



## CONTROLE ON/OFFCOM HISTERESE EM UM TANQUE DE NÍVEL NÃO LINEAR DE UMA PLANTA DIDÁTICA: UMA EXPERIÊNCIANO ENSINO DE CONTROLE AUTOMÁTICO

**Murillo Ferreira dos Santos** – murilloferreiradossantos@gmail.com

**André Cruz Ribeiro** – andre.cruze@yahoo.com.br

**Hemerson Aparecido da Costa Tacon** – hemerson-tacon@hotmail.com

**Marlon José do Carmo** – marloncarmo@ieee.org

CEFET-MG Campus III Leopoldina

Rua José Peres – 558 – Centro

36700-00 – Leopoldina – Minas Gerais

**Resumo:** *Muitas vezes sistemas de nível permitem oscilação contínua da variável controlada em torno de um determinado valor de referência. A saída do controlador muda de ligada para desligada, ou vice-versa, à medida que o sinal de erro passa por um ponto de ajuste. Dessa forma, este trabalho tem por objetivo apresentar uma interface desenvolvida em ambiente MATLAB<sup>®</sup>/Simulink onde um controle ON/OFF é implementado em um tanque de nível de uma planta didática da SMAR<sup>®</sup> com protocolo de comunicação Foundation Fieldbus, que visa manter o nível em torno de um determinado nível configurado previamente na interface. Os resultados obtidos foram considerados satisfatórios perante as grandes não linearidades presentes em sistemas de nível, o que proporcionou melhora no processo de aprendizado dos estudantes.*

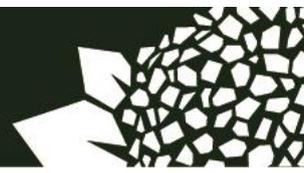
**Palavras-chave:** *Controle ON/OFF, Sistemas de Nível, Protocolo OPC, Protocolo Foundation Fieldbus.*

### 1. INTRODUÇÃO

Com a difusão cada vez mais ascendente do ensino de controle automático e instrumentação, o professor é exigido a se capacitar frequentemente para se manter atualizado com a evolução tecnológica, o que requer práticas de laboratório onde são demonstrados os conceitos trabalhados em sala de aula e sua aplicação na indústria (SILVA *et al*, 2012).

Com isso, educadores necessitam se apropriar desses princípios, que se dão na medida em que se amplia a consciência de uma práxis transformadora, que deve vir subsidiada pela ética profissional e pela autonomia sobre o seu saber-fazer (GARRIDO, 1999).

É dito que a escola é o espaço social que tem como dever possibilitar ao aluno a apropriação de conhecimentos variados como científicos, filosóficos, matemáticos dentre outros, sistematizados ao longo da história da humanidade. Tem também a obrigação de propiciar e estimular o desenvolvimento de habilidades e competências da



construção de um novo saber, onde possa ajudá-lo a compreender as relações, como condição do seu processo de formação (ALBUQUERQUE & SOUKI, 2003).

Desta forma, para que o objetivo das aulas de laboratório seja atingido, as práticas devem ser realizadas em plantas didáticas que possam proporcionar aos alunos e professores um complemento aos conteúdos ministrados nas unidades curriculares, verificando as aplicações próximas da realidade das indústrias (SILVA *et al.*, 2012).

Assim, em função da constante busca de qualidade, eficiência e precisão nos processos industriais, sistemas de controle em malha fechada sem a presença do operador humano são cada vez mais comuns em nosso cotidiano, chamados de Controladores Automáticos (BARBOSA *et al.*, 2013). Os alunos devem ser capacitados para esta nova realidade, desenvolvendo habilidades e competências específicas.

Os controladores industriais analógicos são classificados de acordo com a ação de controle que executam, dando diferentes escolhas para diferentes processos. Um controlador automático é formado pelo detector de erro e um amplificador, cuja função é transformar o sinal de erro, que por ventura é de baixa potência que deve ser elevado a um sinal um pouco maior.

O atuador transforma o sinal de erro amplificado pelo controlador no valor de entrada da planta, com o objetivo de que a saída da planta se aproxime do valor de referência aplicado na mesma.

