

DESENVOLVIMENTO DE PLANTA DIDÁTICA DE CONTROLE DE NÍVEL DE ÁGUA E DE TEMPERATURA PARA SISTEMAS DE CONTROLE

Marcelo Antônio Rodrigues Filho - marcelo.arf_11@outlook.com

Isabelli Sasdelli Tavares – isabelli.sasdelli@hotmail.com

Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC
Avenida Abraão João Francisco, nº 3899
88307-303 – Itajaí – Santa Catarina

Resumo: Este trabalho apresenta a proposta e desenvolvimento de uma planta didática de controle de nível de água e temperatura, aplicada a unidade curricular de “Sistemas de Controle”, ofertada para a Engenharia Elétrica do IFSC campus Itajaí. Ele descreve a metodologia e detalhes do desenvolvimento da planta, que consiste em dois tanques d’água, um para análise e o outro para reservatório. A mecânica e a estrutura da planta foram integralmente finalizadas, sendo possível realizar o controle do nível de água por meio de software, mesmo com perturbações manuais no valor da vazão de saída. O desenvolvimento deste projeto serviu para obter aprovação na unidade curricular de Projeto Integrador II e também como um equipamento didático para a disciplina de Sistemas de Controle, com a benesse de ser portátil e de fácil manuseio.

Palavras-chave: Aulas práticas. Instrumentação. Bancada didática. Sistemas de controle.

1 INTRODUÇÃO

Em virtude da falta de equipamentos e dispositivos disponíveis para as aulas práticas da componente curricular obrigatória “Sistemas de Controle”, ofertada no sétimo período no curso de Engenharia Elétrica, no Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Itajaí, a comprovação das teorias aprendidas durante o semestre são feitas totalmente de forma simulada, utilizando o software MatLab, produzido pela empresa MathWorks® nos laboratórios de informática. A ementa da componente curricular exige um total de 20 horas práticas, sendo imprescindíveis para a compreensão dos modelos matemáticos dos sistemas dinâmicos envolvidos, que contribuem para que se atinja o objetivo final da disciplina, o qual é “Modelar, analisar, projetar e compensar um sistema eletrônico utilizando as técnicas do controle clássico.” (PPC DE BACHAREL EM ENGENHARIA ELÉTRICA, 2014).

Além da exigência de carga horária prática, há outras unidades curriculares que complementam o estudo, abrangendo conceitos de sensores, atuadores e projeto de controladores. Ao interligar esses conceitos em ambiente simulado através de uma planta didática de controle pode-se, por exemplo, aplicar uma função degrau no acionamento da bomba e registrar a alteração em *software*. Assim, provocando uma alteração de nível que é lida pelos sensores relacionados, pode ser identificado o sistema a partir das curvas registradas, e

"Os desafios para formar hoje o engenheiro do amanhã"

então projetar um controlador com requisitos a serem seguidos e, por fim, testar a capacidade de rejeição do controlador alterando a vazão de saída, entre outras aplicações.

Uma das aplicações práticas reais de sistemas de controle é o uso de plantas industriais genéricas (Figura 1) para a análise de nível de fluidos e seu respectivo controle em processos industriais, como acontece nas indústrias químicas, petrolíferas, de papel, de alimentos, têxtil e inclusive no tratamento de água e efluentes. Em plantas mais sofisticadas também é feito o controle de outras variáveis, como pressão, vazão e temperatura. (Exsto, 2019).

Figura 1: Bancada Didática para Ensaio de Nível, Vazão e Temperatura.



Fonte: Portal da loja Exsto Academy (Exsto, 2019)

Além dos processos industriais citados e a comparação com modelos reais, a planta didática aliada ao ambiente de simulação permite uma melhor visualização e compreensão da aplicação dos modelos matemáticos envolvidos, como também das técnicas de linearização (para tornar possível simular um fenômeno real) e uso dos controladores programáveis.

