

Aplicações de uma Plataforma Didática de Controle de Nível para o Ensino na EPT

Gabriel C. S. Almeida, UNIFEI, gcaldasalmeida@gmail.com

<http://orcid.org/0000-0001-7138-8151>

Gilberto Capistrano Cunha de Andrade, Instituto Gnarus, gilbertocapistrano@gmail.com

<http://orcid.org/0000-0001-7745-1940>

Resumo: Plataformas didáticas constituem alternativas práticas na aprendizagem de disciplinas teóricas. A utilização e divulgação destas plataformas contribuem também para o estímulo do desenvolvimento de habilidades fundamentais nos estudantes, uma vez que elas conseguem integralizar diversas disciplinas e campos do conhecimento. Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma plataforma virtual de controle de nível por meio de uma modelagem no software MATLAB para o ensino no Curso Técnico Integrado ao Médio em Automação Industrial do Instituto Federal Fluminense (IFF). Além dos conceitos relacionados à disciplina de Controle de Processos Industriais, a plataforma também engloba conhecimentos relacionados às disciplinas de Instrumentação e de Sistemas Supervisórios, servindo como uma possibilidade de Projeto Integrador Final. Os resultados demonstram que a ferramenta conseguiu simular com sucesso uma situação real existente na indústria, fazendo com que o aluno possa estar mais preparado ao encontrar possíveis situações semelhantes em seu futuro profissional.

Palavras-chave: Controlador PID, Controle de Nível, Ensino na EPT, Instrumentação, Sistemas Supervisórios.

Applications of a Didactic Level Control Platform for Teaching at PTE

Abstract: Didactic platforms are practical alternatives in the learning of theoretical subjects. The use and dissemination of these platforms also contribute to stimulating the development of fundamental skills in students since they can integrate various disciplines and fields of knowledge. This work aims to develop a virtual level control platform through modelling in MATLAB software for teaching in the Integrated Technical Course for Industrial Automation at Instituto Federal Fluminense (IFF). In addition to the concepts related to the discipline of Industrial Process Control, the platform also encompasses knowledge of the disciplines of Instrumentation and Supervisory Systems, serving as a possibility for a Final Integrator Project. The results show that the tool successfully simulated an actual situation existing in the industry, making the student more prepared to find possible similar cases in his professional future.

Keywords: PID Controller, Level Control, Teaching at EPT, Instrumentation, Supervisory Systems.

1. Introdução

Com o decreto nº 7.566 de 23 de setembro de 1909 (Peçanha, 1909), Nilo Peçanha deu início ao surgimento das Escolas de Aprendizes e Artífices no Brasil. Este foi o primeiro passo dado no sentido de popularizar o que posteriormente seria conhecido como Educação Profissional e Tecnológica (EPT). Atualmente, a Rede Federal é composta por 38 Institutos Federais, 22 escolas técnicas vinculadas às universidades federais, 02 Centros Federais de Educação Tecnológica (Cefet), a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e o Colégio Pedro II (Ministério da Educação, 2019). Este artigo irá se basear no Projeto Pedagógico do Curso Técnico Subsequente em Automação Industrial do Instituto Federal Fluminense – *Campus Itaperuna*.

Ferramentas práticas que contextualizam e servem de apoio para a aplicação do conhecimento teórico são necessárias nesta Rede e em todo o sistema de ensino

brasileiro. De acordo com Oliveira, Rego e Villardi (2007), essas ferramentas junto com a aprendizagem colaborativa levam à superação das restrições de tempo físico e de lugar geográfico, permitindo assim inúmeras formas de comunicação e variados sentidos de interação.

Neste sentido, o uso de *softwares* didáticos que permitem a integração entre teoria e prática é extremamente importante. Segundo Moran, Masetto e Behrens (2006), ao utilizar algumas destas ferramentas, o professor estará provocando, entre outras coisas, a motivação dos alunos para estudar. Esta motivação é um dos passos essenciais para que ocorra o processo de aprendizagem. Uma destas ferramentas didáticas é o *software* MATLAB, utilizado neste trabalho.

