



COBENGE

2019

XLVII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia e II Simpósio Internacional de Educação em Engenharia da ABENGE

17 a 20 SETEMBRO de 2019

Fortaleza - CE

"Formação por competência na engenharia no contexto da globalização 4.0"

PROJETO DE UM SISTEMA DE CONTROLE PARA UMA BANCADA DE LABORATÓRIO PARA ENSINO EM CONTROLE DE PROCESSOS

*Ericson Ferraz Rocha – ericsonferrazr@gmail.com
Centro Universitário FIP Moc
Rua Eduardo Caetano, 55, Nossa Senhora de Fátima
39402220 – Montes Claros – Minas Gerais*

*Geraldo Luiz Souto Neto – geral Luizneto@gmail.com
Centro Universitário FIP Moc
Rua Geraldo Alves Pereira, 195, Bairro Planalto
39404036 – Montes Claros – Minas Gerais*

*Rodrigo Baleeiro Silva – rodrigo.baleeiro@gmail.com
FACIT; Centro Universitário FIP Moc
Rua 4, 439, Bairro Todos os Santos
39400637 – Montes Claros – Minas Gerais*

Resumo: Este artigo apresenta o projeto de um sistema de controle para uma bancada acadêmica utilizada para realização de experimentos de fenômenos de transporte e perda de carga na disciplina de Mecânica dos fluidos. Foi observado que a bancada também pode ser utilizada no ensino de temas e em experimentos relacionados à área de controle de processos. Portanto, foi proposto projetar um sistema de monitoramento e controle automático de vazão para implementá-lo na bancada. A princípio, os materiais da bancada foram analisados e testados para confirmar quais deles poderiam ser utilizados. Em seguida, foi feito um estudo sobre os elementos que compõem um sistema automatizado. A partir disso, foi realizada uma pesquisa pelos equipamentos que deveriam ser acrescentados e seus respectivos dados foram estudados para conectar todos eles. O fluxo de água nos tubos da bancada é controlado através da variação na rotação de uma bomba centrífuga. Desta forma, decidiu-se utilizar um controlador lógico programável (CLP) conectado ao inversor de frequência para controlar a bomba e modificar a vazão nos tubos de acordo com o valor desejado. Além disso, um transmissor de medição de pressão diferencial envia sinais de realimentação para o CLP, para compor um sistema de realimentação. A variável controlada também pode ser monitorada através de uma interface gráfica no computador. Desta forma, o sistema de controle projetado acrescenta uma nova funcionalidade à bancada, pois permite realizar experimentos e simulações na área de controle de processos e redes industriais.

Palavras-chave: Controle de vazão. Automação industrial. Bancada de laboratório. Medição de pressão diferencial. Controlador lógico programável.

Promoção:



Realização:



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

Organização local do evento:



1 INTRODUÇÃO

O ensino nas universidades através de aulas práticas é indispensável em cursos de graduação na preparação dos acadêmicos para o ambiente de trabalho. As práticas aproximam os alunos do objeto de estudo e permitem a aplicação do conhecimento obtido em situações reais. Cocota (2014) desenvolveu uma bancada de laboratório para demonstrar conceitos de Engenharia de Controle. Segundo o autor, as abstrações presentes nas teorias dificultam o ensino desses conceitos. De acordo com o mesmo, muitas bancadas didáticas utilizadas em práticas acadêmicas têm custo elevado e arquitetura fechada. Além disso, não oferecem ao aluno a possibilidade de aprender a acompanhar e executar um projeto.

Segundo Zorzan e Daronch (2013, p. 10), nos cursos de engenharia, os estudos têm sido realizados em conjunto com aulas práticas em laboratórios com bancadas didáticas, ferramentas, máquinas e instrumentos de medição. Desta forma, a atividade prática desperta o interesse e a curiosidade no acadêmico por permiti-lo trabalhar com instrumentos, com os quais geralmente não tem contato, em outro ambiente, a não ser a sala de aula. Tais experiências facilitam a observação do que foi estudado teoricamente.

