

Desenvolvimento de kit didático de controladores industriais aplicados ao controle de posição de válvula proporcional

RESUMO

Elves Sousa e Silva

elvessilva@hotmail.com
orcid.org/0000-0002-1464-569X
Instituto Conceição Moura (IFCM),
Belo Jardim, Pernambuco, Brasil

Juan Pereira Silva

juan.pereira.silva@hotmail.com
orcid.org/0000-0002-3996-8065
Universidade Federal do Amapá
(UNIFAP), Macapá, Amapá, Brasil

Moisés Hamssés Sales de Sousa

moiseshamsses@yahoo.com.br
orcid.org/0000-0002-0651-0453
Instituto Federal da Paraíba (IFPB),
João Pessoa, Paraíba, Brasil

Ricardo Ferreira da Silva

ricardo.ferreiradasilva@yahoo.com.br
orcid.org/0000-0003-0746-816X
Universidade Estácio de Sá, Recife,
Pernambuco, Brasil

Este artigo apresenta o desenvolvimento de um kit didático para auxílio nas disciplinas de automação, instrumentação e controle industrial. Aplicando os controladores em um protótipo de válvula proporcional o intuito é a obtenção da melhor topologia. Bem como a aplicação da interdisciplinaridade no currículo dos cursos, viabilizando também a absorção dos conhecimentos científicos com situações práticas. Os resultados apresentados são de controladores tipo proporcional (P) e proporcional, integral e derivativo (PID), comumente encontrados em plantas industriais. Através de um potenciômetro é possível selecionar a posição desejada e com um sensor de posição acoplado ao eixo da válvula o controlador do sistema realiza o ajuste. O *setpoint* pode ser modificado online. O sistema de controle e aquisição de dados é feito com o uso da plataforma Arduino®, os dados são adquiridos com auxílio do software PLX-DAQ® trazendo também uma proposta de uso do software e de um hardware livre.

PALAVRAS-CHAVE: Controlador PID. Válvula proporcional. Interdisciplinaridade.

INTRODUÇÃO

Após o avanço das diversas tecnologias de acionamento e controle, em especial os semicondutores, e o surgimento da automação industrial posteriormente à Segunda Guerra Mundial, dispositivos mais modernos e suas respectivas maneiras de aplicação tiveram sua utilização nas linhas de produção em longa escala bem como nos mais variados tipos de processos fabris. Com isso determinadas tarefas e atividades antes desenvolvidas por seres humanos de maneira manual passaram a ter a automação nas mais diversas tecnologias voltadas aos processos produtivos e em máquinas industriais (OGATA, 1998).

A posição, variável relacionada ao deslocamento de um corpo, é uma variável extremamente importante a ser controlada em diversos sistemas de automação, dentre os quais podemos citar máquinas de comando numérico computadorizado (CNC), braços robóticos, válvulas proporcionais, controladores programáveis e etc..

Devido à importância desses controladores, é relevante o seu estudo em cursos de engenharia elétrica, mecatrônica e tecnologia em automação industrial. Conforme visto em Pacheco, Batista e Petry (2012) se faz necessária a existência de ferramentas de ensino, como equipamentos e softwares de simulação, para um melhor aprendizado, de modo que o aluno apresente um melhor entendimento sobre o assunto.

No entanto, a ausência dessas ferramentas pode dificultar o aprendizado das disciplinas alusivas ao controle e automação de processos industriais, o que pode provocar insatisfação e desmotivação nos alunos. Conforme visto em Pinheiro (2000), em muitos casos os estudantes sentem-se desmotivados por não conseguirem visualizar aplicações práticas acerca dos conhecimentos teóricos adquiridos. Uma ferramenta necessária para evitar esse problema é a utilização de protótipos, que permitem ao aluno colocar em prática conhecimentos teóricos, obter uma visão interdisciplinar do curso, estimular a curiosidade científica, além de ser incentivo para a busca do conhecimento.

Segundo Chrispim (2003), os cursos de engenharia estão entre os cursos que possuem o maior índice de evasão, o que torna então crítico a utilização de mecanismos para estímulo à capacidade de aprendizagem prática e teórica. Os módulos didáticos em aulas de laboratório possuem a vantagem de não serem sistemas fechados, isto é, os alunos conseguem interagir diretamente com os circuitos eletrônicos que envolvem o projeto (CORDEIRO, 2009). Com isso o uso de situações de ensino-aprendizagem e tecnologias que efetuem a interação do aluno com as disciplinas teóricas dentro de um contexto prático se torna cada vez mais fundamental. O desenvolvimento de Kits didáticos pode impulsionar o fortalecimento de experiências de ensino-aprendizagem e o ambiente de ensino, viabilizando um aprendizado agregador e dinâmico.