Sendo assim, objetivando a melhor compreensão dos conteúdos aprendidos e a comparação de conceitos teóricos, simulações e experimentações, o projeto visa construir um protótipo portátil de uma planta didática de controle de nível d'água e de temperatura a ser usada nas aulas práticas de Sistemas de Controle.

2 METODOLOGIA

2.1 Determinação dos materiais

A planta didática desenvolvida foi inspirada nos modelos comerciais já existentes, porém menor e portátil, composta basicamente por dois tanques de armazenamento de água, um superior, no qual são feitas as análises e controle, e um inferior, para armazenar a água que percorre o ciclo fechado que se configura, adentrando, saindo e retornando do tanque superior (Programa Didático para Ensino de Sistemas de Controle em Laboratório do Curso de Engenharia, 2008; Valentim & Pereira, 2009; Franzini 2013).

Durante a escolha dos materiais adequados a serem utilizados, um dos desafios para a montagem da planta didática foi torná-la portátil e de fácil acesso nos laboratórios.

Portanto, após a análise dos trabalhos relacionados e a relevância de alguns componentes, os materiais essenciais selecionados para sua montagem foram:

"Os desafios para formar hoje o engenheiro do amanhã"

- 1 Placa de aquisição de dados NI USB-6001;
- 1 Computador com software para aquisição de dados;
- 2 Reservatórios d'água;
- 1 Bomba d'água;
- 1 Resistência;
- 1 Registro de água;
- 1 Sensor ultrassônico;
- 1 Sensor de temperatura;
- Mangueira;
- Cabos para conexões;
- Madeira ou alumínio para estrutura.

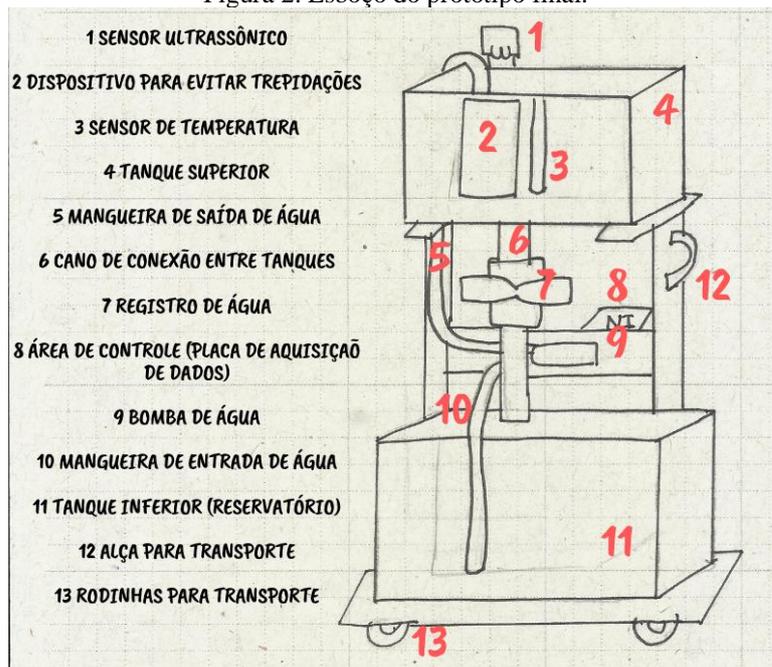
2.2 Levantamento de Requisitos

A planta consiste em dois reservatórios, no superior, o tanque de análise, é preciso ter uma entrada na qual foi acoplada a bomba d'água, e uma saída com um registro a jusante onde é possível controlar a vazão de saída, além de possuir um espaço apropriado para a instalação da resistência elétrica a ser inserida e ser resistente a altas temperaturas. Portanto, o material desse tanque tem de ser capaz de ser perfurado, não vazar água, resistente a temperaturas elevadas e, preferencialmente, ser de um formato mais simplificado para a aferição do nível, como cilíndrico ou cúbico. Adicionalmente, pode-se pensar em um formato cônico para trazer um aspecto de não-linearidade ao controle de nível. (Franzini, 2013).

