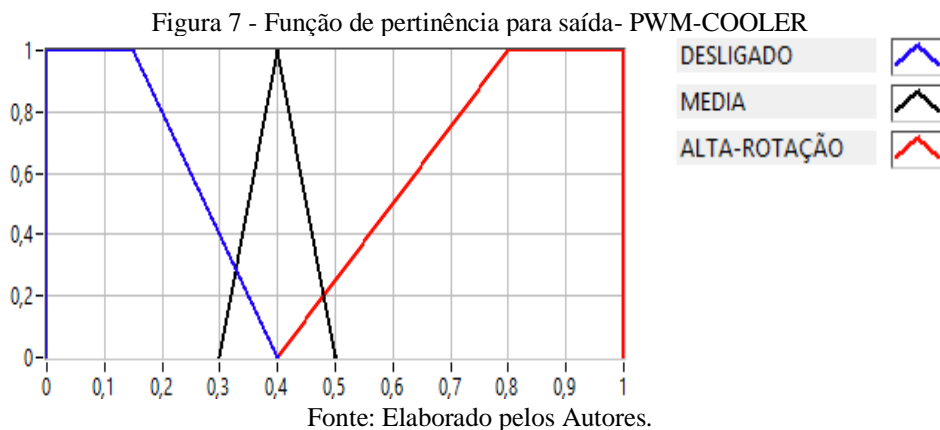
Fonte: Elaborado pelos Autores.

A função de pertinência para o *setpoint* também se encontra em um range entre 20° C a 50° C, e as variáveis linguísticas foram definidas como MUITO-BAIXO, BAIXO, MEDIO, ALTO e MUITO_ALTO, conforme mostrado na Figura 6.

Na Figura 7 é possível observar que as variáveis linguísticas para *output* foram definidas como DESLIGADO, MEDIA e ALTA-ROTAÇÃO em um range de 0 a 1.

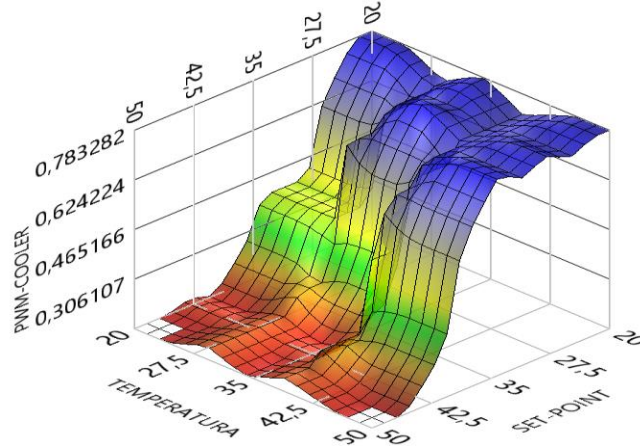


Para realização do controle de temperatura foram estabelecidas 15 regras do tipo SE e ENTÃO, na Tabela 1 são apresentadas todas as regras de inferência estabelecidas para as duas entradas e para a única saída do controlador.



Após concluir a criação das etapas do Sistema de Inferência Fuzzy, o LabVIEW disponibiliza um gráfico com a relação entre entradas e saída de acordo com as regras de inferência estabelecidas para o controlador, sendo possível avaliar se a saída fornecida pelo controlador será satisfatória para o processo a ser controlado, como mostrado na Figura 8.

Figura 8 - Relação entre entrada e saída



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Tabela 1- Regras de inferência SE e ENTÃO

