

Controle fuzzy e PID em processos industriais

Fuzzy and PID controls in industrial process

RESUMO

Guilherme Mosaner da Silva
Guilherme.mosaner@outlook.com
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Cornélio Procópio,
Paraná, Brasil

Gláucia Maria Bressan
glauciabressan@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Cornélio Procópio,
Paraná, Brasil

Wagner Endo
wendo@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, Cornélio Procópio,
Paraná, Brasil

O objetivo principal deste trabalho é o estudo e aplicação de uma estratégia unificada de classificação automática em uma malha de controle de vazão, com uma válvula pneumática industrial como elemento final de controle. Neste contexto, este trabalho propõe o estudo do método de classificação *fuzzy* e sua aplicação nessa válvula. São utilizadas como variáveis de entrada a vazão, a porcentagem de abertura da válvula e o tempo de abertura da válvula. A saída do sistema desenvolvido é compensada diretamente na ação de controle na temperatura do líquido de um sistema de aquecimento. Por fim, os resultados descrevem a atuação do sistema desenvolvido em um processo de uma planta industrial real didática, onde se emulam todas as características de um processo industrial real, pois todos os testes foram realizados em uma válvula do tipo globo, com atuador pneumático e posicionador com sensor de efeito Hall.

PALAVRAS-CHAVE: Fuzzy. Classificação. Válvula. Aquecimento

ABSTRACT

The main objective of this work is the study and application of a unified strategy of automatic classification in a flow control loop, with an industrial pneumatic valve as the final control element. In this context, this work proposes the study of the fuzzy classification method and its application in this valve. Flow rate, percentage of valve opening and valve opening time are used as input variables. The output of the developed system is compensated directly in the control action on the liquid temperature of a heating system. Finally, the results describe the performance of the system developed in a process of a real didactic industrial plant, where all the characteristics of a real industrial process are emulated, since all the tests were performed on a globe-type valve, with pneumatic actuator and positioner with Hall effect sensor.

KEYWORDS: Fuzzy. Classification. Valve. Heating

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

No presente trabalho, é analisado um sistema emulado, a partir de instrumentos industriais reais, de processo de aquecimento de líquidos. Este processo possui como elemento final de controle uma válvula do tipo globo com atuador pneumático e um posicionador com sensor de efeito hall. Em sistemas mais elementares e didáticos, todo o aparato em torno da válvula é considerado ideal, desprezando-se erros de medição, histerese e até de medição do sensor do posicionador, por exemplo. Por outro lado, em um sistema industrial real isso não pode ser desprezado, uma vez que erros podem gerar grandes perdas e falhas de controle em um sistema de funcionamento, praticamente, permanente.

Assim a metodologia apresentada neste trabalho busca ser prática e direta para aplicação no ambiente industrial. Nesse caso, é necessária uma estratégia simples e robusta que implica na compensação de erros, sem se modelá-los explicitamente, utilizando as características dos modelos de inferência fuzzy. Ao se generalizar a compensação desses erros, este trabalho pode ser aplicado a diferentes tipos e modelos de válvulas de controle.

Sendo assim, a partir do estudo do método de classificação fuzzy (KLIR e YUAN, 1995) e sua aplicação no controle da válvula de vazão da planta industrial mencionada anteriormente, são utilizadas como variáveis de entrada: a vazão medida pelo transmissor, a porcentagem de abertura da válvula e o tempo de abertura da válvula. O sistema de classificação deve fazer uso de sistemas híbridos neurofuzzy (JANG, 1993; JANG, SUN e MIZUTANI, 2012)- os quais utilizam redes neurais e lógica fuzzy - para o ajuste dos parâmetros das funções de pertinência. O principal objetivo é atuar em um processo de aquecimento, buscando uma compensação robusta de erros no controle de uma válvula em um processo industrial.

MATERIAL E MÉTODOS

O sistema de inferência fuzzy é uma estrutura computacional popular baseada nos conceitos de teoria de conjuntos fuzzy, regras fuzzy e raciocínio fuzzy (SIMÕES e SHAWN, 2007). O mecanismo de inferência fuzzy consiste em quatro estágios: fuzzyficação, base de regras, inferência e defuzzificação.