O tanque inferior não necessita de muitas especificações, pois só funciona como reservatório, bastando que tenha capacidade de estocagem suficiente e consideravelmente maior que do tanque superior. Para o bombeamento de água entre os reservatórios foi utilizada uma bomba d'água, e mangueiras de conexão entre os tanques.

Os demais componentes, a serem discutidos posteriormente, e como se integram na planta didática podem ser visualizados na Figura 2.

Figura 2: Esboço do protótipo final.



Fonte: Autores.

No Quadro 1 é possível observar os requisitos obrigatórios e opcionais para o projeto.

Quadro 1: Requisitos da planta didática.

REQUISITOS	
DEVEM TER	PODEM TER
Maquete com reservatórios e identificação	Controle de temperatura
Instalação do sensor de temperatura	Leds de identificação de funcionamento
Instalação do sensor de nível de fluido	Instalação do sensor de fluxo na saída
Instalação da resistência	Driver de corrente para acionamento da resistência
Instalação da bomba d'água	
Buffer de corrente para acionamento da bomba d'água	
Comunicação entre Bancada/Placa/ <i>Software</i>	
Controle de nível de água através do <i>software</i>	

Fonte: Autores

3 DESENVOLVIMENTO

Para a aquisição de dados e o controle do sistema foi utilizada a placa USB-6001 da National Instruments® (National Instruments, 2019), que faz a comunicação com o software computacional, no qual foi feito a programação dos dispositivos de controle.

Foi escolhida esta placa por permitir total compatibilidade com o MatLab (Math Works, 2019) e também pela disponibilidade desse dispositivo no campus para o desenvolvimento do projeto. O MatLab é um poderoso software que integra análise numérica, cálculo com matrizes, processamento de sinais e construção de gráficos, dispostos em um ambiente interativo.

Todos os sensores e dispositivos utilizados foram pensados para serem compatíveis com a placa de aquisição de dados escolhida. Para a medição do nível foi utilizado um sensor ultrassônico, que envia os dados da medição analogicamente, com uma variação de 0 a 5V na saída, pois ele é o que melhor se adequa ao projeto, pelo motivo de a lâmina superficial da água estar em constante movimento, o que dificultaria o uso de um sensor infravermelho.

A instalação da resistência não foi possível por alguns motivos, dentre os quais estão a complexidade de elaborar apoios que sejam resistentes a temperatura, isolamento de instalação e o principal, que foi a falta de tempo, tempo esse consumido nas diversas tentativas de consertar o buffer de corrente para acionamento da bomba. Essa resistência seria interligada também no sistema de controle, mantendo uma temperatura constante, tendo em vista que o fluxo do fluido se altera ao longo do tempo, o que influencia na sua temperatura.

Para a aferição da temperatura foi utilizado um sensor que consiga enviar analogicamente os dados medidos, tendo uma variação de 0 a 5V na saída. (Manual Sensor LM35, 2019).

Outra etapa do projeto é a elaboração de uma Printed Circuit Board (PCB), inicialmente ela seria composta por quatro módulos que serviriam para a alimentação da bomba hidráulica e da resistência. Na primeira versão do projeto seria necessário implementar dois módulos para casamento de impedâncias, para isso seriam utilizados AmpOps configurados como seguidor de tensão, suprindo assim a demanda de corrente que a USB-6001 não é capaz de fornecer para a bomba e para a resistência. Outros dois módulos para elevação de tensão com AmpOps seriam confeccionados, com o intuito também de alimentar a bomba e a resistência, já que a USB-6001 fornece apenas 5V. Mas, com o avanço do projeto e após uma conversa mais detalhada com o professor orientador, ficou definido que seria feita uma PCB que teria a função de alimentar somente a bomba. Para a resistência, futuramente será iniciado outro projeto que terá o intuito de inserir também o controle de temperatura no sistema, e assim, outra placa será confeccionada

"Os desafios para formar hoje o engenheiro do amanhã"

para atender a demanda de alimentação da mesma, sendo que esta parte está fora do escopo deste protótipo atual. (User Guide NI USB6001, 2019).