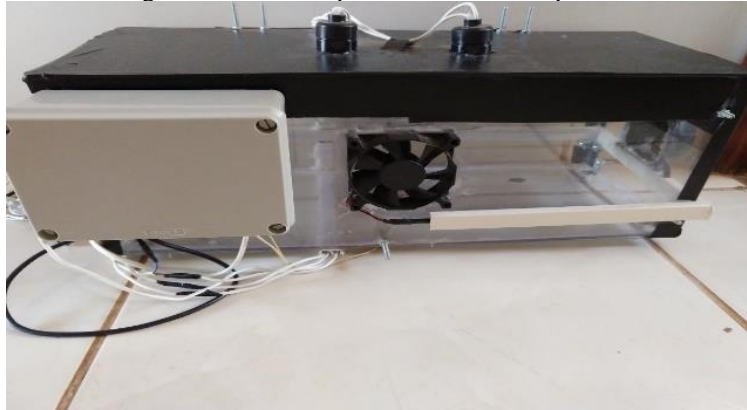
Regras	Setpoint	Temperatura	PWM
1	MUITO-BAIXO	BAIXA	ALTA-ROTAÇÃO
2	BAIXO	BAIXA	MÉDIA
3	MÉDIO	BAIXA	DESLIGADO
4	ALTO	BAIXA	DESLIGADO
5	MUITO-ALTO	BAIXA	DESLIGADO
6	MUITO-BAIXO	MÉDIA	ALTA-ROTAÇÃO
7	BAIXO	MÉDIA	ALTA-ROTAÇÃO
8	MÉDIO	MÉDIA	MÉDIA
9	ALTO	MÉDIA	DESLIGADO
10	MUITO-ALTO	MÉDIA	DESLIGADO
11	MUITO-BAIXO	ALTA	ALTA-ROTAÇÃO
12	BAIXO	ALTA	ALTA-ROTAÇÃO
13	MÉDIO	ALTA	ALTA-ROTAÇÃO
14	ALTO	ALTA	MÉDIA
15	MUITO-ALTO	ALTA	DESLIGADO

Fonte: Elaborado pelos Autores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A estrutura desenvolvida para o controle de temperatura foi construída em acrílico, possuindo 4 coolers, utilizados para realizar a troca de calor em seu interior e 2 lâmpadas incandescentes como fonte de calor, realizando assim o controle de temperatura do sistema. A planta didática experimental finalizada pode ser observada na Figura 9.

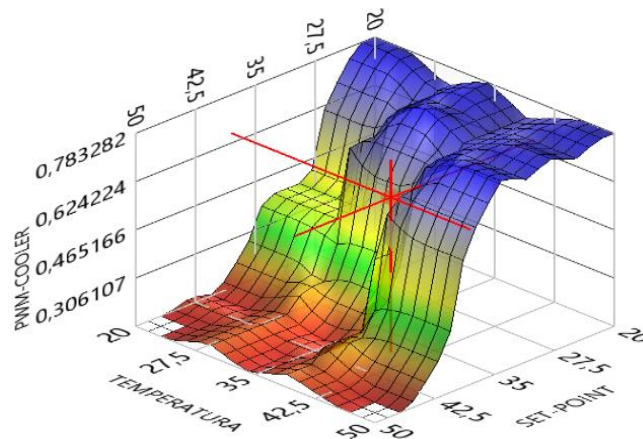
Figura 9 - Estrutura para controle de temperatura



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Foram realizados testes em diferentes *setpoints*, com o intuito de verificar como o controlador se comportaria, sendo estabelecido para o projeto um erro de até 3% para um controle considerado satisfatório.

O primeiro teste foi realizado em um *setpoint* de 38° C enquanto a temperatura medida pelo sensor era de 40° C como é mostrado na Figura 10.

Figura 10 - Saída para um *setpoint* menor que a temperatura medida

Fonte: Elaborado pelos Autores.

É possível observar ainda na Figura 10 que o *setpoint* é menor que a temperatura lida pelo sensor, sendo necessário que o cooler rotacione com uma velocidade maior com o objetivo de diminuir o erro, acionando as regras 13 e 14 da Tabela 1 e apresentando um valor de saída de 0,6568.

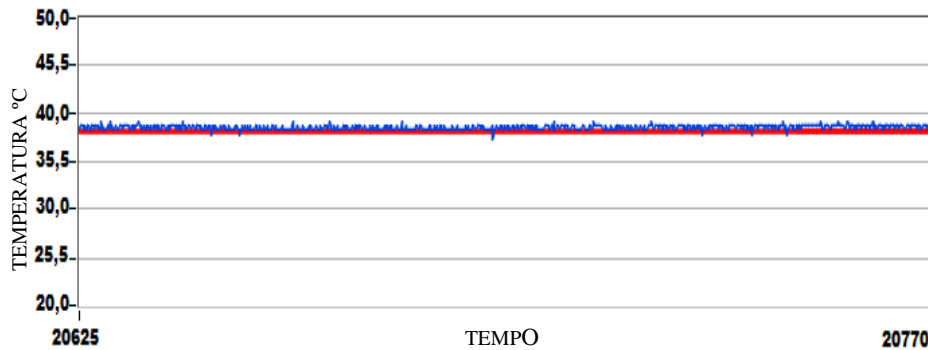
Após a temperatura chegar próxima ao *setpoint* requerido de 38° C, o controlador muda a função de pertinência e consequentemente as regras, a fim de tender o erro a zero no sistema. As novas regras utilizadas a partir desse momento são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Regras de inferência SE e ENTÃO para um *setpoint* de 38° C.