Analisando o Projeto Pedagógico (PP) dos cursos de Tecnologia em Automação Industrial, Engenharia de Automação e Controle e Engenharia Elétrica de instituições de ensino superior fundamentam a relevância das disciplinas relacionadas à eletrônica, instrumentação e controle na formação profissional, visto que estes profissionais ao final de sua formação estão habilitados a desenvolver sistemas de controle e automação industrial (PPPEE-UFPB, 2008; PPEE-IFPB, 2011; PPCSTAI-IFPB, 2017; PPCECA-IFPB, 2018).

Em todos os Projetos pedagógicos analisados também é destacada a aplicação de plantas didáticas e a ampliação de instrumentos para o processo de ensino-aprendizagem, plantas e kits didáticos trazem também muita interdisciplinaridade, pois os conceitos da construção ao uso permeiam as disciplinas citadas nos projetos pedagógicos (PPPEE-UFPB, 2008), (PPEE-IFPB, 2011), (PPCSTAI-IFPB, 2017) e (PPCECA-IFPB, 2018).

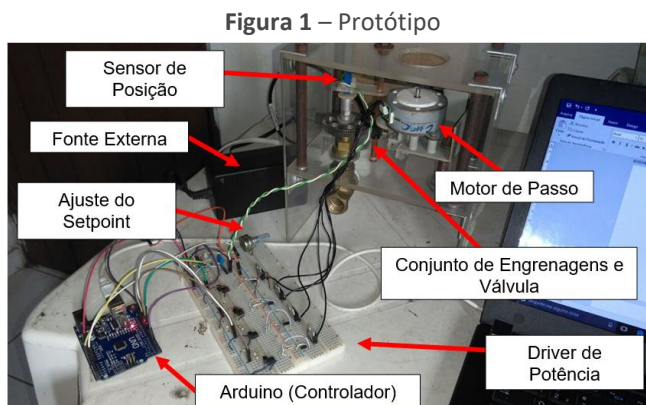
O interesse do desenvolvimento deste trabalho é a construção de um kit didático para auxílio do processo de ensino-aprendizagem de técnicas de controle observando as respostas no sistema, válvula proporcional, com controladores do tipo P e PID. Segundo

Gomes *et al.* (2011) e Máximo (2011), o uso de protótipos ganha cada vez mais espaço por serem de baixo custo e darem a possibilidade de implementação de novas tecnologias e algoritmos computacionais.

De acordo com Citisystems (2013), um sistema de automação divide-se basicamente em duas partes: operacional (sensores e atuadores) e controle (Controlador Lógico Programável). No kit apresentado, a parte operacional é composta por um motor de passo e sensor de posição. Já a etapa de controle foi desenvolvida na plataforma Arduino®, sendo preferível para o estudo por apresentar baixo custo além de possuir software e hardware livres.

METODOLOGIA E INSTRUMENTAÇÃO DO PROTÓTIPO

O primeiro passo para desenvolvimento do kit foi a construção de sua parte mais robusta, o conjunto válvula e atuador. A válvula é um simples registro de passagem, nela foi acoplada uma engrenagem que acoplada a outras formam um conjunto de redução mecânica movido um motor de passo. Tanto o motor como as engrenagens foram retiradas de uma antiga impressora. O motor utilizado é o PM55L048 fabricado pela MINIBEA® de posse dessa informação, consultando sua folha de dados (*datasheet*), foi realizado o dimensionamento da fonte de alimentação, circuitos de acionamento e interface. A Figura 1 apresenta o protótipo do kit.



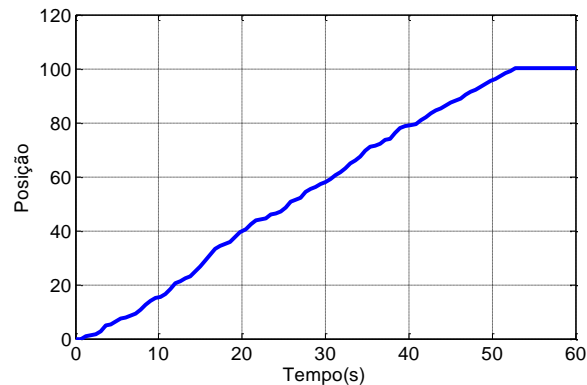
Fonte: Autoria Própria (2019).