O circuito para a alimentação da bomba contou com três módulos, o primeiro é um amplificador não inversor, que eleva a tensão de entrada de 5V para 12V; o segundo é um seguidor de tensão, que casa a impedância de entrada com a de saída, dá um pequeno ganho de corrente, estabiliza a tensão de saída e separa o primeiro do segundo módulo; já a terceira e última etapa foi feita com os transistores na configuração Darlington, que possui um alto ganho de corrente e portanto supre a necessidade de corrente da bomba (0,7A), drenando corrente da fonte de alimentação e não da placa USB-6001. O projeto final pode ser observado ao longo do desenvolvimento do protótipo. Para o projeto dos módulos e da PCB, os conceitos aprendidos em Eletrônica I e II, ofertadas no quinto e sexto períodos, respectivamente, foram de base fundamental, além das teorias de circuitos envolvidas. (Newton Braga, 2019).

Como citado anteriormente, este projeto visa a elaboração de um kit didático que servirá como objeto de estudo na disciplina de Sistemas de Controle ofertada no sétimo período do curso de Engenharia Elétrica do IFSC campus Itajaí. Por conseguinte, existe uma integração com a disciplina de Sinais e Sistemas, do mesmo curso, ofertada no sexto período. Esta disciplina serve de estudo para a análise de sistemas elétricos, mecânicos e eletromecânicos, tanto como um todo quanto por etapas, facilitando o entendimento e o domínio do mesmo. Além da integração das disciplinas de Programação I e II, ofertadas no quarto e quinto período do mesmo curso supracitado, respectivamente, utilizando de conceitos de programação para a elaboração do código em Matlab (Math Works, 2019).

4 RESULTADOS

Ao final do desenvolvimento do protótipo a parte mecânica e estrutural ficou integralmente pronta, levando-se em consideração aspectos como o peso final, portabilidade e a devida conexão dos sensores e demais componentes a bomba d'água.

Dos requisitos obrigatórios estabelecidos, além da maquete com os reservatórios e a identificação, todos os sensores foram instalados, assim como a bomba d'água. O buffer de corrente para acionamento da bomba também foi devidamente feito, assim como o PCB. O único ponto em que se encontrou grande dificuldade foi na instalação da resistência elétrica, por diversos motivos, tais como alimentação, contato direto com água, fixação no tanque e o próprio material que é constituído o mesmo, portanto não foi um requisito alcançado.

A realização da comunicação entre componentes e *software*, através da placa de aquisição de dados, foi feita. O controle da coluna de água foi determinado em 15 cm no tanque superior de controle e, de forma que a tensão para ativar a bomba foi inversamente proporcional a altura da coluna de água (quanto mais água, menos tensão em cima da bomba, até atingir o equilíbrio pré-estabelecido e desligar). Quando o sistema entrou em equilíbrio, foram feitas perturbações lentas e bruscas na saída para diminuir a altura de água, e em ambos os casos o sistema respondeu e conseguiu acionar a bomba de água de acordo com a tensão determinada para aquele intervalo de nível, restabelecendo assim o equilíbrio.

Um requisito que inicialmente não estava previsto e foi implantado foi a régua de medição de nível no tanque superior, para tornar mais didático o acompanhamento do nível. Dentro do escopo da montagem da maquete com o tanque e reservatório, tinha-se o objetivo de tornar a maquete portátil e, inicialmente, apesar rodinhas de apoio foram previstas, ao longo do desenvolvimento foram colocados também pés e alças de apoio para carregar a estrutura.

O sensor de fluxo instalado na saída não foi utilizado neste primeiro momento, porém ficou devidamente fixado para uso em projetos e em aprimoramentos futuros.