Um dos desafios que muitos Institutos Federais de Educação Profissional enfrentam ao elaborar um currículo é o de realizar um trabalho interdisciplinar. De acordo com Fazenda (2017) “[...] o trabalho interdisciplinar não se ensina, nem se aprende, ou seja, vivencia-se, constrói-se, pois o que caracteriza um trabalho interdisciplinar é a busca, a pesquisa e a ousadia em romper os limites das fronteiras estabelecidas entre as várias áreas do conhecimento [...]”. Ao integralizar diferentes campos do conhecimento e permitir uma visão mais prática dos conceitos, os alunos aprendem mais e melhor. Este trabalho também apresenta um projeto integrador entre três disciplinas ministradas na EPT.

A partir do pressuposto teórico, este trabalho tem como objetivo propor uma plataforma virtual de controle de nível por meio de uma modelagem no *software* MATLAB para o ensino no Curso Técnico Integrado ao Médio em Automação Industrial do Instituto Federal Fluminense (IFF). Além dos conceitos relacionados à disciplina de Controle de Processos Industriais, a plataforma também engloba conhecimentos relacionados às disciplinas de Instrumentação e de Sistemas Supervisórios, servindo como uma possibilidade de Projeto Integrador Final (Projetos de Automação).

Por meio desta plataforma, o aluno poderá ter acesso aos estágios da aprendizagem experimental em um ambiente digital didático, permitindo o desenvolvimento de capacidades e formulações teóricas próximas da realidade que a formação tecnológica deve apresentar.

O artigo está organizado da seguinte maneira: A seção 1 apresenta a introdução com motivação e objetivos da pesquisa. A seção 2 é dedicado a apresentar o referencial teórico necessário para compreensão da ferramenta didática, assim como os trabalhos relacionados. A seção 3 trata da metodologia, apresentando o processo de construção da plataforma proposta. A seção 4, por sua vez, apresenta uma situação problema envolvendo a plataforma didática e seus resultados. Por fim, a seção 5 tem como objetivo expor as conclusões e considerações finais do trabalho.

2. Referencial Teórico

Esta seção trará o referencial teórico necessário para melhor compreensão dos aspectos da plataforma didática, assim como o Projeto Pedagógico usado como referência. Além disso, ele também apresentará alguns trabalhos relacionados ao tema.

2.1. Projeto Pedagógico Base

Para definir o alinhamento da pesquisa, foi escolhido o Projeto Pedagógico do Curso (PPC) Técnico Subsequente em Automação Industrial do Instituto Federal Fluminense – *Campus* Itaperuna. A Matriz Curricular do referido curso encontra-se na Tabela 1.

Na tabela, é possível visualizar as disciplinas que irão ser abordadas na pesquisa.

Tabela 1. Matriz curricular do curso técnico subsequente em Automação Industrial (Adaptado de (Instituto Federal Fluminense, 2018)).

Componentes Curriculares	1º ano (h/a)		2º ano (h/a)	
	Nº de aulas	Total de horas-aula	Nº de aulas	Total de horas-aula
	semanais		semanais	
Circuitos Elétricos	4	160	-	-
Segurança no Trabalho	1	40	-	-
Desenho Técnico e CAD	2	80	-	-
Eletrônica Digital	2	80	-	-
Eletrônica Industrial	2	80	-	-
Instalações Elétricas Industriais	2	80	-	-
<i>Instrumentação e Controle de Processos Industriais</i>	4	160	-	-
Lógica de Programação e Teoria de Microcontroladores	3	120	-	-
Automação Predial	-	-	2	80
Gestão e Empreendedorismo	-	-	2	80
Controle de Equipamentos Industriais	-	-	2	80
Controlador Lógico Programável (CLP) e <i>Sistemas Supervisórios</i>	-	-	4	160
Programação de Microcontroladores	-	-	3	120
Redes Industriais de Comunicação	-	-	2	80
Acionamentos Pneumáticos e Hidráulicos	-	-	2	80
<i>Projetos de Automação</i>	-	-	2	80
Práticas Educativas para o mundo do trabalho	-	-	1	40

São elas: *Instrumentação, Controle de Processos Industriais, Sistemas Supervisórios e Projetos de Automação*. Um breve referencial de alguns conceitos das três primeiras será apresentado próximos tópicos. A última disciplina, segundo o próprio PPC, aborda os assuntos gerais aplicados à área de Projetos de Automação, servindo como uma forma multidisciplinar de conectar as diferentes disciplinas vistas ao longo do curso. Portanto, vai ao encontro de um dos objetivos da plataforma didática que será desenvolvida.