A fim de obter a posição real de abertura ou fechamento da válvula foi realizada a instrumentação da mesma acoplando-se um potenciômetro de precisão multivoltas em seu eixo. Assim potenciômetro é o sensor de posição apresentado na Figura 1.

O elemento de resistência, em nosso caso o potenciômetro, é alimentado por uma tensão de Corrente Contínua (CC) ou Corrente Alternada (CA) e a tensão de saída é função linear do deslocamento (THOMAZINI; ALBUQUERQUE, 2005). Desta forma temos um sinal de tensão que indica posição da válvula e pode ser lido pelo controlador do sistema.

Através do software de aquisição de dados PLX-DAQ® foi realizada a coleta de dados com a finalidade de traçar o sinal da posição da válvula desde totalmente fechada até sua abertura total, resultando na reta demonstrada na Figura 2, comprovando a linearidade do sensor.

Figura 2 – Curva resposta da posição do sensor

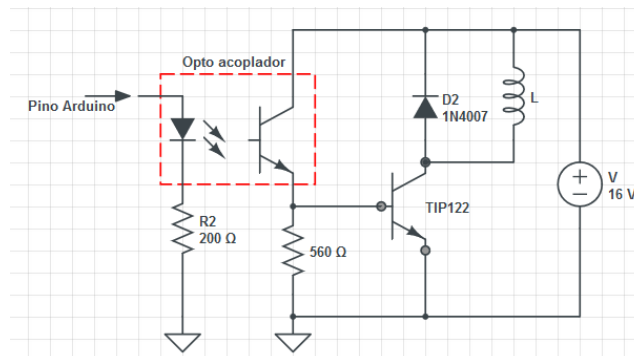


Fonte: Autoria Própria (2019).

DRIVER DE POTÊNCIA

O controlador do protótipo é o micro controlador ATMEGA328 da plataforma Arduino®, este não possui potência suficiente para acionar o motor de passo que funciona com uma tensão de 16V e 500mA. O motor de passo é do tipo unipolar e para obter torque suficiente, e baixo consumo de energia elétrica, o método de acionamento utilizado exige que seja energizada uma bobina a cada passo. Assim para cada bobina do motor há um respectivo circuito como o demonstrado na Figura 3.

Figura 3 – Circuito de acionamento de uma das bobinas do motor de passo



Fonte: Autoria Própria (2019).

O controlador utilizado em nosso kit não apresenta as características de um Controlador Lógico Programável (CLP) usado em ambientes industriais, uma dessas características é a imunidade a interferências eletromagnéticas (FREITAS, 2013). As interferências eletromagnéticas são campos ou ondas eletromagnéticas que podem afetar o funcionamento de aparelhos elétricos, são geradas a partir de circuitos de potência, lâmpadas, motores e outros, destaca Sanches (2007). Pomilio (1998) observou que de acordo com os manuais de especificações técnicas o acoplamento óptico apresenta a vantagem da mitigação de interferências eletromagnéticas além da isolação de potencial. Por isso optou-se pela utilização de acoplamento óptico entre a etapa de controle e potência do circuito, e assim diminuir interferências eletromagnéticas provenientes do motor da válvula que pudessem causar falhas no desempenho do controlador. O componente utilizado para acoplamento óptico foi o 817A, sua simbologia é destacada pelo bloco em vermelho na Figura 3.

CONTROLADORES E IMPLEMENTAÇÃO

Na indústria e em vários tipos de processos são utilizadas tecnologias para otimizar a qualidade dos produtos bem como a aumentar a quantidade produtiva das linhas de montagem ou processos fabris. A inteligência artificial vem sendo empregada para ajustar os ganhos e melhorar o desempenho dos controladores, como o Fuzzy PID (OSINSKI; LEANDRO; OLIVEIRA 2019). Assim evidencia-se a aplicação do controlador PID e a necessidade do seu estudo e compreensão, desde sua forma mais básica até aplicações com inteligência artificial.

A função de transferência para o controlador PID é dada pela equação (1), adaptada de Castrucci, Bittar e Sales (2011).

$$C(s) = k_p \left(1 + \frac{1}{sT_i} + sT_d \right) \quad (1)$$

Onde K_p é o ganho proporcional e T_i e T_d correspondem, respectivamente aos tempos integral e derivativo.