Silva, Lopes e Amaral (2012) desenvolveram uma planta didática para um Laboratório do curso de Engenharia de Controle e Automação para relacionar disciplinas como Controladores Lógicos Programáveis, Acionamento, Instrumentação, Eletrônica de Potência e Controle de Processos. De acordo com os autores do trabalho, plantas didáticas são utilizadas em laboratórios como um complemento ao conteúdo curricular para possibilitar o contato do aluno com situações semelhantes às que ocorrem no ambiente industrial.

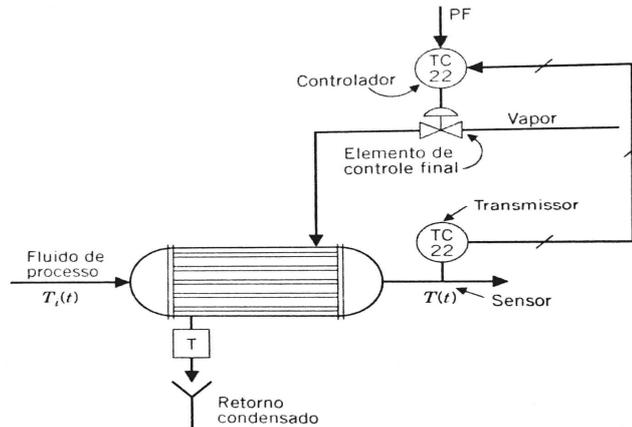
O MEC (2018, p. 11-12), no artigo 4º do capítulo I das Diretrizes curriculares nacionais para o curso de graduação em engenharia, trata do conjunto de atividades que asseguram a formação do perfil desejado do aluno do curso de engenharia. De acordo com o artigo e seus incisos, o projeto pedagógico do curso de engenharia deve conter planos de ação para melhoria da aprendizagem, como atividades laboratoriais, exercícios que relacionem teoria, prática e contexto de aplicação, mecanismos para incentivo do trabalho individual e em equipe, atividades interdisciplinares para integração de conhecimentos.

De acordo com Garcia, Stein e Schaf (2012, p. 2), o controle de processos é uma disciplina geralmente ministrada de forma teórica, o que não permite o entendimento do processo real de forma prática e visual, pois os resultados de experimentos teóricos é diferente dos realizados em laboratórios. A demonstração do comportamento dos processos em equipamentos reais e materiais educacionais permite demonstrar que a teoria pode resolver problemas reais quando bem aplicada.

Um sistema de controle, como o demonstrado na figura 1, é composto, basicamente de um transmissor-sensor, que é responsável pela medição e transmissão do sinal da variável ao controlador. Este último é outro componente, que toma decisões, ou seja, envia sinais para o sistema, com base na medição para manter a variável no valor desejado. O elemento de controle final, ou atuador, efetua uma ação a partir da decisão do controlador. Desta forma, uma das estratégias de controle é o de realimentação, que é utilizado para compensar qualquer distúrbio que a variável controlada apresentar, retornado-a ao *set point*. Os controladores de realimentação funcionam através de uma equação baseada na diferença entre a variável controlada e o *set point*. Desta forma, há alguns tipos de controladores, dentre eles, há o PID,

que relaciona os amplificadores proporcional, integral e derivativo. (SMITH; CORRIPIO, 2015).

Figura 1 - Malha de controle de um trocador de calor



Fonte: (SMITH; CORRIPIO, 2015, p. 2).

De acordo com Moraes e Castrucci (2010, p. 12-13), a automação se propõe a substituir o trabalho humano para aprimorar processos produtivos industriais ou de prestação de serviços, não apenas através da redução de custos, mas também pela melhoria da qualidade e flexibilidade dos produtos, da segurança das pessoas envolvidas, da disponibilidade e qualidade da informação, do planejamento e controle da produção, pelo aumento na rapidez da produção e redução de perdas de materiais e de energia. Segundo os autores isto pode ser implementado através de sistemas apoiados por computadores, compostos por supervisórios e interfaces homem-máquina, interligados por redes de comunicação, que facilitam o monitoramento e análise da produção e de problemas eventuais.