De forma geral, as variáveis de entrada de um sistema fuzzy adotam valores numéricos contínuos. Assim, é necessária a conversão dos valores discretos em valores fuzzy pré-definidos para cada variável, uma vez que regras fuzzy são capazes somente de relacionar conjuntos fuzzy (KLIR e YUAN, 1995). A interface de fuzzyficação captura os valores das variáveis de entrada (valores discretos), transformando números em conjuntos fuzzy, de modo que possam se tornar variáveis linguísticas (CHU, LIU, WANG, 2013).

O sistema de classificação proposto deve fazer uso de sistemas híbridos neurofuzzy (JANG e MIZUTANI., 1997) para o ajuste dos parâmetros das funções de pertinência. Nesses sistemas, são incorporadas as técnicas de aprendizado automático de redes neurais artificiais com a capacidade de representação próxima ao raciocínio humano oferecido por sistemas fuzzy. Ou seja, há uma fase de treinamento supervisionado, no qual são apresentados os dados em pares entrada/saída e como resultado há um modelo linguístico da representação do

conhecimento extraído dos dados na forma de um sistema de inferência fuzzy (PEDRYCZ e GOMIDE, 1998).

A descrição detalhada de um elemento final de controle, como a válvula, é necessária para que se conheça os elementos de cada parte a ser controlada. No entanto, do ponto de vista prático, a sua modelagem completa, pode ser inviável em um ambiente imediato e intenso como a indústria. Encontrar um sistema que atenda essas características de desempenho e robustez pode ser aplicado a partir desse sistema fuzzy, desenvolvido neste trabalho.

O principal problema abordado neste trabalho, é o erro de histerese proveniente do modelo do atuador e posicionador que para seu controle possui um controlador PI interno para controle da posição de abertura/fechamento da válvula de controle. Pois, o corpo da válvula do tipo globo tem modelo linear.

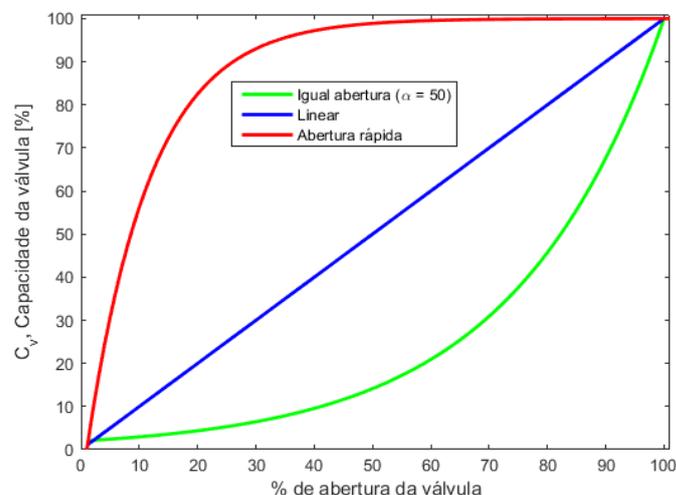
Uma válvula de controle pode ter diferentes curvas de resposta, como é apresentado na Figura 3. Em sua maioria, as válvulas de controle funcionam entre o regime linear e o de igual percentagem, o qual pode ser variado o tempo de resposta de acordo com o valor de alpha, já as de abertura rápida são utilizadas para segurança e proteção (SMITH e CORRUIPIO, 1997). A equação (1) descreve os diferentes comportamentos de válvulas industriais:

$$C_v(vp) = C_{v,max} \cdot \alpha^{vp-1} \quad (1)$$

onde o fator de capacidade ou coeficiente de fluxo, C_v , são valores obtidos, geralmente, em galões por minuto de água que flui através de uma válvula com elevação de 1 psi (*pound per square inch*) à montante, vp é a posição da válvula em percentagem de abertura e α o fator de abertura. Para uma válvula de igual abertura, propriamente dita, $\alpha = 50\%$.