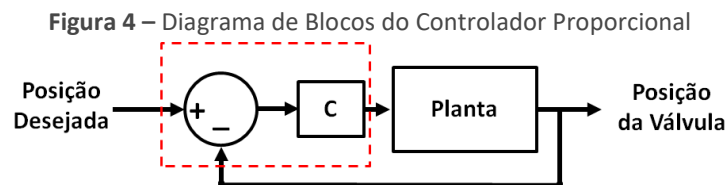
Cada uma dessas constantes resulta em uma ação de controle sobre o sistema.

K_p – aumenta a velocidade de resposta;

T_i – Reduz ou elimina o erro de regime permanente;

T_d – Prevê erros futuros e evita oscilações no sistema.

Baseando-se na equação (1) se usarmos apenas a constante K_p e removermos os termos com as constantes T_i e T_d teremos uma topologia de controle com ação apenas proporcional. Trata-se de um tipo de controle muito comum aplicado a sistemas de automação muito simples. A Figura 4 abaixo ilustra um diagrama de blocos de um controlador deste tipo.



Fonte: Adaptado de Castrucci, Bittar e Sales (2011).

Para controlar a saída da planta em malha fechada é necessário aplicar, após devida correção feita pelo controlador "C", à sua entrada o sinal de erro. O erro é a diferença entre a Posição desejada e a Posição atual da Válvula, gerado através do comparador.

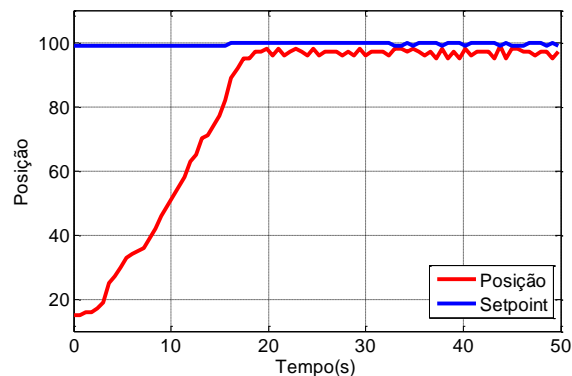
Normalmente controlador e o circuito comparador são implementados em um único equipamento ou programa computacional (CASTRUCCI; BITTAR; SALES, 2011).

IMPLEMENTAÇÃO E AQUISIÇÃO DE DADOS

Todo o sistema de controle e aquisição de dados foi implementado na plataforma Arduino® com interface no Excel realizada através do software PLX-DAQ®.

Os primeiros testes foram realizados com controlador proporcional. A Figura 5 apresenta os resultados da resposta do sistema ao degrau.

Figura 5 – Resposta ao degrau para controlador P



Fonte: Autoria Própria (2019).

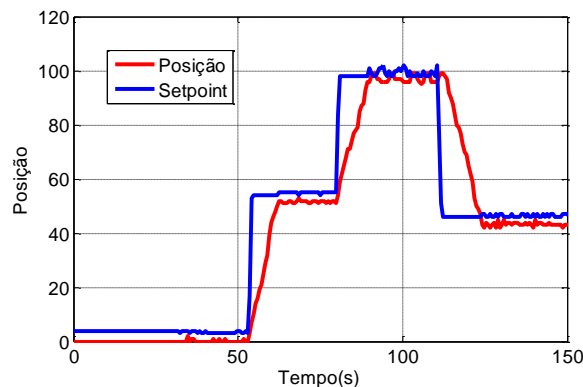
Na Figura 5 a válvula parte da posição 15 e estabiliza em 99, nota-se que existe um erro de regime permanente, pois a posição desejada é 100.

O sistema não estabiliza no *setpoint* e sim em um valor próximo, esse erro é chamado de *offset* e é característico de um controlador de ação proporcional.

Nota-se também oscilações no valor do próprio *setpoint*, esta oscilação é decorrente do ruído presente no potenciômetro que define o ajuste deste valor.

Com a finalidade de se observar a reação do sistema a diversas variações, foram realizados outros testes, variando-se a amplitude do degrau. Os resultados são apresentados na figura 6.

Figura 6 – Resposta a variações de degrau para controlador P



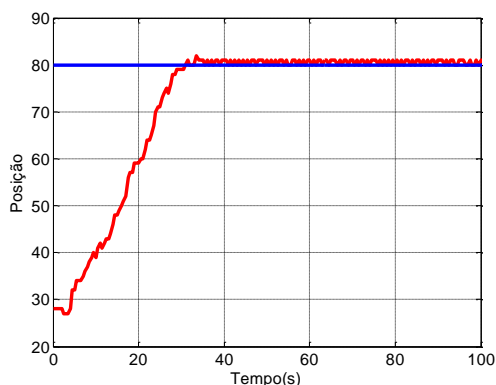
Fonte: Autoria Própria (2019).