Existem muitas variáveis que podem ser controladas no contexto industrial como, por exemplo, nível, pressão e temperatura. De acordo com Vidal, Queiroz e Costa (2014, p.2) o controle de processo é necessário quando se exige que equipamentos e sistemas industriais sejam programados para manter as variáveis de um processo em um valor pré-determinado, o *set point*. Isto é feito a partir de algoritmos que relacionam as variáveis medidas pelos sensores que compõem um sistema em malha fechada.

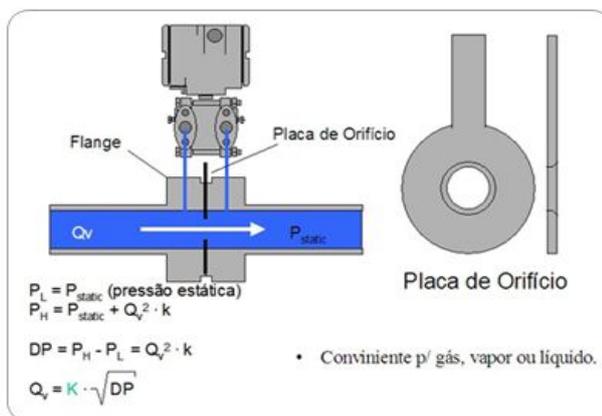
A informatização permite a utilização de dispositivos importantes como os controladores lógicos programáveis (CLPs), que expandem as possibilidades de automação na indústria. Este dispositivo digital permite controlar máquinas e processos executando funções específicas que podem ser programadas e armazenadas em sua memória. A programação pode ser feita por meio de computadores pessoais (PCs) em uma linguagem amigável, que se assemelha a esquemas e circuitos lógicos. (MORAES; CASTRUCCI, 2010, p.14-15).

O controle de nível e vazão são situações recorrentes no ambiente industrial. As aplicações didáticas servem para simular as condições encontradas nestes ambientes para se colocar em prática os conceitos sobre medição das variáveis citadas. (JÚNIOR; MUNARETO; TELLO, 2018, p.2).

Segundo Fialho (2010, p. 204-205), uma das formas de se medir a vazão de um fluido em um tubo é utilizar uma placa de orifício, em conjunto com um manômetro, para leitura da diferença de pressão entre os lados anterior e posterior da placa.

O fluxo é uma das variáveis de processo mais comumente percebidas e, portanto, há vários tipos de sensores de fluxo. Um dos mais comuns é a placa de orifício. Trata-se de um disco com um orifício usinado, que é inserido perpendicularmente ao movimento do fluido, a fim de se produzir uma diferença de pressão. A queda de pressão é medida através de tomadas, que podem ser feitas pelos flanges. (SMITH; CORRIPIO, 2015). A figura 2 demonstra um transmissor de pressão diferencial, utilizado para medição de vazão, e a relação entre o fluxo e a diferença de pressão.

Figura 2 - Esquema de um transmissor de pressão diferencial



Fonte: (SMAR, 2018)

Os dados das variáveis processo podem ser monitorados, analisados e armazenados em bancos de dados para registro histórico através dos sistemas supervisórios. Estes possibilitam acompanhar as variações nos valores das variáveis à distância de maneira instantânea através de softwares de monitoramento e indicação de alarmes. Desta forma, o operador pode interagir com o processo através de interfaces gráficas relacionadas com o processo, que são desenhadas no computador (PC). Estas são compostas de objetos gráficos e efeitos de animação vinculados às variáveis do sistema através de tags (etiquetas), que possibilitam o envio de sinais do CLP ao sistema supervisório. Os tags são compostos de informações como o endereço dentro do CLP e o tipo de tag e cada variável é acompanhada por um destes. (MORAES; CASTRUCCI, 2010, p.117-136).

