



## SISTEMA DE SUPERVISÃO E CONTROLE COM CONTROLADOR FUZZY PARA PLANTA DIDÁTICA SMAR PD3 - INTEGRAÇÃO ENTRE TEORIA E PRÁTICA

**Resumo:** *Em um ambiente industrial, a aplicação de sistemas supervisórios, aliados a controle automático de equipamentos, possui algumas vantagens competitivas essenciais. Produção em larga escala, baixo custo e segurança operacional são alguns exemplos de aplicações que podem ser desenvolvidos utilizando automação. É fundamental a correta capacitação dos alunos de engenharia, seja a nível de graduação e/ou pós-graduação, visando a formação de recursos humanos capacitados a atuar em tais ambientes. Neste contexto, o presente artigo apresenta o desenvolvimento de um sistema supervisório aplicado a Planta Didática Smar PD3. Como será visto, essa prática aborda conhecimentos de redes industriais, teoria de controle e ferramentas computacionais. O sistema desenvolvido conta com dois controladores, baseados em lógica difusa (Fuzzy), para o controle da temperatura nos tanques de aquecimento e tanque de mistura da planta didática PD3, utilizando o software Matlab para implementação do controle do sistema. Para implementação da lógica difusa, foi utilizado o Fuzzy Logic Toolbox, assim como a criação da interface gráfica através do Guide Toolbox. As variáveis necessárias para controle do sistema foram mapeadas através do servidor OPC disponibilizado pela Planta Didática PD3, por meio de sua rede Foundation Fieldbus. Objetiva-se o controle integrado do sistema da planta didática através do supervisório desenvolvido e a partir disso é esperado que o aluno tenha plena compreensão dos conteúdos teóricos de tais conhecimentos.*

**Palavras-chave:** *Supervisório, PD3, MATLAB Toolboxes.*

### 1. INTRODUÇÃO

Processos de manufatura modernos contêm cada vez mais subsistemas, e o principal objetivo de se implementar um controle automático é a coordenação desses subsistemas de forma que atendam a uma série de tarefas individuais e conjuntas, garantindo o bom funcionamento global do processo (QUEIROZ; CURY, 2002). Nessa ótica, a planta didática PD3, produzida e comercializada pela empresa Smar, é uma ferramenta que possibilita a aplicação de controladores de processos contínuos e o ensino de tais ferramentas.

A estrutura do trabalho está organizada da seguinte forma: A seção II apresenta a descrição da planta didática PD3; A seção III apresenta a estratégia de controle fuzzy, bem como sua implementação através do Fuzzy Logic Toolbox do Matlab. Na seção IV o sistema de supervisão e sua implementação no Matlab através do Guide Toolbox. A seção V descreve os testes, resultados e discussões; E, por fim, a seção VI conclui o artigo.