2.2. Instrumentação

“Instrumentação é qualquer dispositivo (instrumento), ou conjunto de dispositivos, utilizado com a finalidade de se medir, indicar, registrar ou controlar as variáveis de um processo” (Starling, 2003). Existem instrumentos específicos para medição (transmissores), indicação (visores) e para controle (válvula e controladores) de uma variável de processo.

Qualquer sistema industrial necessita de sistemas de instrumentação para realizar a devida medição, controle, monitoração e alarme das variáveis. Equipamentos como tanques de nível e instrumentos como válvulas de segurança fazem parte de um sistema de instrumentação. Além disso, a simbologia é um aspecto essencial deste sistema visto que ela possui o objetivo de identificar todos os instrumentos e equipamentos de uma determinada malha de controle.

Um processo industrial típico envolve centenas ou até milhares de sensores e de elementos finais de controle que devem ser operados e coordenados continuamente. As principais vantagens de um sistema industrial estão relacionadas com a qualidade e com a quantidade dos produtos, fabricados com segurança e sem subprodutos nocivos. O controle automático possibilita a existência de processos extremamente complexos,

impossíveis de existirem apenas com o controle manual (Ribeiro, 2002).

2.3. Controle de Processos Industriais

Diversos tipos de sistemas de controle são utilizados em toda indústria. Eles são considerados o cérebro de qualquer processo pois são responsáveis por manter a variável de processo dentro do nível desejado (*set-point*). Dentre os sistemas de controle *feedback*, os controladores que possuem as ações Proporcional, Integral e Derivativa (chamados de Controladores PID) são os que mais se destacam. O Controlador PID é extremamente difundido em pesquisas e também em aplicações de campo. Pelo seu uso ser considerado relativamente simples, Tan, Huang e Ferdous (2002) afirmam que é provável que uma pessoa com poucos conhecimentos de controle seja capaz de utilizá-lo.

No Controlador PID, o sinal de erro é minimizado pela ação proporcional, zerado pela ação integral e obtido com uma velocidade antecipativa pela ação derivativa. Campos e Teixeira (2006) afirmam que este é sem dúvida o algoritmo de controle mais tradicional da indústria.

A ação proporcional tem esse nome pois ela é diretamente proporcional ao erro e atua majoritariamente no regime transitório do sistema (Faccin, 2004). A ação integral é diretamente proporcional à integral do sinal de erro no tempo e tem atuação no regime permanente do sistema (Moore, 1999). Já ação derivativa é diretamente proporcional a derivada do erro no instante (t) e fornece uma correção antecipada do erro, diminuindo o tempo de resposta e melhorando a estabilidade do sistema (Bolton, 2010).

Tabela 2. Efeito de cada uma das ações na resposta do sistema em malha fechada (Adaptado de (Fernandes, 2006)).

Ganhos	Sobre-sinal (Mp)	Tempo de estabilidade (Ts)	Erro de Regime (ess)	Tempo de subida (tr)
Kp	Aumenta	Pouca Alteração	Diminui	Diminui
Ki	Aumenta	Aumenta	Elimina	Diminui
Kd	Diminui	Diminui	Pouca Alteração	Pouca Alteração

De acordo com Campestrini (2006), para um bom funcionamento do sistema, o controlador deve ser sintonizado de maneira que as três ações – proporcional, integral e derivativa – sejam adequadamente dosadas, de acordo com as especificações do projeto. A Tabela 2 apresenta as influências de cada ganho no sistema. Esta Tabela será utilizada como referência para a resolução da situação-problema que será apresentada mais adiante.

2.4. Sistemas Supervisórios

Os sistemas supervisórios podem ser vistos como sistemas que supervisionam ou monitoram processos executados em uma planta industrial, através da visualização de variáveis da planta que está sendo automatizada, bem como das ações tomadas pelo sistema de automação. São usualmente empregados com a finalidade de tornar possível o reconhecimento de prováveis falhas em componentes da planta antes que essas falhas ocorram efetivamente (Silva, 2013).