"Os desafios para formar hoje o engenheiro do amanhã"

O Quadro 2 ilustra os requisitos obrigatórios e opcionais da planta didática com um detalhamento em cores do que foi realizado, em verde, e o que não foi, em vermelho, além dos requisitos que não foram previstos anteriormente e no final foram realizados devido a sua importância, em amarelo.

Quadro 2: Requisitos realizados e não realizados da planta didática.

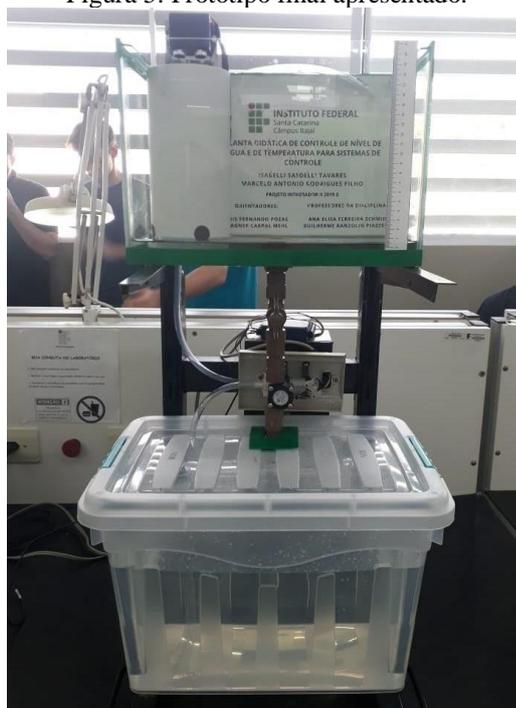
REQUISITOS	
DEVEM TER	PODEM TER
Maquete com reservatórios e identificação	Controle de temperatura
Instalação do sensor de temperatura	Leds de identificação de funcionamento
Instalação do sensor de nível de fluido	Instalação do sensor de fluxo na saída
Instalação da resistência	Driver de corrente para acionamento da resistência
Instalação da bomba d'água	
PCB do buffer de corrente para acionamento da bomba d'água	
Comunicação entre Bancada/Placa/Software	
Controle de nível de água através do software	
Régua para visualização do nível de água.	
Case para abrigar os circuitos de acionamento e alimentação da bomba d'água	
Bornes nos cabos dos sensores para facilitar a remoção dos tanques	
Alças, rodas e pés reguláveis para tornar a planta portátil	

Fonte: Autores

Como resultado final, a bancada didática cumpriu com os requisitos primordiais para suprir as necessidades imediatas das aulas de Sistemas de Controle, para assim aprimorá-la durante as aulas práticas e em projetos futuros.

O protótipo final desenvolvido pode ser visto na figura 5 abaixo:

Figura 5: Protótipo final apresentado.



Fonte: Autores.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Inicialmente, toda a parte mecânica foi implementada, juntamente com a instalação de todos os sensores necessários para o controle de nível de fluido. Posteriormente, a comunicação, através da placa de aquisição de dados, entre o protótipo, sensores e software, permitiu a análise, estudo e controle de nível de fluido, acionando assim a bomba d'água e regulando os níveis de fluido no recipiente.

Portanto, o desenvolvimento dessa bancada didática serviu não apenas como objeto final da disciplina de Projeto Integrador II, mas também como um equipamento portátil e didático para aulas práticas de Sistemas de Controle e como ferramenta de estudo para projetos futuros.

Agradecimentos

Por fim, agradecemos primeiramente o professor orientador Luis Fernando Pozas, que teve um papel crucial e de suma importância no desenvolvimento deste projeto, solucionando problemas e dúvidas, dando dicas e encaminhamentos para que o trabalho ficasse o melhor possível. Estendemos nossos agradecimentos a todas as pessoas envolvidas neste trabalho de projeto integrador: o técnico do laboratório LabProj e coorientador Wagner Cabral Mehl, os professores da disciplina Ana Elisa Ferreira Schmidt e Guilherme Ranzolin Piazzetta e os funcionários da fábrica do campus, que tiveram um papel importantíssimo durante a montagem da estrutura mecânica do protótipo. Todos foram imprescindíveis para o desenvolvimento do protótipo, auxiliando e dando ideias constantemente.