Organização



**UDESC**  
UNIVERSIDADE  
DO ESTADO DE  
SANTA CATARINA



Promoção



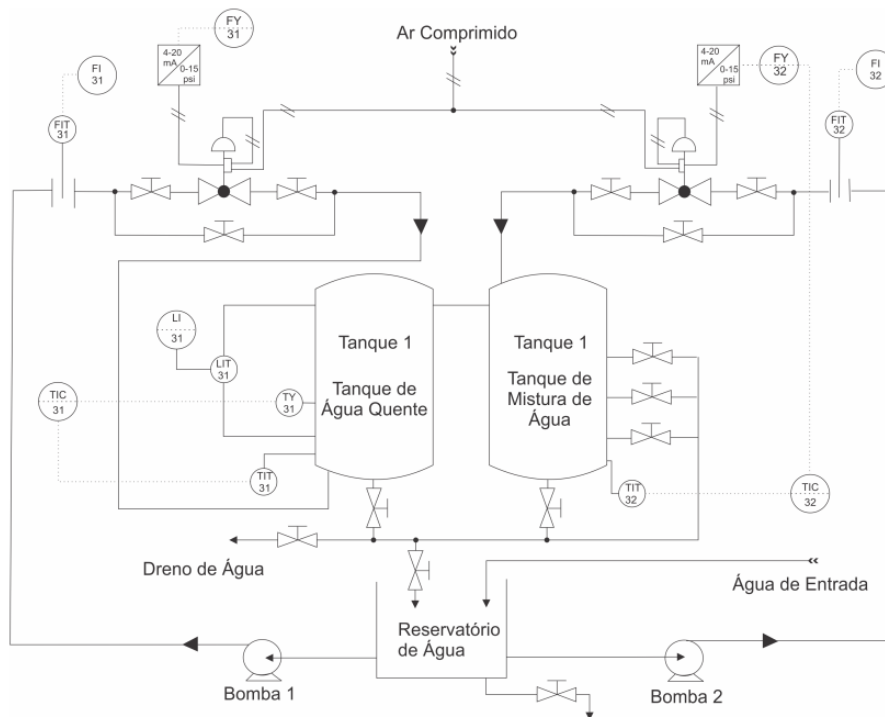


## 2. PLANTA DIDÁTICA SMAR PD3

A Planta Didática Smar PD3 disponibiliza processos de controle e supervisão em um sistema compacto e ao mesmo tempo fiel à realidade da Automação Industrial. Representa de forma simples e objetiva, a operação de diversas malhas de controle que podem ser implementadas em uma planta industrial utilizando a tecnologia *FoundationFieldbus*. (SMAR, 2012).

A planta, Figura 1, é composta por: transmissores de pressão - LD302, transmissores de temperatura - TT302, posicionadores de válvulas - FY302, conversor fieldbus/4-20 mA - FI302, plataforma de controle e automação de processos - DFI302, entre outros. Podemos notar que a planta é composta, também, por: Tanque 01; Tanque 02; Sistema de aquecimento TY-31; Válvulas proporcionais FY-31 e FY-32; Bombas d'água BB-01 e BB-02; Medidores de Vazão FI-31 e FI-32 e Conversor Estático (4-20mA).

Figura 1 – Planta Didática Smar PD3



A água é aquecida no tanque 01, através da resistência elétrica alimentada pelo conversor estático. Posteriormente, é realizada a mistura da água quente e fria no tanque 02. Nestes reservatórios serão implementados os controladores Fuzzy 01 e 02, respectivamente. É evidente que nesse mesmo contexto podem ser empregadas diferentes estratégias de controle, possibilitando a comparação entre estas e a correta análise dos prós e contras da aplicação de cada estratégia de controle. O primeiro controlador visa o controle do aquecimento da água, levando em consideração diversas faixas operacionais - *Set points* desejados, bem como a variação do fluxo de água com a abertura e fechamento da válvula de entrada de água. O segundo controle visa a obtenção do valor de *Set point* desejado para a mistura entre água quente e fria. Da mesma maneira, o controlador 02



deve levar em consideração a variação no fluxo de água quente que entra, para aplicar a quantidade correta de água fria na mistura.

### 3. TRABALHOS CORRELATOS & ESTRATÉGIAS PEDAGÓGICAS

Em (MORAIS et al., 2017), é feito o levantamento da função de transferência do processo da planta didática PD3, descrevendo completamente o comportamento dinâmico da saída do sistema. (SIMEÓN et al., 2007), por sua vez, utiliza três diferentes estratégias de controle para a planta didática PD-3, sendo: redes neurais, lógica fuzzy e PID, trazendo como resultados a comparação de tempos de atuação de cada controlador, onde o aluno pode verificar qual melhor estratégia a ser adotado para o tipo de problema abordado.

No trabalho de (ANDRADE; ARAÚJO, 2013) baseado na planta didática PD3, o mesmo elabora um simulador da planta didática, possibilitando um melhor aprendizado nas disciplinas da área de controle, permitindo que as teorias de controle aprendidas, sejam implementadas no simulador. (FILHO; LANES; CARMO, 2013) utiliza a planta didática PD3 com a tecnologia de comunicação HART para comunicação entre instrumentos de campo e o Controlador Lógico Programável da planta via terminal remoto padrão ZigBee/IEE 802.15.4, onde o terminal ZigBee é utilizado para transmitir os dados dos instrumento via rádio frequência, obtendo todas as vantagens que uma rede sem fio oferece. Por fim, (ARRUDA; ROQUEIRO, 2005) utiliza a planta didática PD3 para detecção e isolamento de falhas. Utiliza técnica quantitativa, baseada em modelo, utilizando observadores de estado para geração de resíduo, resíduo este que é utilizado para determinar a existência ou não de falhas no sistema.