No que se refere a controladores liga/desliga (ON/OFF) com ou sem histerese, o elemento de atuação possui apenas duas posições, ou seja, o dispositivo controlador fornece apenas dois valores na saída, ligado ou desligado. A grande utilização deste tipo de controlador pode ser justificada pela simplicidade da sua construção e pelo seu baixo custo (BARBOSA *et al.*, 2010). Emerge, então, o objetivo do trabalho que é apresentar uma experiência didática na condução do projeto de controladores por parte dos alunos. Diversas habilidades e competências foram desenvolvidas no decorrer do trabalho, tais como o projeto do controlador em si, dado uma dinâmica não linear; o desenvolvimento de uma interface homem máquina IHM; a interação da IHM com o instrumento via OPC.

O presente trabalho fica então dividido em seções, sendo a seção dois a apresentação da planta SMAR<sup>®</sup> via comunicação OPC com o computador, sistema onde o controle de nível é aplicado, assim como o protocolo de comunicação Foundation Fieldbus; a seção três a interface de controle desenvolvida, sua construção e operação e a seção quatro as considerações finais do mesmo.

## **2. PLANTA SMAR<sup>®</sup> VIA COMUNICAÇÃO OPC**

O objetivo da planta SMAR<sup>®</sup> é demonstrar didaticamente a implementação de malhas de controle mais comumente encontrada na indústria, utilizando os mesmos equipamentos, instrumentos e tecnologias de rede, aplicando as mesmas ferramentas de configuração e controle, encontradas em aplicações industriais, como apresentado abaixo na Figura 1 juntamente com variáveis de processo (SMAR, 2013).



Figura 1- Planta SMAR<sup>®</sup> PD3 – Variáveis de processo

Ela possui um reservatório principal conectado a duas bombas hidráulicas que bombeiam a água desse reservatório para dois tanques, sendo que em um deles possui resistências de imersão para o aquecimento da água. No trajeto entre as bombas hidráulicas e os tanques, existem duas válvulas pneumáticas controladoras de vazão, uma para cada tanque. Portanto é possível realizar o controle de vazão, e com isso, o controle de nível de acordo com a regulação da vazão entrada, e o controle de temperatura de acordo com a vazão de água quente que é passada de um tanque para outro (SILVA, 2011).

O Laboratório de Controle e Automação do CEFET-MG Campus III Leopoldina é equipado com um microcomputador para supervisão e controle de uma dessas plantas onde toda a interface foi desenvolvida.

Sua topologia consiste em uma estação de trabalho do tipo PC, que é conectada à planta didática via rede Ethernet TCP/IP. A Bridge Foundation Fieldbus (DFI-302 da SMAR<sup>®</sup>) faz a interface entre a rede Ethernet e o barramento de campo. Neste barramento estão conectados todos os instrumentos contínuos, que são: os posicionadores pneumáticos das válvulas, transmissores de nível, vazão e temperatura. A Bridge Foundation Fieldbus, que por sua vez se comunica com o CLP (DF65 da Smar) via conexão serial Modbus RTU. Todos os instrumentos discretos como botoeiras, sirene, sinaleiros, bombas hidráulicas, chave de nível, termostato entre outros, estão conectados nos cartões digitais de I/O do CLP. Portanto, toda a lógica de intertravamento da planta é feita pelo CLP, vindo com uma configuração de fábrica fornecida pela SMAR<sup>®</sup> (SMAR, 2006). Abaixo na Figura 2 é ilustrada uma topologia simplificada da planta em questão.

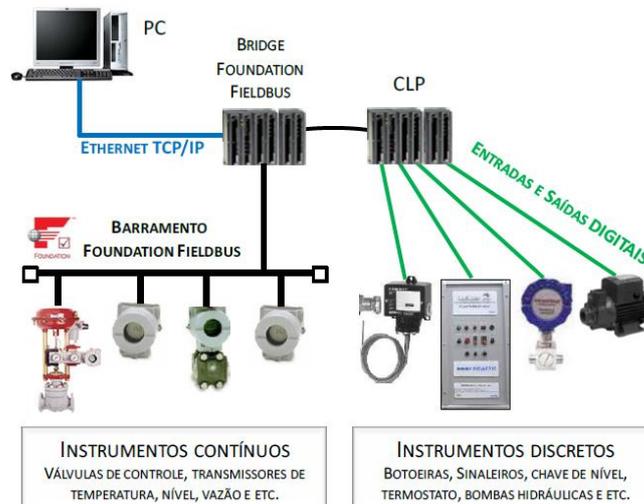


Figura 2 – Topologia simplificada de conexões da planta didática com o computador

Algumas décadas atrás existia um grande problema para se compatibilizar protocolos da camada de aplicação para equipamentos e sistemas de chão de fábrica de diferentes fabricantes e tecnologias (SEIXAS-FILHO, 2003).