O *software* do sistema supervisório utiliza a representação de objetos estáticos e animados para ilustrar todo o processo de uma planta, sendo chamado também de Interface Homem-Máquina (IHM). A IHM permite a alteração dos parâmetros PID dos controladores, a abertura ou o fechamento de válvulas do processo, o controle de forma manual e a visualização dos gráficos que comparam o *set-point* com a variável de processo.

Os sistemas supervisórios permitem o monitoramento e rastreamento das informações de um processo produtivo. Estas informações são coletadas a partir de equipamentos de aquisição de dados e, em seguida, manipulados, analisados, armazenados e, posteriormente, apresentados ao usuário (Coelho, 2010). Estes sistemas são geralmente compostos por válvulas, sensores, transmissores, controladores, visores, bombas, tanques e toda tecnologia de comunicação envolvida para conexão desses componentes.

2.5. Trabalhos Relacionados

Esta seção tem como objetivo fazer um levantamento cronológico dos trabalhos que antecederam o presente artigo, de forma a traçar de forma resumida o estado da arte relacionado à utilização de plataformas tecnológicas e no ensino de uma forma geral.

No trabalho de Carvalho, Barone e Zaro (2009), foi apresentada uma plataforma tecnológica didática para o ensino de engenharia utilizando o software MATLAB e uma planta de destilação piloto. O estudo concluiu, por meio de uma pesquisa com os alunos, que o ambiente proposto favorece o desenvolvimento de competências necessárias para um engenheiro de controle e automação.

Carvalho, Barone e Zaro (2010) propuseram a utilização da aprendizagem significativa na disciplina de controle avançado em um curso de engenharia. No experimento didático-pedagógico, os alunos elaboraram mapas mentais ao final de cada encontro. Após todos os encontros foi constatada uma nítida evolução em termos gerais na sala: os alunos fizeram conexões entre conceitos posicionados inicialmente distantes no mapa, evidenciando a evolução na rede de conceitos de cada um.

No trabalho de Popescu e Paraschiv (2013) é abordado o uso de laboratórios remotos na educação. Eles apresentam um laboratório que está localizado na Universidade de Petróleo e Gás de Ploiesti, Romênia, e que foi projetado principalmente para alunos de Controle Automático e Informática Aplicada do programa de ensino a distância da universidade e também para professores que estão como visitantes em outros países. O trabalho destaca a estrutura do laboratório, assim como experimentos e características dos equipamentos.

Sauer *et al.* (2017) tratam o ensino de controle por meio de uma plataforma didática. A plataforma consiste em uma gangorra com motores em suas extremidades, onde a variação da velocidade dos motores varia o ângulo da gangorra. O trabalho investiga a implementação de um controlador PID, objetivando uma análise da resposta do sistema, através de uma interface gráfica. Assim, a plataforma facilita o entendimento dos alunos de controle fora do campo da abstração.

Carvalho, Almeida e Salles (2020) discutiram os aspectos da utilização de uma plataforma tecnológica no ensino de PID *tuning*. O experimento combinou o potencial educacional do *software* MATLAB e a capacidade didática da simulação *hardware in-the-loop* (HIL). Os resultados obtidos foram apresentados de forma gráfica e analisados sob a luz dos aspectos teóricos envolvidos, possibilitando a identificação de indícios de que plataforma contribuiu significativamente no processo de aprendizagem destes alunos.

Partindo deste cenário pode-se perceber que o uso de plataformas tecnológicas no ensino de controle de nível é pertinente, contribuindo na sedimentação de conhecimentos teóricos. Aliado a isso, o propósito deste trabalho é também promover uma interdisciplinaridade entre os principais conceitos relacionados a estes sistemas. Esta plataforma permitirá aos alunos visualizarem a interface gráfica em tempo real que contém as variáveis que estão sendo medidas e controladas, contribuindo para um melhor entendimento do sistema como um todo.

3. Plataforma Proposta

Esta seção irá apresentar a metodologia de como a pesquisa foi feita e o processo de construção da plataforma proposta. Além disso, irá relacionar cada etapa com as disciplinas já mencionadas.

3.1. Sistema de Controle de Nível

Um sistema de controle *feedback* é aquele onde ocorre a realimentação do erro para que o sistema alcance os sinais desejados de referência. Na Figura 1 é possível visualizar este tipo de controle.