Como podemos notar, a bancada dispõe de uma vasta gama de equipamentos e funções onde o estudante é capaz de aplicar os conhecimentos teóricos. Como dito, para a prática apresentada no presente artigo, são aplicados conhecimentos de redes industriais, teoria de controle e ferramentas computacionais.

Em redes industriais, temos toda estruturação da rede de comunicação, onde podem ser vistos: as topologias de redes, os meios físicos de comunicação, o padrão de conexão dos instrumentos, a transmissão dos pacotes de dados, os protocolos da rede e a plataforma de comunicação OPC, por exemplo.

Em teoria de controle podemos desenvolver diferentes estratégias de controle, tais como: o controle clássico por meio do PID, enfatizando a ação de cada um dos 3 elementos básicos (Proporcional, integral, derivativo); Dentro desse tópico podem ser abordadas as variações deste tipo de controlador, e até mesmo a aplicação de controladores PIDs em cascata, uma vez que a ação de controle do tanque 02 é dependente do tanque 01. Podem ser vistos controles baseados em lógica difusa, como é apresentado no presente artigo, bem como, a abordagem do controle moderno por meio de redes neurais artificiais. Modelagem e/ou identificação do sistema dinâmico podem ser abordadas a partir da delimitação das variáveis e as devidas considerações.

Por fim, temos a aplicação de ferramentas computacionais, que atualmente é conhecimento indispensável para qualquer profissional de engenharia. A criação de um modelo que represente o sistema, o estabelecimento de comunicação por meio do protocolo OPC, o desenvolvimento e teste do sistema de controle, bem como a elaboração do sistema supervisão, são ações possíveis por meio do software Matlab e seus tobo-

Organização



**UDESC**  
UNIVERSIDADE  
DO ESTADO DE  
SANTA CATARINA



**UNISOCIESC**  
Educação e Tecnologia

Promoção



**ABENGE**  
Associação Brasileira de Educação em Engenharia

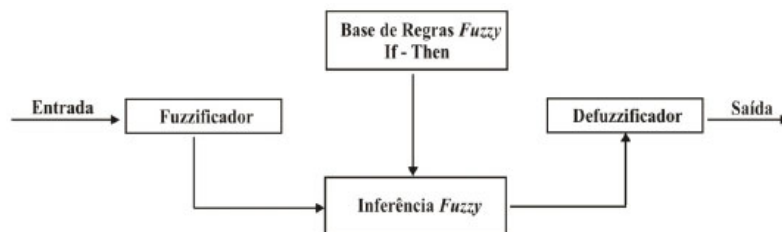


xes. A abordagem multidisciplinar destes tópicos pode contribuir significativamente para o entendimento dos alunos na resolução de problemas, visto que, quando trabalhados individualmente podem se tornar menos dinâmicos e mais complexos.