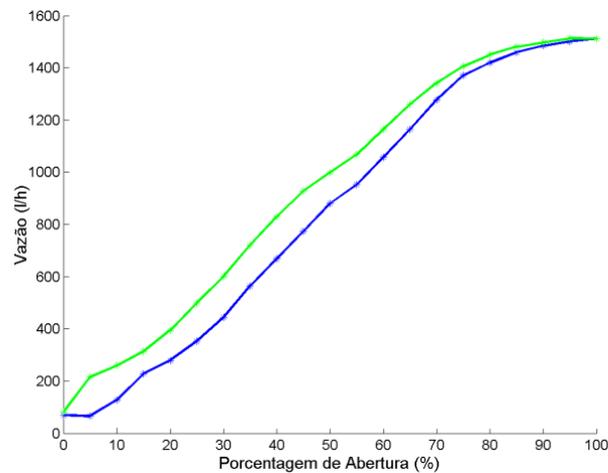
No entanto, entre uma resposta ideal aos modelos válvulas, como apresentado na Figura 1, outros erros ocorrem no seu funcionamento, como é o caso da histerese e regiões de não linearidade do controle da válvula, conforme mostrado na Figura 2.

Figura 1 – Curvas de resposta de uma válvula de controle de acordo com a relação de abertura e a capacidade da válvula sujeito a uma que de determinada pressão.



Fonte: SMITH e CORRUIPIO (1997)

Figura 2 – Comportamento dinâmico de abertura e fechamento da válvula com atuador pneumático



Fonte: SILVA, ENDO e LISBOA (2011)

Assim, a importância desse estudo sobre o modelo de funcionamento das válvulas é necessário, pois características reais intrínsecas do sistema ocorrem em grande parte de sistemas reais de controle. Na indústria, essas características se não levadas em consideração podem diminuir em muito o desempenho esperado do sistema (SMITH e CORRIPIO, 1997).

Neste trabalho, todas as análises foram desenvolvidas em torno da planta didática do fabricante brasileiro, SMAR, que reproduz processos industriais para fins didáticos e é munida de equipamentos e ferramentas iguais aos usados em processos industriais, permitindo simular experimentos de situações reais.

O primeiro processo que ocorre na planta é o de aquecimento, em que ocorre a medição da quantidade de água fria que está entrando no sistema, essa vazão é medida pelo FIT (transmissor e indicador de vazão), que manda um sinal para o controlador indicando se será necessário aumentar a temperatura ou não, com base no *setpoint* de referência.

Tendo em vista que a malha de aquecimento da planta industrial é um sistema de primeira ordem, é possível determinar uma função de transferência que rege seu comportamento. Esse tipo de função nos permite simular de maneira muito fiel o comportamento de um sistema, de forma relativamente simples, que pode ser conferido em (NISE, 2002).

A partir de uma coleta de dados reais do sistema de aquecimento obteve a característica de resposta. A função de transferência foi obtida a partir destes dados de uma resposta temporal. Para a identificação do modelo (AGUIRRE, 2007) utilizou uma heurística para se caracterizar a função de transferência, $G(s)$, da resposta do sistema que foi utilizada como referência e normalizada, conforme descrita na equação (2).

$$G(s) = \frac{5 \cdot 10^{-2}}{s + 3 \cdot 10^{-3}} \quad (2)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, um exemplo de aplicação dos conceitos estudados é desenvolvido com o objetivo de classificar a temperatura do tanque de aquecimento. A partir de variáveis de entrada como vazão, tempo de abertura e abertura da válvula, é possível classificar a temperatura do tanque de aquecimento (saída do sistema). As variáveis de entrada foram coletadas diretamente na planta e a variável de saída é obtida por meio da equação (1). Foram coletadas 750 linhas de dados numéricos, os quais foram divididos em conjunto de treinamento – utilizando 80% dos dados – e conjunto de teste – 20% dos dados. Tanto as variáveis de entrada (abertura da válvula, vazão e tempo de abertura) quanto a de saída (temperatura) são discretizadas em cinco classes linguísticas: muito baixo (MB), baixo (B), médio (M), alto (A) e muito alto (MA). De acordo com as combinações das entradas, seriam geradas cento e vinte e cinco regras do tipo “se-então”, porém, algumas combinações das variáveis de entrada não são cabíveis na prática e essas regras são podadas. Por esse motivo, são geradas quarenta e cinco regras linguísticas.

A Tabela 1 exibe os parâmetros das funções de pertinência de entrada, obtidos pelo treinamento do sistema neurofuzzy, e de saída, construída com base na temperatura do tanque de aquecimento da planta. Sendo, FCV, a válvula de controle de uma malha de vazão, FIT, o indicador e transmissor de vazão, TIT, o transmissor e indicador de temperatura e o tempo de abertura da válvula.