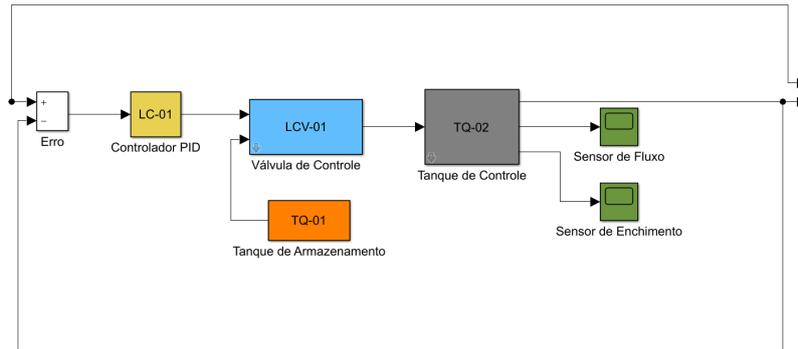


Figura 1. Sistema de controle de nível no Simulink.

Nesta figura também é possível notar a presença da Válvula de Controle (LCV-01), que controla o fluxo de água que entra no Tanque de Controle (TQ-02). O Tanque de Armazenamento (TQ-01) possui duas funções. A primeira é servir como alimentação de água para a LCV-01, e a segunda é funcionar como um sistema de escoamento do TQ-02. Este último possui também 2 sensores acoplados. O Sensor de Fluxo, responsável por medir a quantidade da vazão de água que escorre com o passar de tempo, e o Sensor de Enchimento, que indica quando ocorre o transbordo de nível do Tanque de Controle.

O usuário pode alterar a altura, a área da base, o nível inicial e a tubulação de saída do TQ-02, assim como a vazão de saída do TQ-01. Além disso, a pressão interna do tanque varia com o nível da água, o que traz características não-lineares ao modelo e assemelha-o ainda mais a um sistema real. Todos os conceitos expostos fazem parte da disciplina de *Instrumentação* do PPC selecionado, servindo como uma excelente problematização do assunto em salas de aula.

3.2. Controlador PID

O controlador PID do sistema (LC-01) foi modelado de acordo com a Equação 1 onde $u(t)$ corresponde a saída do sinal de controle, K_p ao ganho proporcional, K_d ao ganho derivativo e K_i ao ganho integral. Já na Equação 2, $r(t)$ é a referência do sistema e $y(t)$ corresponde à variável de processo, ou seja, a saída do sistema.

$$u(t) = K_p e(t) + K_d \frac{de(t)}{dt} + K_i \int e(t) dt \quad (1)$$

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (2)$$

Esta etapa do desenvolvimento da plataforma tem profunda relação com a disciplina de *Controle de Processos Industriais* de acordo com o PPC selecionado. O uso da ferramenta didática para solidificação dos conceitos teóricos relacionados a este assunto é extremamente recomendado, visto que proporcionará ao aluno uma nova forma

de enxergar e visualizar o comportamento do sistema a partir da alteração destes ganhos.

3.3. IHM

Esta etapa metodológica foi responsável por criar a IHM responsável por gerenciar os equipamentos, instrumentos e variáveis inerentes ao sistema de controle proposto. Na Figura 2 mais adiante é possível visualizar o resultado final desta implementação.

O Transmissor de Nível (LT-02) indica a altura momentânea desta variável e envia este dado para o LC-01 ajustar os cálculos. Na IHM projetada é possível alterar os valores de K_p , K_i e K_d do controlador, alterando seu funcionamento para Automático ou Manual. Também é possível alterar o modo de funcionamento da LCV-01, responsável pela entrada de água no TQ-02. Caso seja fechada, irá impedir a vazão do líquido, fazendo com o nível desça.

A disciplina de *Sistemas Supervisórios* está relacionada justamente com o controle por meio da IHM, visto nesta seção. A plataforma pode contribuir para motivar o interesse e a curiosidade dos alunos a utilizarem um Sistema Supervisório, visto que este sistema é amplamente implementado nas Indústrias e no mercado de trabalho.

3.4. Plataforma Didática

Após a construção da instrumentação do sistema de nível, a realização da modelagem do controlador PID e a criação da IHM, a plataforma didática pôde tornar-se funcional. A Figura 2 mostra a tela principal desta ferramenta, além de possuir como janelas *pop-up* a IHM à esquerda e também o gráfico comparativo entre o sinal de referência e o valor medido do nível, à direita.