Regras	Setpoint	Temperatura	PWM
8	MÉDIO	MÉDIA	MÉDIA
9	ALTO	MÉDIA	DESLIGADO

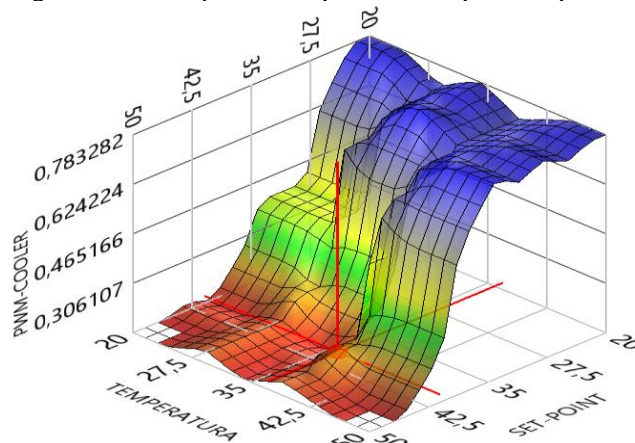
Fonte: Elaborado pelos Autores.

Na interface do LabVIEW, é possível observar através do gráfico de variável de processo (temperatura) e o *setpoint* (Figura 11), que a temperatura estabilizou próximo ao *setpoint*, em uma temperatura de 38,22° C, com um erro de regime de aproximadamente 0,57 %, entre a temperatura lida pelo sensor e o valor de *setpoint*, tornando assim o controle satisfatório.

Figura 11 - Acompanhamento do processo de controle para *setpoint* em 38° C

Fonte: Elaborado pelos Autores.

O segundo teste foi realizado desta vez com um *setpoint* maior que a temperatura lida pelo sensor. O mesmo foi estabelecido em 41° C enquanto a temperatura ambiente encontra-se na faixa de 37° C. Como é possível observar na Figura 12.

Figura 12 - Saída para um *setpoint* maior que a temperatura

Fonte: Elaborado pelos Autores.

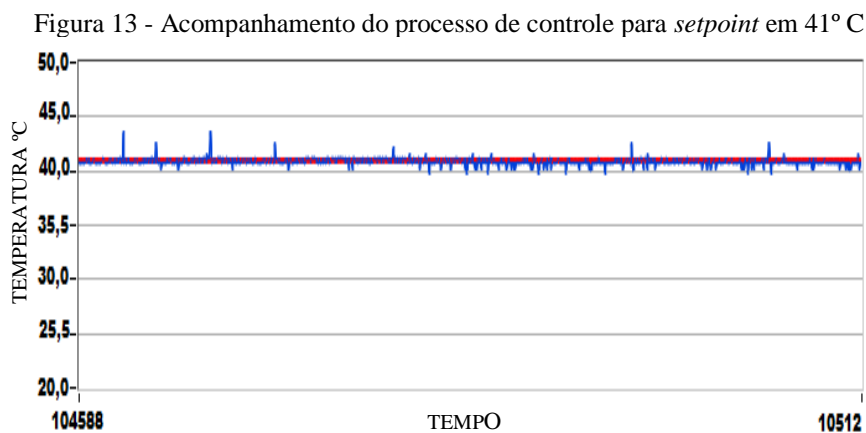
Como o *setpoint* é maior que a temperatura lida, as regras 9 e 10 da Tabela 1 são acionadas, fazendo com que o cooler agora rotacione em baixa velocidade sem desligar, com um valor de saída 0,1707 e, conseqüentemente aumentando a temperatura dentro da estrutura. Quando a temperatura está próxima ao *setpoint* as regras mudam, passando para as novas regras (Tabela 3) utilizadas pelo controlador.

Tabela 3 - Regras de inferência SE e ENTÃO para um *setpoint* de 41° C.

Regras	Setpoint	Temperatura	PWM
14	ALTO	ALTA	MÉDIA
15	MUITO-ALTO	ALTA	DESLIGADO

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Para o controle no *setpoint* de 41° C o processo se estabilizou em 40,67° C (Figura 13), apresentado um erro de 0,80 %, obtendo um erro maior que o primeiro teste, também podendo considerar um controle satisfatório.