O inversor de frequência é um equipamento eletrônico de potência que permite o controle de torque ou velocidade de motores elétricos, de zero até a frequência máxima nominal. Desta forma, ele é usado com motores de indução trifásicos no lugar de sistemas mecânicos de variação de velocidade e tem vasta aplicação na indústria. Este dispositivo converte a tensão alternada da rede em tensão contínua de amplitude frequência constantes e esta, em tensão de amplitude e frequência variáveis. Nos sistemas atuais o inversor substitui as válvulas de estrangulamento que, em sistemas convencionais, eram comandadas por controladores vazão, pressão e temperatura. (GOMES; SOARES; TEIXEIRA, 2009).

2 BANCADA DE ESTUDOS DE FENÔMENOS DE TRANSPORTE

A bancada, mostrada na figura 3, é utilizada para estudos sobre fenômenos de transporte e perda de carga na disciplina de Mecânica dos fluidos. O controle de nível nos tanques e da vazão nos tubos da bancada em que se pretende trabalhar, é feito manualmente e o monitoramento não é muito evidente.

Figura 3 - Bancada de estudos de fenômenos de transporte



Fonte: Próprios autores.

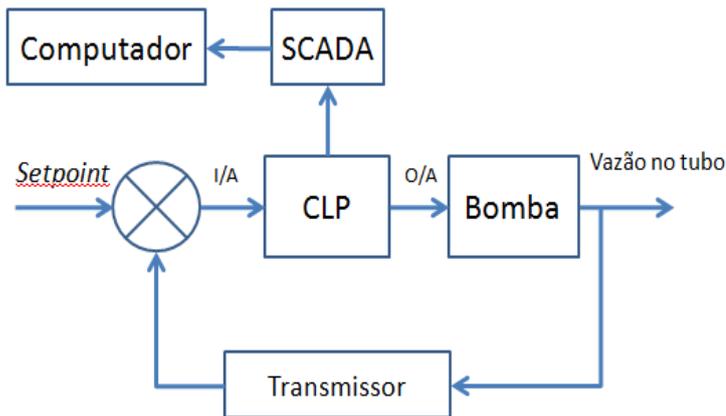
Os principais elementos que compõem a bancada são citados a seguir: tubo de PVC $\frac{1}{2}$ ", liso, com válvula tipo esfera de mesmo diâmetro; 5 tubos de PVC $\frac{3}{4}$ ", lisos, e 7 válvulas tipo esfera de mesmo diâmetro; tubo de PVC $\frac{3}{4}$ ", rugoso; Hidrômetro; placa de orifício; tubo venturi; reservatório de aprox. 7 litros com escala de leitura de nível em "mm", com batente de aço acoplado à mangueira; reservatório principal para recirculação de água de aproximadamente 100 litros; bomba centrífuga de 1/2 CV e 3500 rpm, conectada a um inversor de frequência, botão liga/desliga e potenciômetro; manômetro de Bourdon com glicerina na saída da bomba; indicador de pressão diferencial que pode ser conectado a vários pontos de tomada de pressão nos tubos da bancada.

Os instrumentos da bancada podem ser usados de forma mais abrangente. O uso de um controlador com supervisor permite demonstrar de forma mais clara e visual o controle dos processos. Portanto o aprimoramento da bancada permitiria estudos em outra área do conhecimento, o controle de processos, além de demonstrar a disciplina de forma prática e visual simular o contato do acadêmico com o ambiente industrial.

3 SISTEMA DE CONTROLE DE VAZÃO

Foi estruturado um sistema em malha fechada, ilustrado no diagrama da figura 3, composto por um CLP como controlador do sistema, um transmissor de medição de pressão diferencial para envio de sinais de realimentação para o controlador e, como elemento de controle final, a bomba centrífuga, cuja rotação é controlada pelo inversor de frequência.