REFERÊNCIAS

ASSIS, Wânderson O.; COELHO, Alessandra D.; LIMA, F. R. G. **Um Programa Didático para Ensino de Sistemas de Controle em Laboratório do Curso de Engenharia.** *Anais: COBENGE*, 2008.

Bancada Didática para Ensaio de Nível, Vazão e Temperatura. Disponível em: <<http://exstoacademy.exsto.com.br/course/index.php?categoryid=5&browse=courses&perpage=20&page=1>>. Acesso em: 12 ago. 2019.

BENCH, Henry's. **LM35 Arduino Temperature Sensor: User Manual.** Disponível em: <<http://henrysbench.capnfatz.com/henrys-bench/arduino-temperature-measurements/lm35-arduino-temperature-sensor-user-manual/>>. Acesso em: 01 nov. 2019.

BRAGA, Newton C.. **Seguidor de Tensão 741 (NE372).** Disponível em: <<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/circuitos/130-instrumentacao/5429-ne372.html>>. Acesso em: 09 set. 2019.

FRANZINI, Juliana Dias et al. **APLICAÇÕES DE TÉCNICAS DE CONTROLE NO MATLAB/SIMULINK® COM COMUNICAÇÃO VIA OPC EM UMA PLANTA DIDÁTICA HART.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 41., 2013, Gramado. Anais... . Cataguases: Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2013. p. 1 - 12.

Placa USB-6001. Disponível em: <<http://www.ni.com/pt-br/support/model.usb-6001.html>>. Acesso em: 23 ago. 2019.

"Os desafios para formar hoje o engenheiro do amanhã"

PROJETO PEDAGÓGICO DO CURSO DE BACHAREL EM ENGENHARIA ELÉTRICA. Disponível em:

<https://sig.ifsc.edu.br/sigaa/public/curso/ppp.jsf?lc=pt_BR&id=2398777>. Acesso em: 12 ago. 2019.

SANTOS, Carla M. M. dos et al. DESENVOLVIMENTO DE UM MÓDULO DE CONTROLE DE NÍVEL UTILIZANDO O KIT ARDUINO UNO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, 20., 2014, Belo Horizonte. **Anais do XX Congresso Brasileiro de Automática.** Belo Horizonte: Congresso Brasileiro de Automática, 2014. p. 4091 - 4098.

The MathWorks, Inc. **Acquire Data Using NI Devices.** Disponível em:

<<https://www.mathworks.com/help/daq/examples/acquire-data-using-ni-devices.html>>
Acesso em: 22 nov. 2019.

USER GUIDE NI USB-6001/6002/6003. Disponível em:

<<http://www.ni.com/pdf/manuals/374259a.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2019.

VALENTIM, R. A. M, PEREIRA, J. P; CASTRO, B. P. S. ;. **Kit Educacional para Controle e Supervisão Aplicado a Nível.**IFRN Holos, Natal, v. 2, p. 68-72, 2009.

DEVELOPMENT OF A DIDACTIC PLANT FOR WATER LEVEL AND TEMPERATURE CONTROL FOR CONTROL SYSTEMS

Abstract: *This work presents the proposal and development of a didactic plant of water level and temperature control, applied to the curricular unit of "Control Systems", offered to the Electrical Engineering of IFSC campus Itajaí. It describes the methodology and details of the development of the plant, which consists of two water tanks, one for analysis and the other for reservoir. The mechanics and structure of the plant have been fully finalized, and it is possible to control the water level by means of software, even with manual disturbances in the output flow value. The development of this project served to obtain approval in the curricular unit of Integrator Project II and also as didactic equipment for the discipline of Control Systems, with the benefit of being portable and easy to handle.*

Keywords: *Practical classes. Instrumentation. Didactic plant. Control system.*