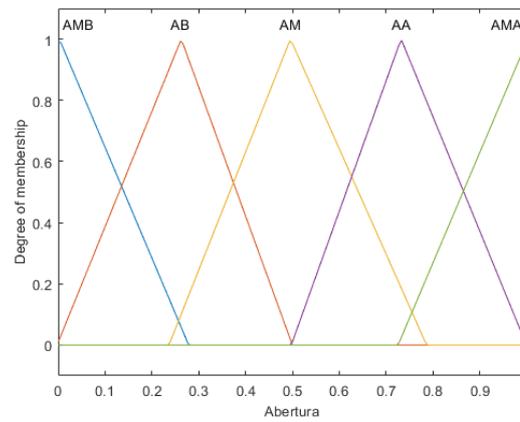
As Figuras 3, 4 e 5 apresentam o comportamento das funções de pertinência de entradas, geradas por estes parâmetros, e a Figura 6 apresenta o comportamento da função de saída. A estratégia de compensação do erro ocorre vinculando as ações da fuzzyficação/defuzzificação das entradas com a ação na variável de processo controlada.

Tabela 1 – Determinação dos parâmetros das funções de pertinência com característica triangular

TAG	MB	B	M	A	MA
FCV	-0.25	-0.002	0.237	0.498	0.726
	0.002	0.263	0.496	0.732	1.003
	0.279	0.500	0.787	1	1.25
FIT	-0.195	0.004	0.297	0.519	0.772
	0.046	0.289	0.527	0.76	0.999
	0.293	0.552	0.767	1.001	1.239
Tempo	-0.25	0	0.25 0.5	0.5	0.75
	-0.0026	0.25	0.75	0.75	1
	0.247	0.5		1	1.25
TIT	-0.25	0	0.2	0.5	0.65
	0	0.25	0.5	0.75	1
	0.25	0.65	0.8	1	1.75

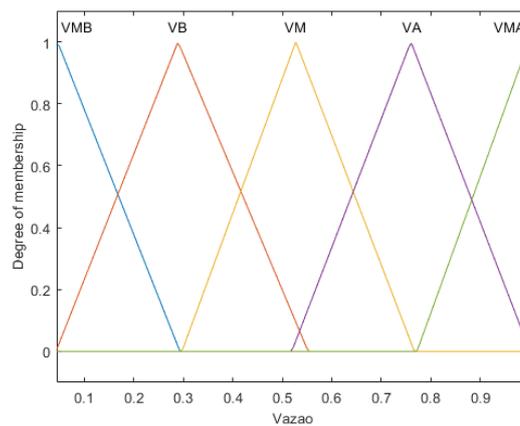
Fonte: Autoria própria (2020)

Figura 3 - Funções de pertinência de entrada – abertura da válvula de controle da vazão de entrada – FCV.



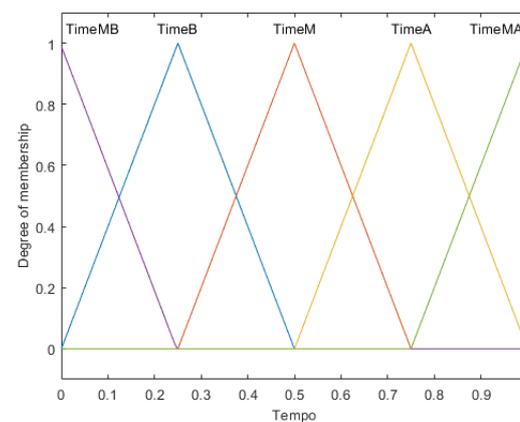
Fonte: Autoria própria (2020)

Figura 4 - Funções de pertinência de entrada – transmissor e indicador de vazão



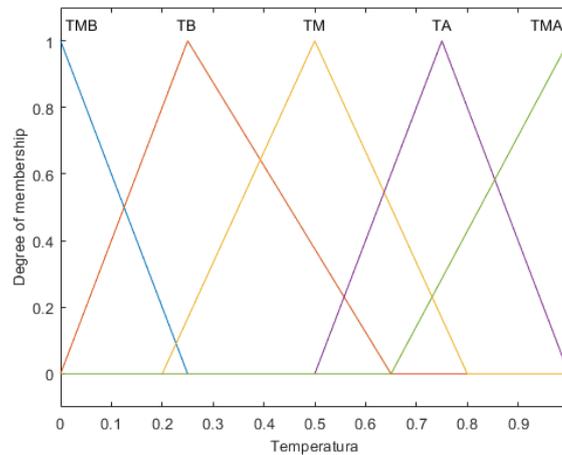
Fonte: Autoria própria (2020)