A partir da fusão de várias tecnologias, foi criado o OPC (*OLE for Process Control*) para resolver o problema da multiplicidade de drivers existentes e que só atendiam a versões específicas. A partir do OPC, um fabricante de controladores e instrumentos de campo de todas as tecnologias sempre fornece com o seu equipamento um servidor OPC (SILVA, 2011).

As aplicações precisam apenas saber como buscar dados de um servidor OPC, ignorando a implementação do dispositivo, onde o servidor precisa fornecer dados em um formato único, o que de fato torna a tarefa de comunicação mais simples (SEIXAS-FILHO, 2003).

No que se refere à comunicação entre o computador do laboratório e a planta, quando o cliente deseja realizar um acesso, seja uma escrita, ou leitura de algum instrumento, este deve passar primeiramente pelo Servidor OPC, que interpreta o pedido de acesso do cliente, vincula a TAG (identificador do instrumento) a seu respectivo driver. Daí, o Servidor OPC faz o acesso ao instrumento e repassa a resposta obtida para o Cliente, como mostra a Figura 3 abaixo (SEIXAS-FILHO, 2003).

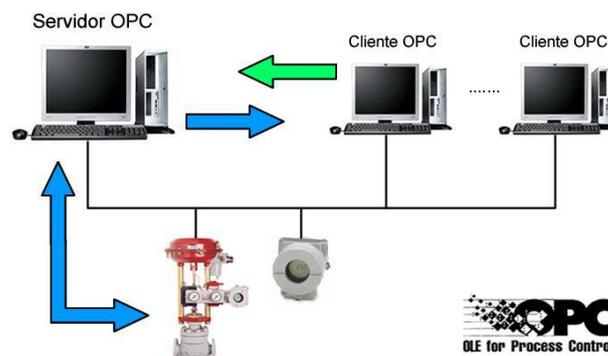


Figura 3 – Topologia que ilustra o tráfego de dados via protocolo OPC

Entretanto, o software MATLAB<sup>®</sup>/Simulink disponibiliza aos usuários um toolbox chamado OPC, onde facilita a comunicação do computador com a planta, necessitando apenas algumas configurações, como por exemplo, o servidor a se conectar e as TAGs dos instrumentos.

## 2.1. Protocolo de comunicação Foundation Fieldbus

O protocolo Foundation Fieldbus (FF) pode ser visto como um sistema de comunicação serial bidirecional com capacidade de distribuição das funções de controle ao longo dos dispositivos do chão de fábrica. O fato de ser bidirecional significa que os equipamentos conectados à rede desempenham papel de emissor e receptor. Os dispositivos são imunes a falhas que possam ocorrer nas estações de operação, visto que suas ações de controle são locais, processadas no próprio equipamento e não nas estações (BERGE, 2002).

Uma das revoluções da rede FF foi a introdução do conceito de controle distribuído (SILVA, 2011). Em outras tecnologias, como na HART (*Highway Addressable Remote Transducer*), o controle é feito utilizando um controlador externo, sendo que na FF o controle é feito nos próprios instrumentos que possuem tecnologia embarcada. Com isso se ganha em desempenho, pois não é necessário ir a um nível acima, até um controlador externo para realizar o controle (SMAR, 2006). A fim de exemplificar, apresenta-se abaixo na Figura 4 um comparativo do formato de dados entre estas duas tecnologias.