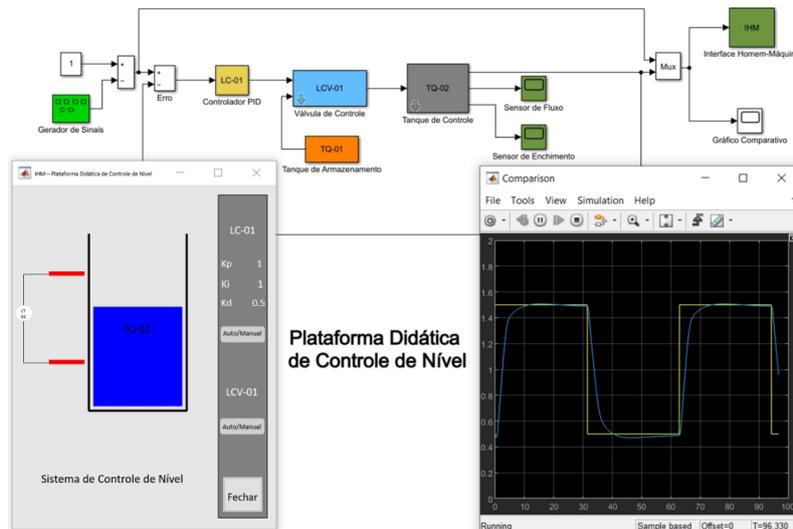


Figura 2. Visão geral da plataforma didática.

O sistema completo exemplifica o perfeito funcionamento e comunicação entre todos os dispositivos do sistema, desde o Gerador de Sinais responsável por iniciar o sistema e selecionar o tempo entre a mudanças de *set-point*, até a saída do gráfico comparativo, identificando o adequado desempenho da plataforma.

Esta última etapa do desenvolvimento do trabalho tem intensa ligação com a disciplina *Projetos de Automação*, de acordo com o PPC selecionado. Nela, é sugerida a abordagem de assuntos gerais aplicados à área de Projetos de Automação, o que vai ao encontro do que foi implementado. A característica multidisciplinar que foi evidenciada, utilizando-se de conceitos de três disciplinas diferentes, é extremamente importante para

o desenvolvimento de habilidades fundamentais nos estudantes, contribuindo para sua formação completa.

4. Resultados

Esta seção abordará uma possível situação-problema envolvendo a planta didática de controle de nível e o caminho que o aluno (que nestes casos será o operador do sistema) teoricamente deve seguir para alcançar o melhor resultado.

O caso ilustra uma situação hipotética, onde o alarme de disparo do sensor de enchimento do TQ-02 aciona e, ao visualizar a IHM, o operador percebe que o nível está chegando de uma maneira tão rápida ao *set-point* que gera um sobre-sinal elevado. Este erro causa o transbordamento do tanque. O operador deverá encontrar uma solução apenas mudando os ganhos do LC-01, sem alterar a altura, a área da base, o nível inicial e a tubulação de saída do TQ-02, assim como também não deve ajustar a vazão de saída do TQ-01. A Figura 3 ilustra a situação.

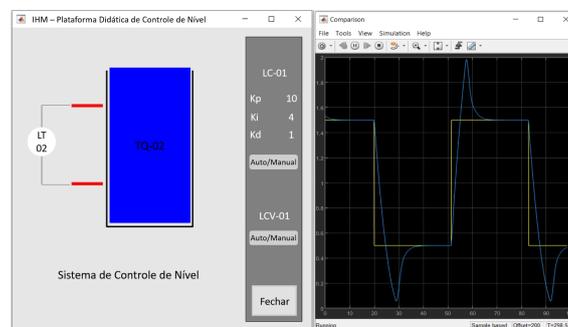


Figura 3. Situação-problema com transbordamento do TQ-02.

Para dar início ao processo de ajuste, é preciso voltar à Tabela 2 e identificar qual a real necessidade do problema. Como foi dito que o tanque estava transbordando e que o sobre-sinal estava elevado, é preciso diminuir o valor do K_p e K_i , visto que estes ganhos apenas aumentam o sobre-sinal em questão.