Na figura 6 observamos a velocidade da resposta do sistema com a mudança do *setpoint*. Com isso podemos deduzir que este sistema não é recomendado para processos que exijam tempos de respostas da ordem de milissegundos, ou até alguns segundos a depender da amplitude desejada.

Na tentativa de se eliminar o erro de regime permanente e atenuar as oscilações do sistema optou-se pela implementação de um controlador PID.

Testes realizados com o controlador PI não se mostraram satisfatórios por apresentar uma faixa relativamente alta de oscilação em torno do *setpoint*. A Figura 7 apresenta a resposta do sistema com um controlador do tipo PID.

Figura 7 – Resposta ao degrau para controlador PID

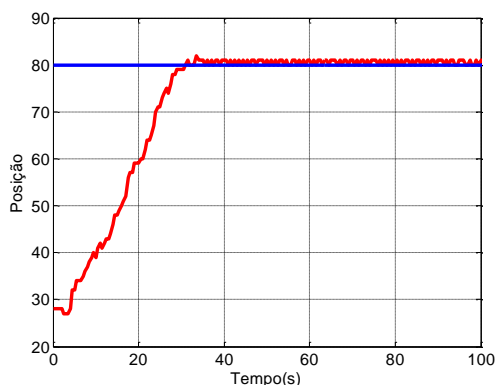


Fonte: Autoria Própria (2019).

Note que, o erro em regime permanente é quase que nulo, apesar de ter aspecto ruidoso o sinal de resposta apresenta baixíssima oscilação, como esperado.

De forma análoga ao processo realizado com controlador P a Figura 8 apresenta a resposta do controlador PID onde o mesmo foi submetido a variações no *setpoint*.

Figura 7 – Resposta a variações de degrau para controlador PID



Fonte: Autoria Própria (2019).

Nota-se que o sistema de controle PID corresponde de forma satisfatória, apresentando uma pequena oscilação em torno do *setpoint*.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A concepção de um kit didático para aplicação de um controlador na posição de uma válvula proporcional requer várias quebras de paradigmas, o principal é de necessidade em se sair do ambiente sala de aula e ir para um laboratório experimental, pois a estrutura de montagem do protótipo requer um espaço maior e apropriado para tal atividade. É importante enfatizar que o mesmo fundamenta conteúdos acadêmicos que estão em consonância com o plano pedagógico (PP) que contemplam disciplinas de eletrônica, instrumentação e controle, tendo o foco à elevar a absorção do conhecimento científico com situações de ensino aprendizagem que serão rotina profissional dos alunos após a obtenção do grau de estudo.

Foi verificado após diversos testes efetuados que o desenvolvimento de um kit didático vem no cenário contemporâneo tecnologicamente viável, como mais uma alternativa de instrumento para a formação científica profissionalizante, sobretudo das competências que fundamentam tais conceitos e percepções didáticas contidas nos PPs, pois estimula os alunos a participarem ativamente das aulas e a dinâmica do professor com os alunos fica mais clara durante a explanação dos conteúdos. Além disso, é fundamental à aplicação da interdisciplinaridade tornando o aluno mais apto ao mercado de trabalho.

No tocante aos resultados obtidos, observa-se que a proposta do kit didático de um controlador PID aplicado no controle da posição de uma válvula é importante, pois facilita aos docentes ilustrarem na prática o funcionamento de um sistema de controle, bem como executar a prototipagem dentro das bases tecnológicas da disciplina automação industrial, instrumentação e controle de processos. Além disso, o controle de posição de uma válvula proporcional é extremamente importante em ambientes industriais para poder atender características desejadas de vazão, pressão, temperatura e etc. Conhecer esses conceitos, mesmo que através de um kit, proporciona ao aluno poder enxergar a teoria na prática que influenciará positivamente no seu desenvolvimento profissional.

Como sugestão em trabalhos futuros enfatiza-se a fundamentação teórica e sistêmica de práticas e procedimentos experimentais padronizados a serem efetuados nas disciplinas, para que os alunos tenham uma padronização durante a concepção das práticas experimentais, sendo uma espécie de passo a passo para montar as partes do projeto experimental com o kit didático.