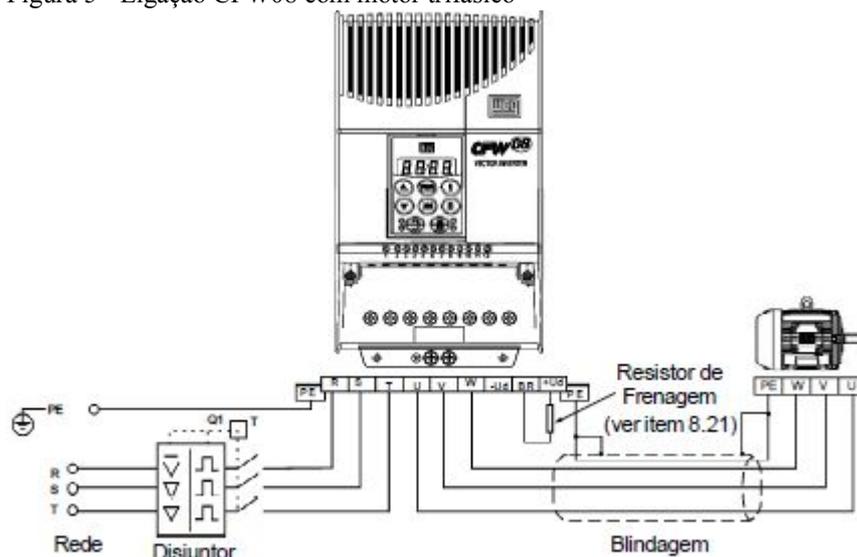
Figura 4 - Diagrama do sistema



Fonte: próprios autores

O inversor de frequência da bancada, do modelo CFW08, "é um acionamento de velocidade variável, destinado ao controle e variação de velocidade de motores elétricos de indução trifásicos." (WEG, 2018). Assim como em outros dispositivos, o CFW08 recebe dados na forma de sinais corrente de 4 a 20 miliampéres. A bomba centrífuga da bancada é fabricada pela WEG, trabalha com potência de 3 KW, (1/2 cv) e suporta tensões de 220 e 380. A figura 5 mostra o esquema de ligação do inversor com um motor trifásico.

Figura 5 - Ligação CFW08 com motor trifásico



Fonte: (WEG, 2006, p.45)

O CLP é um elemento importante que integra o sistema de controle. O modelo utilizado é o Micro820, "(...) são projetados para aplicações de controle de pequenas máquinas autônomas

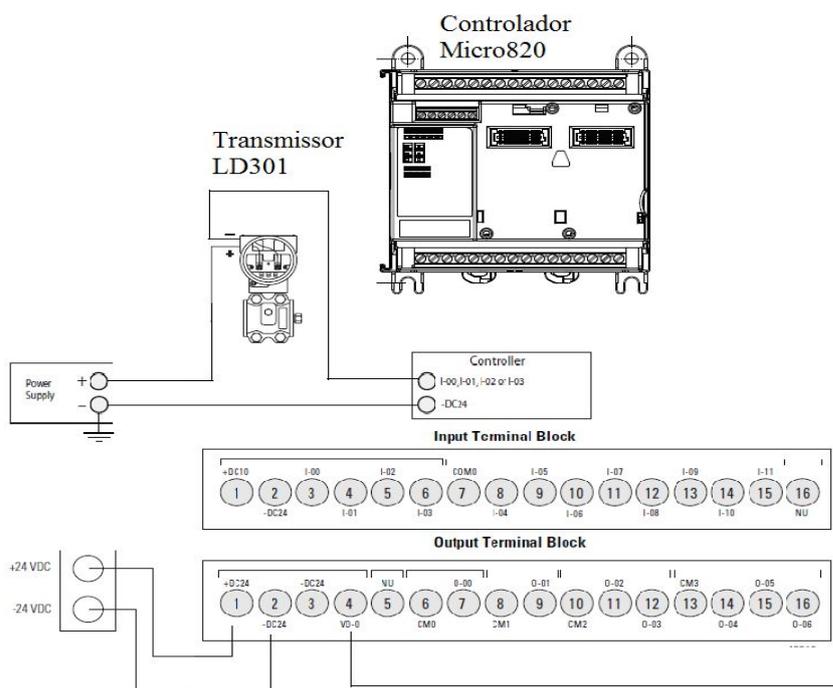
e automação remota que necessitam de recursos de E/S e comunicações flexíveis." (ROCKWELL AUTOMATION, 2019a). O controlador pode ser programado a partir do software Connected Components Workbench, que permite a configuração, criação de programas em Ladder e em outras linguagens, além da integração do controlador com um editor de interfaces gráficas. (ROCKWELL AUTOMATION, 2019b).