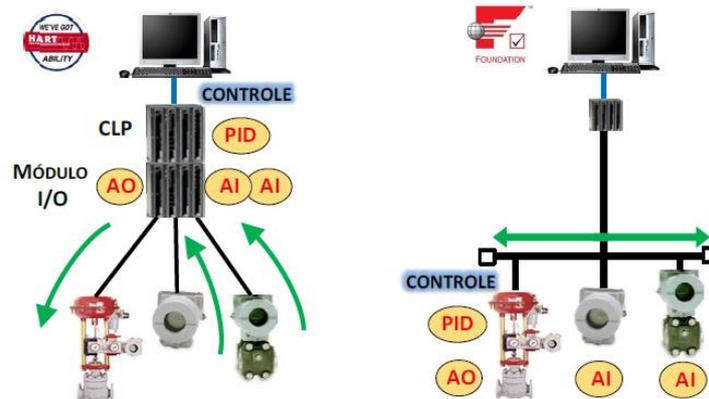


Figura 4 – Topologia comparativa entre as tecnologias HART e a Foundation Fieldbus

A tecnologia é controlada pela Fieldbus Foundation, uma organização não lucrativa composta por mais de cem dos principais fornecedores e usuários de controle e instrumentação do mundo (WEISS, 2004).

O Foundation Fieldbus mantém muitas das características operacionais do sistema analógico 4-20 mA, tais como uma interface física padronizada da fiação, dispositivos alimentados por um único par de fios e opções de segurança intrínseca, mas oferece uma série de benefícios adicionais aos usuários, como por exemplo, interoperabilidade, dados de processos mais completos, vista expandida do processo, melhor segurança da planta, manutenção proativa mais fácil e redução de custos e de manutenção (SILVA, 2011).

### 3. CONTROLE ON/OFF COM HISTERESE

O controle ON/OFF ou LIGA/DESLIGA com histerese é a forma de controlador mais simples que existe, no qual se baseia em um circuito que compara o sinal de entrada com dois sinais de referência, mais conhecidos como limite mínimo e máximo. Quando o sinal de entrada fica menor que o limite mínimo, a saída do controlador é acionada e o atuador é ativado na potência que é capaz de ser realizada (POMILIO, 2007).

Desta forma o sistema de nível controlado sempre ficará oscilando de um valor máximo a um mínimo, de forma a se estabilizar em um valor específico.

A grande vantagem deste sistema além do baixo custo, é que como o elemento atuador somente liga e desliga nos momentos em que os limites são atingidos, o controlador e o atuador sofrem pouco desgaste por trabalharem menos se comparado a outras técnicas (FILHO *et al*, 2008).

Em contrapartida, a grande desvantagem é que a grandeza controlada, neste caso o nível, nunca se estabilizará em nenhum ponto específico e sim oscilando entre um ponto desejado, indo do limite inferior ao superior, chamada de histerese (FILHO *et al*, 2008).

Dando início à apresentação da interface de controle, mostra-se abaixo na Figura 5 a tela inicial desenvolvida.



Figura 5 – Tela principal de controle ON/OFF com histerese desenvolvida

A partir desta tela, o usuário pode dar início aos testes na tela de controle clicando em INICIAR ou abortar o processo clicando em SAIR.

Enfim, apresenta-se abaixo na Figura 6 a tela principal da plataforma.