Figura 5 – Funções de pertinência de entrada - Tempo de abertura da válvula



Fonte: Autoria própria (2020)

Figura 6 - Função de pertinência de saída do sistema fuzzy Temperatura



Fonte: Autoria própria (2020)

Após o treinamento dos parâmetros e da construção do classificador fuzzy, o conjunto de teste foi aplicado para calcular o índice de acerto do sistema de classificação fuzzy. O modelo de classificação obteve uma taxa de acerto de 98%, mostrando-se um sistema robusto e aplicável a dados reais.

CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi apresentado um estudo sobre classificação de temperatura de uma planta industrial didática. O estudo foi aplicado mais especificamente na malha de aquecimento da planta.

Pode-se concluir que os sistemas fuzzy e neurofuzzy foram bem aplicáveis para a compensação de erros de controle para o sistema de aquecimento da planta industrial real, com processo emulado. No entanto, é importante destacar que isso ocorre visto que as variáveis de entrada e de saída permitem sobreposições entre classes linguísticas. O comportamento do sistema foi feito por meio de entradas, abertura da válvula e as medidas coletadas de vazão, por um FIT, permitindo inferir-se sobre a ação direta de controle da temperatura do tanque de aquecimento, classificada como muito baixa, baixa, média, alta ou muito alta.

Devido aos imprevistos causados pela pandemia do COVID-19, não foi possível implementar o controle PID inicialmente proposto no trabalho. Portanto, como perspectivas de continuidade do trabalho, será desenvolvido no sistema de ensaios um controle fuzzy, um PID (proporcional, integral e derivativo) e outras técnicas que compensem com robustez e simplicidade os erros advindos dos sinais de controle de todo o aparato de uma válvula industrial real, similar ao apresentado em Xiao, Zou e Wei (2010).

REFERÊNCIAS

AGUIRRE, L. A. **Introdução à identificação de sistemas**. 3. ed. Belo Horizonte, MG: Editora UFMG, 2007

CHU, Q.; LIU, T.; WANG, Y. Research on excitation controller based on the adaptive fuzzy PID technique. In: 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT HUMAN-MACHINE SYSTEMS CYBERNETICS, 5, 2013. Hangzhou, **Anais...** Hangzhou,: IEEE, v.1, p. 297 - 300, 2013.

JANG, J. S. R. Anfis: adaptive-network-based fuzzy inference system. IEEE **Transactions on Systems, Man and Cybernetics**, v. 23, n. 3, p. 665-685, 1993.

JANG, J.S.R.; MIZUTANI, E. **Neuro-fuzzy and soft computing**, Prentice Hall. New York-USA, 1997.

JANG, J. S.; SUN, C. T.; MIZUTANI, E. **Neuro-fuzzy and soft computing: a computational approach to learning and machine intelligence**. PHI Learning Private Limited, New Delhi, 2012.

KLIR, G. J; YUAN, B. . **Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications**. Prentice Hall, Binghamton, New York, 1995.

NISE, N. S. **Engenharia de sistemas de controle**. 3. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2002.

PEDRYCZ, E.; GOMIDE, F. **An introduction to fuzzy sets: analysis and design**. MIT Press, 1998.

SILVA, L. R. B.; ENDO, W.; LISBÔA, A. R. B. S. Expectativas da utilização de uma planta didática industrial como objeto de aprendizagem em um curso de graduação em engenharia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 39., 2011, Blumenau. **Anais...** Blumenau. ABENGE, 2011.

SIMÕES, M. G.; SHAW, I. S. **Controle e modelagem fuzzy**. Edgard Blucher, 2^a. ed. São Paulo, 2007.

SMITH, C. A.; CORRIPIO, A. B. **Principles and practices of automatic process control**. Wiley, 1997.

XIAO, Q.; ZOU, D.; WEI, P. Fuzzy adaptive PID control tank level. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIMÉDIA COMMUNICATIONS, 2010, Hong Kong. **Anais...** Hong Kong: IEEE. p. 149 - 152, 2010.