O LD301 que também compõe este projeto, é um transmissor inteligente para medição de pressão diferencial, absoluta, manométrica, nível e vazão. O transmissor é baseado num sensor capacitivo que proporciona uma operação segura e um excelente desempenho em campo. (SMAR, 2019, p. 3).

O Micro 820 pode usar sinais analógicos para serem aplicados em sistema de controle através dos módulos de expansão das entradas analógicas, que convertem sinais analógicos em digitais para as entradas e digitais em analógicos para as saídas. Estes módulos são utilizados para leitura dos sinais do transmissor pelo CLP. (ALLEN-BRADLEY, 2019, p. 7, tradução nossa).

O esquema de ligação da figura 6, que mostra a conexão do transmissor com o CLP, foi desenvolvido com base nos *datasheets* desses equipamentos. Os pinos de entrada e saída do Micro820 foram colocados separadamente para melhor ilustrar as ligações. a saída analógica do controlador é conectada à entrada analógica do inversor de frequência.

Figura 6 - Ligação Micro820 com LD301



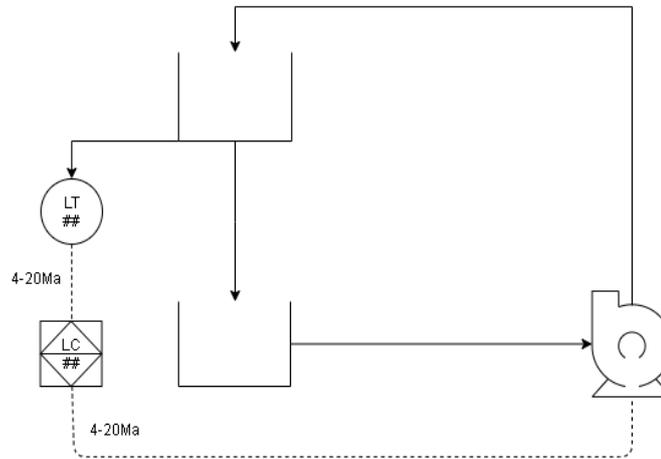
Fonte: próprios autores

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Além da vazão, o controle do nível dos reservatórios da bancada também pode ser feito utilizando o mesmo sistema, diferenciando apenas no posicionamento do transmissor que, em

vez de ser colocado para medir o fluxo em um dos tubos, pode ser colocado em um dos tanques para medir o nível, como mostrado na figura 7.

Figura 7 - Sistema de controle de nível



Fonte: próprios autores.

O sistema possibilita demonstrar alguns conceitos de forma prática e visual, aplicar em situações reais o que foi aprendido em sala de aula, além de simular o contato do acadêmico com o ambiente industrial. Desta forma, a bancada possui uma nova funcionalidade através de um sistema composto por materiais disponíveis no próprio centro de práticas do UNIFIPMoc. Além de experimentos relacionados à disciplina de Mecânica dos Fluidos, é possível realizar práticas de Controle de Processos, Redes Industriais, Instrumentação e Automação Industrial, que fazem parte da grade curricular do curso Engenharia Mecatrônica da instituição. É possível realizar aulas práticas sobre desenvolvimento de programas em Ladder e implementação no CLP para controlar um processo.