#### 4. CONTROLADORES FUZZY

O controle fuzzy nos é oferecido como uma alternativa ante ao controle clássico implementado via PID (LIMA et al., 2013), que normalmente dependem de levantamento do modelo matemático do processo. Embora o controlador PID tenha apenas três parâmetros, não é fácil, sem um procedimento sistemático, encontrar bons valores (ajustes) para eles. (SKOGESTAD, 2003) Devido as características não lineares do equipamento, são requeridos diferentes ganhos no controlador para cada faixa de operação. Dessa forma, o PID clássico está limitado a faixa de operação à qual foi sintonizado, o que limita seu desempenho e o torna inadequado à faixas operacionais diferentes. Se valendo dessas características é possível enfatizar na prática toda conceituação de cada um dos controladores vistos previamente. Já a lógica fuzzy é uma técnica que tenta aproximar a representação de conhecimento computacional com a representação de conhecimento humano. Em outras palavras, lógica fuzzy tenta aplicar uma lógica de programação de sistemas inteligentes que se assemelha a forma como o conhecimento humano é construído. Para que isso aconteça, a lógica fuzzy se utiliza de uma estrutura *IF A, THEN B*. Nessa estrutura as variáveis A e B representam um conjunto de dados (JANG, 1993). Com a estrutura *IF A, THEN B* a lógica fuzzy consegue representar a incerteza através da criação de rótulos que representam intervalos dentro de um conjunto de dados. De acordo com (JANG, 1993), e como pode ser visto na Figura 2, um controlador fuzzy é composto pelos seguintes blocos: Uma base com as regras de associação *IF – THEN* aplicadas às regras fuzzy; Uma unidade para tomada de decisão que realiza as inferências a partir das regras fuzzy; Uma unidade de fuzzificação para a transformação dos valores dos sensores de entrada em valores que correspondem aos rótulos criados (variáveis de pertinência); Uma unidade de defuzzificação que transforma as variáveis do controle em uma saída compatível com os atuadores.

Figura 2 – Sistema Fuzzy



##### 4.1. Fuzzy Logic Toolbox - Controladores

Para a implementação de regras fuzzy, foi utilizado o Fuzzy Logic Toolbox no software MATLAB. Este Toolbox disponibiliza arquivos e funções utilizados para a aplicação da teoria de conjuntos fuzzy (AMENDOLA; SOUZA; BARROS, 2005). O Fuzzy Logic Toolbox disponibiliza uma interface gráfica para aplicações em análise e simulação de sis-



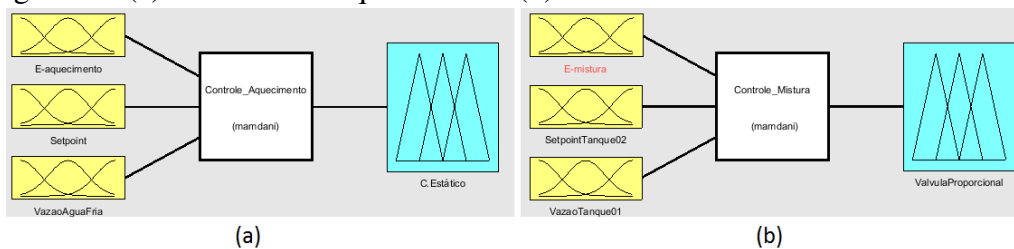
temas em lógica fuzzy, fornecendo todos os passos necessários para a criação das funções de tomadas de decisões à partir das regras fuzzy.

O controlador do tanque de aquecimento, Figura 3(a), utiliza três variáveis de entrada: *SetPoint1*, que define a temperatura desejada para a água dentro do tanque de aquecimento; a variável *VazaoAguaFria* que indica a vazão da bomba que fornece água para o tanque de aquecimento; e a variável *E-aquecimento*, que armazena a diferença entre a temperatura atual do tanque e a temperatura definida pelo *SetPoint1*. Esta diferença se traduz no erro da temperatura do tanque do aquecimento, conforme a Equação 1:

$$E\text{-aquecimento} = \text{SetPoint1} - \text{TemperaturaAtual}, \quad (1)$$

$$E\text{-mistura} = \text{TemperaturaAtual} - \text{SetPointTanque02} \quad (2)$$

Figura 3 – (a) Controle de Aquecimento. (b) Controle de mistura



O controlador do tanque de mistura se assemelha ao controlador do tanque de aquecimento, Figura 3(b). Têm-se a variável *SetPointTanque02*, que define a temperatura do tanque de mistura; *VazaoTanque01* que armazena a vazão da bomba que fornece água para o tanque de aquecimento, (uma vez que a temperatura do tanque de mistura é dependente da temperatura do tanque de aquecimento); e a variável *E-mistura* que receberá a diferença da temperatura atual do tanque de mistura e a temperatura definida pelo *SetPointTanque02*. Esta diferença se traduz no erro da temperatura do tanque de mistura, conforme a Equação 2. Assim, enquanto o erro *E-mistura* for positivo, significa que a água do tanque de mistura ainda não atingiu a temperatura definida pelo *SetPointTanque02*. Dessa forma enquanto o erro *E-aquecimento* for positivo, significa que a água do tanque de aquecimento ainda não atingiu a temperatura definida pelo *SetPoint*.