Se alterarmos o valor do K_p para 2 e o valor de K_i para 0, o sistema se comportará de acordo com a Figura 4. É possível notar que houve uma melhora significativa em relação ao estado anterior, mas o sistema ainda assim apresenta um pequeno sobre-sinal. Neste caso, iremos aumentar o valor do K_d para 2 e ver como a plataforma responderá na Figura 5.

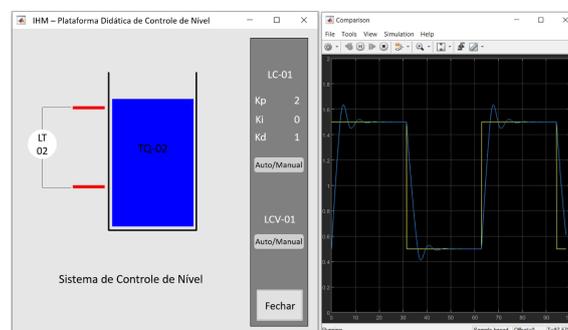


Figura 4. Situação-problema após ajuste do K_p e K_i .

Após o último ajuste, é possível visualizar que o controlador conseguiu adaptar-se às diferentes mudanças de *set-point*, apresentando uma resposta rápida e sem um sobre-sinal elevado. Portanto, conclui-se que o aluno conseguiu ajustar os ganhos e

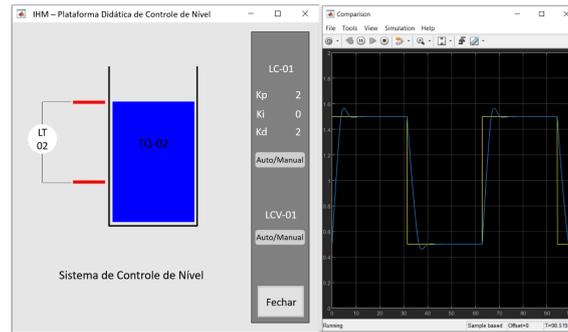


Figura 5. Situação-problema após ajuste do Kd.

encontrar o controlador ideal para a situação-problema.

5. Conclusões

Neste trabalho, foram apresentados os benefícios de se utilizar uma plataforma didática como ferramenta de aprendizagem no Curso Técnico Integrado ao Médio em Automação Industrial do IFF. A pesquisa visou englobar diferentes disciplinas dentro de uma só ferramenta, promovendo a interdisciplinaridade e contribuindo para a formação completa do aluno.

O experimento combinou o potencial educacional do *software* MATLAB/SIMULINK e a capacidade didática da simulação, obtendo como resultado uma experiência multidisciplinar capaz de solidificar conceitos das disciplinas de Instrumentação, Controle de Processos Industriais e Sistemas Supervisórios.

A situação-problema criada na planta didática serviu ao propósito de simular para o aluno uma situação real existente na indústria, fazendo com que ele possa estar mais preparado quando encontrar situações semelhantes em seu futuro profissional, caso esta seja sua escolha. O docente também possui a liberdade para usar a criatividade e propor qualquer situação que imaginar, desde que o processo até encontrar os valores ótimos do sistema gere um aprendizado significativo no aluno.

Uma possível aplicação da ferramenta desenvolvida é utilizá-la em uma disciplina integradora final, abordando assuntos gerais aplicados à conceitos já vistos anteriormente no curso, como a disciplina de Projetos de Automação. Assim, este tipo de aplicação poderá estimular o desenvolvimento de habilidades fundamentais nos estudantes. Os autores disponibilizaram o link do modelo criado no Simulink da Plataforma Didática na referência (Almeida, 2020) com o intuito de compartilhar o material e contribuir para a melhoria do ensino de uma forma geral.

Referências

- Almeida, G. C. S. **Plataforma Didática de Controle de Nível**. 2020. Disponível em: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/82580-plataforma-didatica-de-controle-de-nivel>.
- Bolton, W. **Mecatrônica: uma abordagem multidisciplinar**. Porto Alegre: Bookman, 2010.
- Campestrini, L. **Sintonia de Controladores PID descentralizados baseada no Método do Ponto Crítico**. Tese (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.
- Campos, M. C. M. M.; Teixeira, H. C. G. **Controles típicos de equipamentos e processos industriais**. São Paulo: Blucher, 2006.