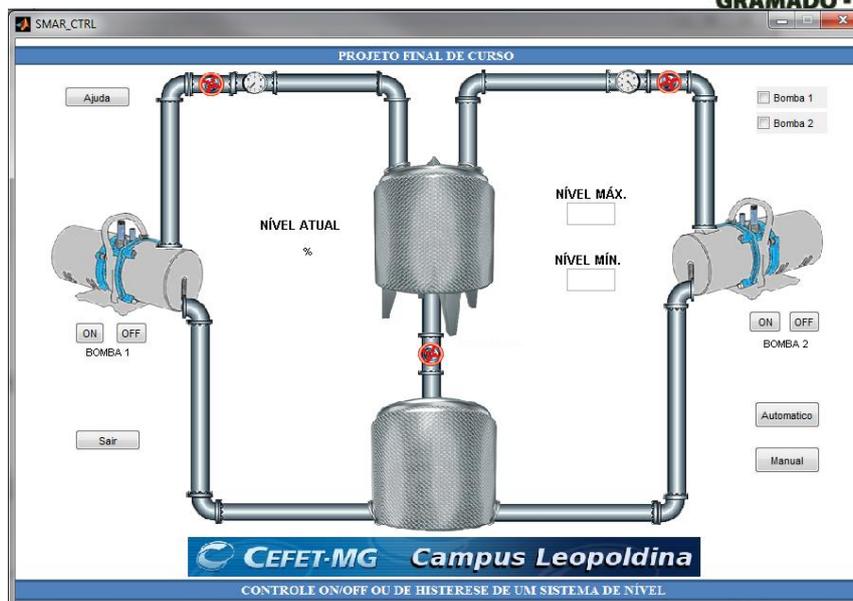


Figura 6– Tela principal de controle ON/OFF com histerese desenvolvida

Por meio da figura apresentada acima, pode-se observar que seu design é compacto e simples, o que facilita ao usuário fácil adaptação em sua utilização.

A interface apresenta duas bombas de água onde através de seus botões localizados abaixo de suas figuras podem ser ligadas ou desligadas (ON ou OFF) quando o botão MANUAL se encontra pressionado.

Caso o modo AUTOMÁTICO seja escolhido, tais botões ON e OFF não estarão habilitados, pois estão desativados. Para esta situação devem-se utilizar os *checkboxes* localizados no canto superior direito onde esta escolha pode ser feita.

Na parte central da interface, dois campos de inserção de valores podem ser utilizados, que são o NÍVEL MÁXIMO e o NÍVEL MÍNIMO, representando assim as histereses para ativação e desativação da(s) bomba(s) escolhida(s) para operar(em). Caso o usuário não insira ou insira um dado que não seja compatível com o esperado, ou seja, dados que não estejam entre 0 e 100 (cm), uma caixa de alerta é apresentada na tela informando o usuário sobre possíveis erros em uma das entradas de nível da interface.

Para ilustrar, apresenta-se abaixo na Figura 7 tal caixa.



Figura 7 – Tela de alerta referente a erros de limites máximos e mínimos inseridos na interface

Dessa forma, com o sistema operando corretamente, é apresentado próximo ao texto NÍVEL ATUAL numa taxa de 0.5 segundos, o nível em centímetros que a coluna de água do tanque que se encontra naquele exato momento.

Outro ponto interessante a ser destacado é não colher através da interface a referência inserida na malha de controle e sim os limiares de nível máximo e mínimo.



Isto facilita para o usuário perceber o exato momento em que a histerese de excitação e desestimulação ocorrem. Para isto, linhas de códigos são executadas em *background* para que este cálculo seja obtido sem que o usuário perceba. Neste caso, adotou-se um ponto de referência simétrico aos dois limites (máximo e mínimo) da interface, como expresso abaixo na Equação 1:

$$setpoint = NÍVEL MÍN. + \left( \frac{NÍVEL MÍN. + NÍVEL MÁX.}{2} \right) \quad (1)$$

Caso o usuário tenha dúvidas quanto aos botões ou como operar a interface de controle, um botão de AJUDA é disposto no canto superior esquerdo para sanar os problemas de manuseio da mesma.

#### 4. CONCLUSÕES

Como mencionado em tópicos anteriores, este trabalho apresenta uma aplicação de controle ON/OFF com histerese em uma malha de nível de uma planta didática da SMAR<sup>®</sup> com protocolo de comunicação FF do Laboratório de Controle e Automação do CEFET-MG Campus III Leopoldina. Entretanto, numa comunicação superior a este protocolo FF, opera o protocolo aberto OPC, onde possibilita facilidade na troca de informação entre o computador e o CLP da planta.

Até o presente momento, a fase de testes da interface de controle já foi concluída e está apta para utilização em disciplinas de cursos de engenharias ou similares que possuam plantas desta configuração. Este trabalho propicia nas classes de automação a chance dos estudantes compreenderem na prática o que foi implementado na teoria, onde através do código fonte tudo se confirma.

Por outro lado, esta interface se torna eficiente devido à fácil conexão e utilização do software MATLAB<sup>®</sup>/Simulink via protocolo OPC, software este difundido significativamente no meio acadêmico da engenharia.

Outra vantagem a ser ressaltada, é o fato de não ser necessário ônus com licença para operá-la, tendo em vista que sua motivação foi educativa, necessitando somente da licença gratuita de estudante do MATLAB<sup>®</sup>.