Na figura 4, temos uma representação do sistema utilizando diagrama de blocos. Dessa maneira temos uma clara representação das variáveis de entrada que foram mencionadas acima.

A Tabela 1, mostra as regras de inferência para o controlador de aquecimento. Pode-se notar que foram criadas funções de pertinência para a saída do controlador 01, de modo a se trabalhar variações mais finas próximas a potência máxima do conversor estático de temperatura. Isso se deve ao fato de que, nas análises da dinâmica do sistema, realizadas na planta, detectou-se uma melhor resposta do sistema nessas faixas de operação do sistema de aquecimento.





Figura 4 – Representação por Diagrama de Blocos para Controle de Aquecimento

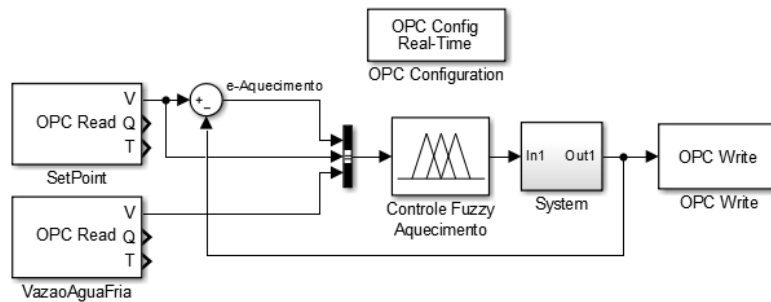


Tabela 1 – Entradas e Saídas Controladores Fuzzy

Entradas		Saídas	
E-Aquecimento	Setpoint	VazãoAguaFria	C.Estático
Negativo	3	Média	6
N1	3	Média	4
N0.5	3	Média	6
0	3	Média	6
P0.2	3	Média	16
P0.4	3	Média	18
P0.6	3	Média	19
P0.8	3	Média	19.5
P1	3	Média	20
Positivo	3	Média	20

As regras definidas tanto para o Controle de Aquecimento quanto para o Controle de Mistura, são semelhantes. Porém, as decisões tomadas à partir destas regras resultam em saídas diferentes. As regras do Controle de Aquecimento irão influenciar na potência aplicada pelo Conversor Estático, para que haja o aquecimento da água do tanque de aquecimento.

Abaixo temos exemplos para o controle de aquecimento e controle de mistura, respectivamente.