- Carvalho, A. S.; Almeida, G. C. S.; Salles, R. S. Aspectos da Utilização de uma Plataforma Tecnológica no Ensino de PID Tuning. In: **COBENGE - Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia**. [S.l.: s.n.], 2020.
- Carvalho, A. S.; Barone, D. A. C.; Zaro, M. A. Uma plataforma tecnológica para o ensino de engenharia de controle. **RENOTE**, v. 7, n. 3, p. 286–295, dec 2009. ISSN 1679-1916. Disponível em: [〈https://seer.ufrgs.br/renote/article/view/13568〉](https://seer.ufrgs.br/renote/article/view/13568).
- Carvalho, A. S.; Barone, D. A. C.; Zaro, M. A. A aprendizagem significativa no ensino de engenharia de controle e automação. **RENOTE**, v. 8, n. 3, dec 2010. ISSN 1679-1916. Disponível em: [〈https://seer.ufrgs.br/renote/article/view/18091〉](https://seer.ufrgs.br/renote/article/view/18091).
- Coelho, M. S. **Sistemas Supervisórios**. Cubatão, 2010. 42 p.
- Faccin, F. **Abordagem Inovadora no Projeto de Controladores PID**. 145 p. Tese (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.
- Fazenda, I. **Práticas interdisciplinares na escola**. 13^o. ed. São Paulo: Cortez, 2017. 192 p.
- Fernandes, F. G. **Metodologia para Re-sintonia de Controladores PID Industriais**. Tese (Mestrado) — Metodologia para Re-sintonia de Controladores PID Industriais, 2006. Instituto Federal Fluminense. **Projeto Pedagógico do Curso Técnico Subsequente em Automação Industrial**. 2018. Disponível em: [〈http://cdd.iff.edu.br/documentos/resolucoes/2018/resolucao-18〉](http://cdd.iff.edu.br/documentos/resolucoes/2018/resolucao-18).
- Ministério da Educação. **Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica**. 2019. Disponível em: [〈http://portal.mec.gov.br/rede-federal-inicial〉](http://portal.mec.gov.br/rede-federal-inicial).
- Moore, C. F. Control modes - Closed-Loop Response. In: Lipták, B. G. (Ed.). **Instrument Engineer's Handbook: Process Control**. 3^o. ed. Boca Raton: CRC Press, 1999.
- Moran, J. M.; Masetto, M. T.; Behrens, M. A. **Novas tecnologias e mediação pedagógica**. 10^o. ed. Campinas, SP: [s.n.], 2006. 211 p.
- Oliveira, E. d. S. G. de; Rego, M. C. L. C.; Villardi, R. M. Aprendizagem mediada por ferramentas de interação: análise do discurso de professores em um curso de formação continuada a distância. **Educação & Sociedade**, v. 28, n. 101, p. 1413–1434, dec 2007. ISSN 0101-7330. Disponível em: [〈http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-73302007000400008&lng=p〉](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-73302007000400008&lng=p).
- Peçanha, N. **DECRETO No 7.566, DE 23 DE SETEMBRO DE 1909**. 1909. Disponível em: [〈http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf3/decreto\7566\19〉](http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf3/decreto\7566\19).
- Popescu, M.; Paraschiv, N. Remote Laboratory for Learning in Control Engineering. **IFAC Proceedings Volumes**, v. 46, n. 17, p. 333–338, 2013. ISSN 1474-6670. Disponível em: [〈http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667015341239〉](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667015341239).
- Ribeiro, M. A. **Instrumentação**. 9^o. ed. Salvador: Tek Treinamento e Consultoria LTDA, 2002. 360 p.
- Sauer, C.; Reibold, M. M. P.; Paixão, E. P.; Silva, J. V. D. C. Didactic Platform for the Teaching of Control Systems. In: **XXV Seminário de Iniciação Científica**. Ijuí, Brasil: [s.n.], 2017.
- Silva, M. P. **Sistema Supervisório**. 42 p. Tese (Curso de Especialização) — Marinha do Brasil, 2013.
- Starling, A. N. **Controle e automação I**. Belo Horizonte: [s.n.], 2003.
- Tan, K.; Huang, S.; Ferdous, R. Robust self-tuning PID controller for nonlinear systems. **Journal of Process Control**, v. 12, n. 7, p. 753–761, oct 2002. ISSN 09591524. Disponível em: [〈https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959152402000057〉](https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959152402000057).