Entretanto, trabalhos futuros podem ser acrescentados, como por exemplo, inserção de outras malhas para controle, como vazão e temperatura. Outro aprimoramento interessante seria a criação de relatório técnico em formato PDF com dados do controle efetuado.

#### *Agradecimentos*

Os autores agradecem ao MEC/SESu, FNDE, CAPES, FAPEMIG, Fundação CEFETMINAS e CEFET-MG pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, Cícera Maria Gomes; SOUKI, Fadhia Gonçalves El. “A prática docente: o ensinar e aprender”. Lato & Sensu Revista dos Monitores. Belém, v.4, n. 1, 2003.



BARBOSA, Lucas Pires; SANTOS, Quelle Gomes dos; LIMA, Rafael Pereira; JÚNIOR, Vital Pereira Batista. “*Estudo de controladores eletrônicos básicos via amplificadores operacionais*”. Disponível em <<http://www.univasf.edu.br/~eduard.montgomery/relatorio2.pdf>> Acesso em: 23 mai 2013.

BERGE, Jonas. “*Fieldbuses for Process Control: Engineering, Operation, and Maintenance*”. ISA – The Instrumentation, Systems and Automation Society: 2002.

FILHO, Adalberto Paiva Silva; SILVA, Fabio Augusto Ripardo da; ARAÚJO, Rejane de Barros. “*Desenvolvimento de um Sistema Microcontrolado para Controle da Temperatura em Líquidos*”. Engenharia de Computação em Revista. Belém, 2008.

GARRIDO, Selma Pimenta. “*Formação de Professores: Identidade e saberes da docência*”. Saberes Pedagógicos e Atividades Docentes. São Paulo: Cortez, 1999.

POMILIO, José Antenor. “*Circuitos TRIAC: controle por ciclo inteiro para acionamento de carga resistiva em controle de temperatura*”. São Paulo: UNICAMP, 2007.p. 11.

SILVA, Marcelo Menezes da. CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS, Campus III Leopoldina. “*Ambiente “FÓSS” para supervisão, controle e avaliação de desempenho de uma planta didática Foundation Fieldbus*”, 2011. Trabalho de Conclusão de Curso.

SEIXAS-FILHO, Constantino. Foundation FieldBus. “*Programação Concorrente em Ambiente Windows - Uma Visão de Automação*”. Belo Horizonte: ed. Universidade Federal de Minas Gerais, 2003. pp. 1-42.

SILVA, Rodrigo Baleeiro; LOPES, Murillo Pereira; AMARAL, Leonardo Santos. “*Projeto e construção de uma planta didática para ensino de estratégias de controle de nível, vazão e temperatura em cursos de engenharia*”. Anais: XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Belém, 2012.

SMAR, Departamento de Engenharia de Aplicações. “*Manual de operação – Planta Didática III*”. Disponível em <<http://www.smar.com/brasil/produtos/view.asp?id=36>> Acesso em: 23 mai 2013.

WEISS, Leonardo Augusto. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. “*Desenvolvimento de Blocos Funcionais para Compensação de Atraso de Transporte Utilizando Tecnologia Foundation Fieldbus*”, 2004. Trabalho de Conclusão de Curso.



## **ON / OFF CONTROL WITH HYSTERESIS IN A LEVEL TANK OF A NONLINEAR TEACHING SYSTEM: AN EDUCATION EXPERIENCE IN AUTOMATIC CONTROL**

**Abstract:** *Level systems often allow continuous oscillations of the controlled variable around a given reference value. The controller output changes from on to off state or vice versa, as the error signal undergoes a set point. Thus, this paper aims to present an interface developed in MATLAB<sup>®</sup>/Simulink where an ON/OFF control is implemented in a level tank of a SMAR<sup>®</sup> didactic system with Foundation Fieldbus communication protocol, which aims to maintain the level around a specified level previously set in the interface. The results of experiments were considered satisfactory in view of the large non-linearities present in the used didactic system, which may eventually facilitate the learning of students.*

**Key-words:** *ON / OFF Control, Level System, OPC Protocol, Foundation Fieldbus protocol.*