**if** (SetPoint1 == 25) and (E-aquecimento == 15) and (VazaoAguaFria == 'Baixa')

**then**  
*ControladorEstatico* ← *PotenciaMaxima*  
**end if**

**if** (SetPointTanque02 == 30) and (E-mistura == 25) and (VazaoTanque01 == 'Baixa')

**then**  
*ValculaProporcional* ← *AberturaMaxima*  
**end if**

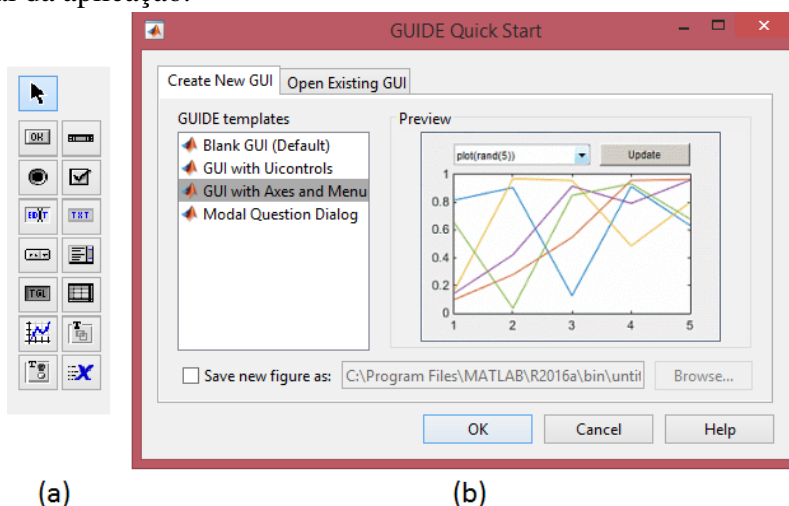
## 5. SISTEMA SUPERVISÓRIO - GUIDE TOOLBOX

O supervisor necessita de uma atenção especial pois deve ser projetado para ser simples e representativo para o operador. Para desenvolver o sistema de supervisão e



controle com as variáveis de processo da planta didática PD3, utilizou-se o Guide Toolbox, Figura 5b, disponibilizado pelo MATLAB. O mesmo permite criação de interfaces gráficas, eliminando a necessidade de aprender determinada linguagem de programação ou tipo de comando específico relacionado ao arquivo de código com formato (.m), para rodar a aplicação. (MATLAB, 2008)

Figura 5 – Guide Toolbox. (a) Barra de ferramentas disponível na aplicação. Contém os principais recursos utilizados na parte de implementação gráfica. (b) Tela inicial da aplicação.



Utilizando a barra de ferramentas, Figura 5a, com cliques e arrastes, é possível criar gráficos, botões, animações além de outras funções mais específicas. Esse *toolbox* gera automaticamente um arquivo de programa que tem todas as funções do Matlab para o sistema de controle. Através do editor do Matlab é possível criar rotinas para a função *Callback* relacionada a um dado objeto no Guide. Essas rotinas podem se comunicar através de Plataforma de Comunicação Aberta, do inglês, *Open Platform Communications (OPC)*.

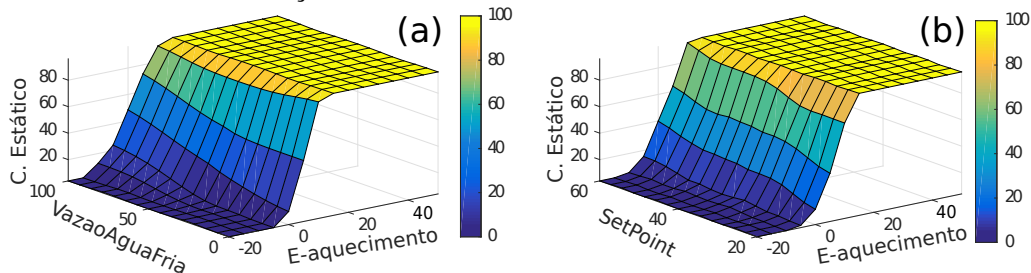
O sistema de comunicação OPC foi desenvolvido com o objetivo de estabelecer regras para que sejam desenvolvidos sistemas com interfaces padrões para comunicação dos dispositivos de campo (CLPs, sensores, balanças, etc.) com sistemas de monitoração, supervisão e gerenciamento (SCADA, MES, ERP, etc.). (MARCOS, 2002) Uma de suas vantagens é a interoperabilidade dos sistemas de diversos fabricantes, eliminando a necessidade de drivers de comunicação proprietários. É composto por um cliente e um servidor (DENISE LEANDRO, 2008), onde o cliente fica solicitando os dados do servidor, que lhe atende e retorna com os dados solicitados. Sendo que a comunicação pode ser iniciada tanto pelo servidor, como cliente. Nesta proposta a comunicação OPC é responsável pela troca de informações entre MATLAB e equipamentos de campo da rede *Foundation Fieldbus*.