REFERÊNCIAS

ALLEN-BRADLEY. **Micro800 expansion I/O modules**: User Manual. p. 7. Disponível em: <<https://ab.rockwellautomation.com/pt/Programmable-Controllers/Micro820#overview>>. Acesso em: 10 mai. 2019.

COCOTA, J. A. N. J. et al. **O Sistema de Controle de Nível de Tanques no Ensino de Graduação**. In: XI Congresso de Tecnologia, Aprendizaje y Enseñanza de la Electrónica. 2014, Bilbao. p.486-492. Disponível em: <<http://professor.ufop.br/sites/default/files/cocota/files/taee2014-3.pdf>>. Acesso em: 28 de abr. 2018.

FIALHO, Arivelto Bustamante. **Instrumentação industrial**: Conceitos, aplicações e análises. 7 ed.. São Paulo: Érica, 2010. p. 204-205.

GARCIA, Thiago Rodrigues; STEIN, Gean Marciel; SCHAF, Frederico M. Criando cenários práticos alternativos para o ensino de engenharia de controle e automação: interface remota para planta didática multiprocessos. In: Congresso Brasileiro de educação em Engenharia, 40, 2012, Belém. **Anais**. Belém: Associação brasileira de educação em engenharia, 2012. Disponível em: <<http://www.abenge.org.br/cobenge/interna.php?ss=7&ctd=88>>. Acesso em: 16 abr. 2019. p.2.



COBENGE

2019

XLVII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia e II Simpósio Internacional de Educação em Engenharia da ABENGE

17 a 20 SETEMBRO de 2019
Fortaleza - CE

"Formação por competência na engenharia no contexto da globalização 4.0"

GOMES, Jorge Maurício de Sousa; SOARES, Márcio Abreu; TEIXEIRA, Samuel Ramalho. **Aplicação do inversor de frequência no controle de nível**. Monografia (Tecnologia em Automação e Controle). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense. Campos dos Goytacazes, RJ.2009. Disponível em: <<http://bd.centro.iff.edu.br/jspui/handle/123456789/423>>. Acesso em: 30 maio 2018.

JABUONSKI Jr. et al. **Sistema de experimentação remota configurável de controle de nível de líquidos multivariável**. In: VI SBAI - Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, 2003, Bauru SP. Disponível em: <<http://www.ene.unb.br/adolfo/Papers/Papers.html>>. Acesso em: 14 maio 2018.

MEC. Projeto de resolução, Agosto de 2018. Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia e dá outras providências. **Consulta pública - diretrizes curriculares nacionais para o curso de graduação em engenharia**, DF, ago. 2018. P. 11-21. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/docman/agosto-2018-pdf/93861-texto-referencia-dcn-de-engenharia/file>>. Acesso em: 19 mar 2019.

MORAES, Cícero Couto de; CASTRUCCI, Plínio de Lauro. Automação. In: _____. **Engenharia de automação industrial**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010. p.12-13.

MORAES, Cícero Couto de; CASTRUCCI, Plínio de Lauro. Arquitetura da automação industrial: Computadores para automação. In: _____. **Engenharia de automação industrial**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010. p.14-15.

MORAES, Cícero Couto de; CASTRUCCI, Plínio de Lauro. Sistemas supervisórios. In: _____. **Engenharia de automação industrial**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010. p.117-136.

ROCKWELL AUTOMATION. **Sistemas de controlador lógico programável Micro820**. Disponível em: <<https://ab.rockwellautomation.com/pt/Programmable-Controllers/Micro820#overview>>. Acesso em: 7 mai. 2019a.

ROCKWELL AUTOMATION. **Design and configuration software**. Disponível em: <https://www.rockwellautomation.com/pt_BR/capabilities/industrial-automation-control/overview.page?pagetitle=Design-and-Configuration-Software&docid=6b8425507e679dd6b2587d385b7b26e1>. Acesso em: 10 mai. 2019b.