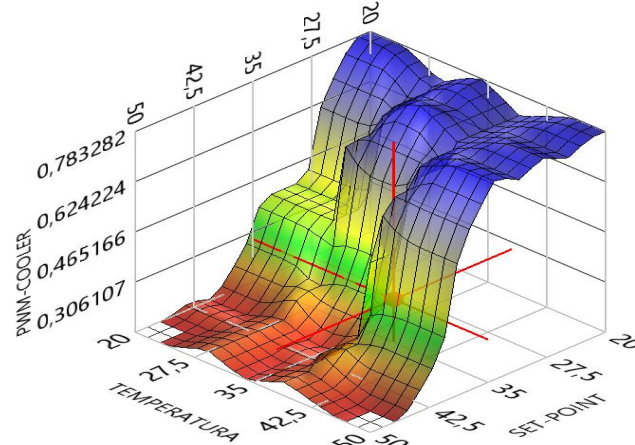


Fonte: Elaborado pelos Autores.

O terceiro teste foi realizado para uma faixa de temperatura estabelecida na função de pertinência 8 e 9 da Tabela 1, para um *setpoint* de 35° C, enquanto a temperatura dentro da estrutura estava em aproximadamente 38° C, como mostra a Figura 14.

Como pode ser observado que o valor de saída é baixo, fazendo com que o cooler rotacione em baixa velocidade, com um valor de output 0,2828 e as regras permanecem as mesmas pelo fato de ainda se encontrar na mesma faixa de temperatura, conforme é possível observar na Tabela 4.

Figura 14 - Saída para um setpoint menor que a temperatura



Fonte: Elaborado pelos Autores.

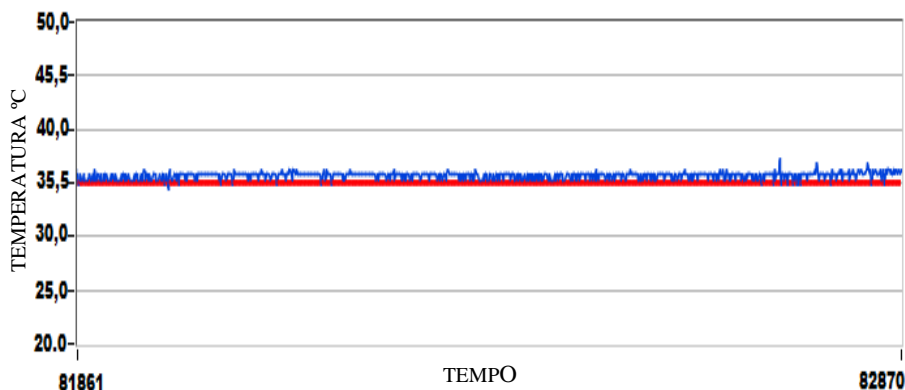
Para o controle em um *setpoint* de 35° C o processo se estabilizou em 35,77° C (Figura 15), ou em um erro de regime de 2,20 %, o controle demorou um longo tempo para conseguir alcançar essa faixa de temperatura, podendo ser explicado pelo fato do controle ter atuado com as mesmas regras, porém, mesmo assim, o erro se encontra em uma faixa aceitável, tornando o controle satisfatório também para esse caso.

Tabela 4- Regras de inferência SE e ENTÃO para um *setpoint* de 35° C.

Regras	Setpoint	Temperatura	PWM
8	MÉDIO	MÉDIA	MÉDIA
9	ALTO	MÉDIA	DESLIGADO

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Figura 15 - Acompanhamento do processo de controle de temperatura em 35° C



Fonte: Elaborado pelos Autores.

O projeto desenvolvido apresenta algumas limitações, principalmente para temperaturas onde as funções de pertinência de *setpoint* e de temperatura se encontra na mesma faixa. Ocorrendo que as

regras se mantem as mesmas, dificultando assim o controle, em temperaturas onde a função de pertinência foi determinada como média e baixa. Por se tratar de temperaturas mais baixas, os coolers encontram dificuldades para resfriar o interior da estrutura. Mas de forma geral o mesmo entre funções de pertinência entre média e alta se mostrou satisfatório, já que o maior erro obtido entre os testes foi de 2,20 %, estando dentro do estipulado para ser um controle satisfatório.