## 6. RESULTADOS

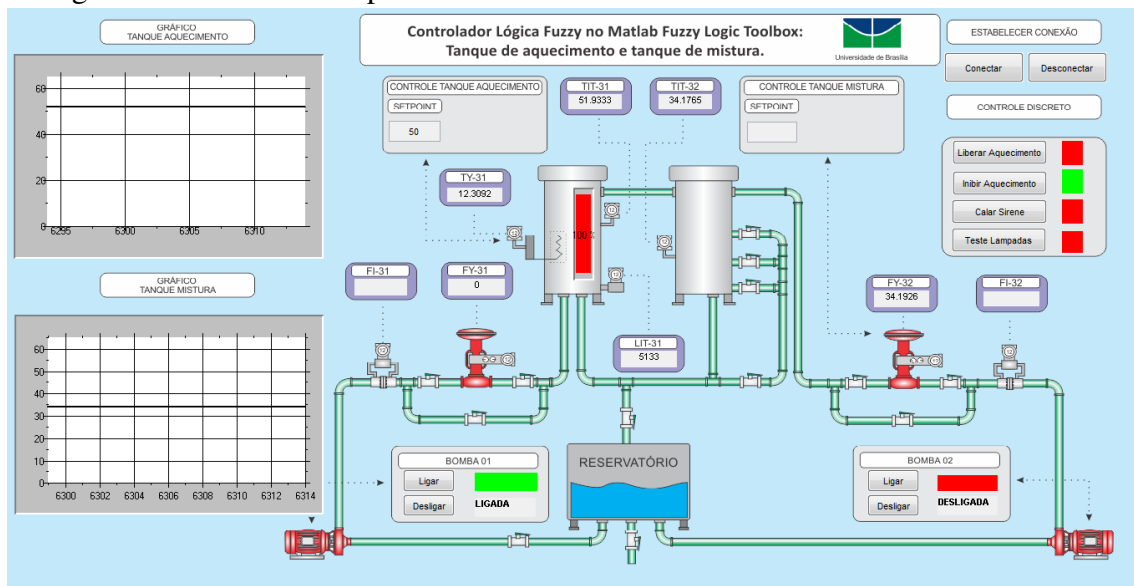
A Figura 6 mostra gráficos de superfície que demonstram o comportamento dos controladores. A Figura 6a mostra o comportamento do Conversor Estático conforme a variação na vazão de água fria e erro de aquecimento. Já a Figura 6b, mostra o comportamento do Controlador Estático conforme os valores definidos para o *SetPoint*, ou seja, a temperatura máxima do tanque de aquecimento.

Figura 6 – Controle de Aquecimento. (a) Comportamento do Controlador Estático conforme variação da vazão de água fria. (b) Comportamento do Controlador Estático conforme variação do *SetPoint*.



A Figura 7 apresenta o sinótico criado para o sistema supervisório. Como dito, a interface deve ser projetada para ser intuitiva, de fácil manuseio e ter suas funções acessíveis ao operador. Para iniciarmos a operação, basta clicar no botão «Conectar», no canto superior direito da tela. A comunicação OPC assumirá a função de ler todos os valores e incluir no supervisório, bem como já será iniciado o controle utilizando os controladores Fuzzy.

Figura 7 – Sinótico do supervisório criado.







## 7. CONCLUSÕES

Neste artigo, foi realizada uma abordagem geral sobre a planta didática, com seus principais componentes. Foram descritos métodos para a elaboração de controladores Fuzzy aplicados aos tanques da planta didática Smar PD3. Na implementação do supervisor, foram descritos os principais itens a serem considerados, a ordem de desenvolvimento do mesmo.

Fica evidenciado que o desenvolvimento do trabalho contribui de maneira singular na estratégia pedagógica de ensino dos conhecimentos aqui abordados, bem como demonstrado nos trabalhos citados. Como visto, existem diversas possibilidades a serem abordadas, tais como, modelagem de sistemas, desenvolvimento de equipamentos para integração de sistemas de comunicação e estratégias de controle alternativos, demonstrando, a multidisciplinaridade de tal projeto.

### *Agradecimentos*

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Rondônia - FAPERÓ, e ao Instituto Federal de Rondônia - IFRO, pelo apoio.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMENDOLA, M.; SOUZA, A. L. D.; BARROS, L. C. Manual do uso da teoria dos conjuntos Fuzzy no MATLAB 6.5. *Feagri & Imecc/ Unicamp*, p. 1–44, 2005.