SILVA, Rodrigo Baleeiro; LOPES, Murilo P.; AMARAL, Leonardo S. Projeto e construção de uma planta didática para ensino de estratégias de controle de nível, vazão e temperatura em cursos de engenharia. In: Congresso Brasileiro de educação em Engenharia, 40, 2012, Belém. **Anais**. Belém: Associação brasileira de educação em engenharia, 2012. Disponível em: <<http://www.abenge.org.br/cobenge/interna.php?ss=7&ctd=88>>. Acesso em: 16 abr. 2019.

SMAR. **Medição de Vazão**. Disponível em: <<http://www.smar.com/newsletter/marketing/index40.html>>. Acesso em: 13 jun. 2018.

SMAR. **LD301 - Manual de instruções, operação e manutenção**. p. 3. Disponível em: <<http://www.smar.com/brasil/produto/ld301-hart-4-to-20-ma-transmissores-inteligentes-de-pressao>>. Acesso em: 7 mai. 2019.

SMITH, Carlos A.; CORRIPIO, Armando B.. **Princípios e prática do controle automático de processo**. 3 ed.. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

Promoção:



Realização:



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

Organização local do evento:





SMITH, Carlos A.; CORRIPIO, Armando B.. **Princípios e prática do controle automático de processo**. 3 ed.. Rio de Janeiro: LTC, 2015. p. 2.

VIDAL, L. C. ; QUEIROZ, J. V. ; COSTA, R. P.. **Controle de Temperatura Pid Desenvolvido em Labview®**. In: XI SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA - SEGeT, 2014, Resende - RJ. XI SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA - SEGeT, 2014. p. 2. Disponível em: <<https://www.aedb.br/seget/artigos2014.php?pag=181>>. Acesso em: 14 maio 2018.

WEG. **CFW 08: Inversor de frequência**. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-cfw08-inversor-de-frequencia-10413066-catalogo-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 13 jun. 2018.

WEG. **CFW 08: Inversor de frequência**. p. 45. Disponível em: <<http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-cfw08-inversor-de-frequencia-10413066-catalogo-portugues-br.pdf>>. Acesso em: 13 jun. 2018.

ZORZAN, Flávio Bouffleur; DARONCH, Jéferson. **Desenvolvimento de uma bancada didática de hidráulica**. 2013. Trabalho Final de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - FAHOR - Faculdade Horizontina, Horizontina. 2013. p. 10. Disponível em: <http://www.fahor.com.br/publicacoes/TFC/EngMec/2013/Mec_Flavio_Jeferson.pdf>. Acesso em: 9 abr. 2018.

DESIGN OF A CONTROL SYSTEM FOR A LABORATORY BENCH FOR TEACHING IN CONTROL OF PROCESSES

Abstract: *This article presents the design of a control system for an academic workbench used to carry out experiments on transport and load loss phenomena in the discipline of Fluid Mechanics. It was observed that the bench can also be used in teaching subjects and in experiments related to the area of process control. Therefore, it was proposed to design a monitoring system and automatic flow control to implement it in the bench. At first, bench materials were analyzed and tested to confirm which materials could be used. Next, a study was made on the elements that make up an automated system. From this, a search was made for the equipment that should be added and their respective data were studied to connect all of them. The water flow in the bench tubing is controlled by varying the rotation of a centrifugal pump. In this way, it was decided to use a programmable logic controller (PLC) connected to the frequency inverter to control the pump and modify the flow in the tubes according to the desired value. In addition, a differential pressure transmitter sends feedback signals to the PLC to form a feedback system. The controlled variable can also be monitored through a graphical interface on the computer. In this way, the designed control system adds a new functionality to the bench, as it allows to perform experiments and simulations in the area of process control and industrial networks.*

Keywords: *Flow control. Industrial automation. Laboratory bench. Differential pressure measurement. Programmable logical controller.*