Na Tabela 5 a seguir é possível observar todos os resultados obtidos durante os testes, além dos valores de *setpoint* e a temperatura lida no interior da estrutura.

Tabela 5 - Resultados obtidos durante os testes

Teste	Setpoint	Temperatura no interior da estrutura	Estabilidade	Erro
1	38° C	40° C	38,22° C	0,57 %
2	41° C	37° C	40,67° C	0,80 %
3	35° C	38° C	35,77° C	2,20 %

Fonte: Elaborado pelos Autores.

5 CONCLUSÕES

O controle apesar de apresentar algumas limitações em determinados *setpoints*, se comportou de forma satisfatória para temperaturas maiores.

O controle, ocorre de forma suave sem desligar os atuadores, onde para aplicações em processos maiores a aplicação de controladores Fuzzy se torna viável, já que para sua implementação não é necessário o total conhecimento matemático do processo a ser controlado, necessitando apenas do conhecimento e habilidades de operadores que por muitas vezes passou grande parte de sua vida laboral realizando determinada atividade.

A realização das etapas do Sistema de Inferência Fuzzy é de fácil compreensão, requerendo uma menor demanda de tempo em seu desenvolvimento por não ser necessário o conhecimento matemático da planta, possibilitando assim, realizar mudanças e melhorias no processo a ser controlado sem muitas dificuldades.

Pretende-se em trabalhos futuros aumentar a base de regras, visando melhorar ainda mais a resposta do sistema e conseqüentemente diminuir o erro de regime, principalmente nos casos em que são aplicados *setpoints* pequenos e as regras não se alteram.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Faculdade Estácio de Sá de Ourinhos e ao Instituto Federal do Paraná pelo suporte no desenvolvimento desse trabalho.

REFERÊNCIAS

- BARRETO, V. et al. Desenvolvimento de um Controlador Fuzzy para Controle de Pressão em sistemas de Abastecimento de Água. **27º Encontro Técnico AESABESP**, 2016.
- BELÉM, G. S.; ALEXANDRE, G. B.; SILVESTRE, A. D. Estratégias de Controle Avaliadas a uma Planta de Nível e Temperatura. **XXII Congresso Brasileiro de Automática**, João Pessoa, Paraíba, 2018.
- CAMPOS, M. C. M.; Teixeira, H. C. G. **Controles típicos de equipamentos e processos industriais**. 1 ed. Blucher, São Paulo, SP, 2006.
- CAMPOS, M. M.; SAITO, K. **Sistemas inteligentes em controle e automação de processos**. Ciência Moderna Ltda, Rio de Janeiro, RJ, 2004.
- CAVALCANTI, J. H. F.; MELO, H.; SOUTO, C. R.; CAVALCANTI, M. T. **Lógica fuzzy aplicada às engenharias**. João Pessoa, PB, 2012.
- CHINTHAMANI, B. et al. Fuzzy control using LabVIEW for miso temperature process. **International Jornal of Research in Engineering and Technology**, 2019.
- GONÇALVES, G. J. C. **Controle e modelo de máquina recicladora de papel automática**. Trabalho de Conclusão de Curso, Sorocaba, 2014.
- LUNA FILHO, F. M.; GOSMANN, H. L.; BAUCHSPIESS, A. Controle Fuzzy para Sistema de Nível de Líquidos. **XIV Congresso Brasileiro de Automática**, Natal, RN, 2002.
- MENDONÇA, M. et al. Mapas Cognitivos Fuzzy Dinâmicos Hierárquicos para arquitetura cooperativa de robótica móvel autônoma inspirada por SLAM e ACO. **Brazilian Journal of Development**, 2020.
- NGUYEN, T. H. et al. **A First Course in Fuzzy and Neural Control**. 1. ed. New York. Chapman and Hall/CRC, 2002.
- ROSÁRIO, J. M. **Automação Industrial**. Baraúna, São Paulo, SP, 2009.
- SIMÕES, G. S.; SHAW, I. S. **Controle e modelagem fuzzy**. Blucher, São Paulo, SP, 2007.
- SOUZA, J. S.; LOPES, J. S. B. Implementação de um Controlador Fuzzy para um Sistema de Controle de Nível. **VII CONNEPI, Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação**, Palmas, TO, 2012.
- VASCONCELOS, B. S. **Proposta de procedimento para projeto de controlador fuzzy multivariáveis**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2016.