ANDRADE, A. B. d.; ARAÚJO, D. B. Desenvolvimento de um simulador para planta didática pd3 da smar utilizando estratégia de controle de feedback e cascata. *Biblioteca Digital de Trabalhos Acadêmicos - BDTA-IFF*, 2013. Acesso em: 25 de abril de 2017. Disponível em: <http://bd.centro.iff.edu.br/jspui/handle/123456789/869>.

ARRUDA, E. G. M.; ROQUEIRO, N. Detecção e isolamento de falhas sobre sensores utilizando banco de observadores. *Congresso Brasileiro de P&D em petróleo e gás*, 2005.

DENISE LEANDRO, A. R. F. Utilização do drive opc na integração de sistemas de automação industrial. *Terceiro Seminário Nacional de Sistemas Industriais e Automação*, 2008.

FILHO, L. G. Q. de P.; LANES, M. M.; CARMO, M. J. do. Protótipo para adaptação de instrumentos com protocolo hart para comunicação com o opc via zigbee. *Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia*, 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, May 1993. ISSN 0018-9472.

LIMA, M. O. d. et al. Controle com estrutura pid fuzzy aplicado a plantas industriais. *Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente*, 2013.

MARCOS, O. Comunicação opc - uma abordagem prática. *VI Seminário de Automação de Processos, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais*, 2002.

Organização



Promoção





MATLAB. *MATLAB 7: Getting Started Guide - Minor revision for MATLAB 7.7 (Release 2008b)*. Natick, Massachusetts, 2008.

MORAIS, C. R. Rodrigues de et al. Planta didática smar pd3: Modelagem e simulação do tanque de aquecimento—parte a. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, v. 3, n. 3, p. 454–475, 2017.

QUEIROZ, M. H. d.; CURY, J. E. Controle supervísório modular de sistemas de manufatura. *Sba: Controle & Automação - Sociedade Brasileira de Automatica*, SciELO Brasil, v. 13, n. 2, p. 123–133, 2002.

SIMEÓN, E. J. A. et al. Different control strategies used in didactic plant pd-3 of smar through opc technology. *19th International Congress of Mechanical Engineering*, 2007.

SKOGESTAD, S. Simple analytic rules for model reduction and pid controller tuning. *Journal of process control*, Elsevier, v. 13, n. 4, p. 291–309, 2003.

SMAR, C. *PD3-F – Manual de Instruções, Operação e Manutenção*. 3th. ed. [S.l.]: Foundation, 2012.

## **SUPERVISION AND CONTROL SYSTEM WITH FUZZY CONTROLLER FOR DIDACTIC WORKBENCH SMAR PD3 – INTEGRATION BETWEEN THEORY AND PRACTICE**

**Abstract:** *In an industrial environment the application of supervisory systems, combined with automatic control of equipment, has some essential competitive advantages. Large scale production, low cost and operational safety are some examples of applications that can be developed with automation. It is essential that the engineering students be properly trained, either at the under-graduate and/or post-graduate level, in order to train human resources trained in such environments. In this context, this article presents the development of a supervisory system applied to Smar PD3 Didactic workbench. As will be seen, this practice addresses knowledge of industrial networks, control theory and computational tools. The developed system has two controllers, based on Fuzzy logic, to control the temperature in the heating tank and mixing tank of the PD3 didactic workbench. Matlab software will be used to implement system control. For the implementation of fuzzy logic, the Fuzzy Logic Toolbox will be used, as well as the creation of the graphic interface through the Guide Toolbox. The variables needed to control the system will be mapped through the OPC server provided by the PD3 didactic workbench, through its Foundation Fieldbus network. It is aimed at the integrated control of the teaching system through the developed supervisory and from this it is expected that the student has full understanding of the theoretical contents.*

**Palavras-chave:** *Supervisory, PD3, MATLAB Toolboxes.*

Organização



**UDESC**  
UNIVERSIDADE  
DO ESTADO DE  
SANTA CATARINA



Promoção



**ABENGE**  
Associação Brasileira de Educação em Engenharia