Development of didactic kit for industrial controllers applied to proportional valve position control

ABSTRACT

This paper presents the development of a didactic kit to assist in the disciplines of automation, instrumentation and industrial control. Applying the controllers in a proportional valve prototype, the aim is to obtain the best topology. As well as the application of interdisciplinarity in the curriculum of courses, also enabling the absorption of scientific knowledge with practical situations. The results presented are from the proportional (P) and proportional, integral and derivative (PID) controllers, commonly found in industrial plants. Through a potentiometer it is possible to select the desired position and with a position sensor coupled to the valve shaft the system controller performs the adjustment. The setpoint can be modified online. The data acquisition and control system is made on the Arduino® platform, the data is acquired with the aid of the PLX-DAQ® software, also bringing a proposal for the use of the software and free hardware..

KEYWORDS: PID controller. Proportional valve. Interdisciplinarity.

REFERÊNCIAS

CASTRUCCI, P. L.; BITTAR, A.; SALES, R. M. **Controle Automático**. Rio de Janeiro: LTC LTDA, 2011.

CITISYSTEMS. **O que é Automação**. 2013. Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/o-que-e-automacao-industrial/>. Acesso em: 10 jan. 2018.

FREITAS, C. M. **CLP – Controlador Lógico Programável**: Parte 1. 2013. Disponível em: <https://www.embarcados.com.br/clp-parte1/>. Acesso em: 24 jun. 2020.

GOMES, F. J.; SILVEIRA, M. A. Experiências pedagógicas. In: AGUIRRE, Luis Antonio. **Enciclopédia de Automática**: Controle & Automação. São Paulo, SP: Blucher, 2007. v. 1, p. 35-56.

GOMES, F. J. *et al.* Módulo laboratorial de baixo custo, baseado em FOSS, para educação em engenharia de controle de processos Industriais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 29., Blumenau, 2011. **Anais [...]** Blumenau: FURB, 2011.

MÁXIMO, P. H. M. *et al.* Desenvolvimento de um kit didático para utilização em aulas de laboratório de controle e automação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 29., Blumenau, 2011. **Anais [...]** Blumenau: FURB, 2011.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. 3. ed. São Paulo: LTC, 1998.

OSINSKI, C.; LEANDRO, G. V.; OLIVEIRA, G. H. C. Fuzzy PID Controller Design for LFC in Electric Power Systems. **IEEE Latin America Transactions**, v. 17, p. 147-154, 2019.

PARAÍBA. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB). Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia de Controle e Automação (PPCECA-IFPB). 2018. Disponível em: <https://estudante.ifpb.edu.br/media/cursos/208/documentos/ppcEngDeControle.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2020.

PARAÍBA. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB). Projeto Pedagógico do Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial (PPCSTAI-IFPB). 2017. Disponível em: <https://estudante.ifpb.edu.br/media/cursos/15/documentos/PPC-2017.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2020.

PARAÍBA. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB). Projeto Pedagógico do curso de Engenharia Elétrica (PPEE-IFPB). 2011. Disponível em: <http://editor.ifpb.edu.br/campi/joao-pessoa/cursos/cursos-superiores-de->

[bacharelado/engenharia-eletrica/ementas/EE-IFPB-v11-MAI-15.pdf/view](#). Acesso em: 24 jun. 2020.

PARAÍBA. Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Projeto Pedagógico do curso de Engenharia Elétrica (PPEE-UFPB). 2008. Disponível em: <http://www.cear.ufpb.br/arquivos/ee/pppEletrica.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2020.

POMILIO, J. A. **Componentes semicondutores de potência**. 1998. Disponível em: <http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/htmlfile/harmo/fpcap3/cap3.html>. Acesso em: 22 jan. 2020.

SANCHES, D. **Interferência Eletromagnética**. Rio de Janeiro, RJ: Interciência, 2007.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. **Sensores industriais: fundamentos e aplicações**. São Paulo, SP: Érica, 2005.

Recebido: 13 abr. 2020.

Aprovado: 06 jun. 2020.

DOI: <http://dx.doi.org/10.3895/etr.v4n1.11970>.

Como citar:

SILVA, E. S.; SILVA, J. P.; SOUSA, M. H. S.; SILVA, R. F. Desenvolvimento de kit didático de controladores industriais aplicados ao controle de posição de válvula proporcional. **Ens. Tecnol. R.**, Londrina, v. 4, n. 1, p. 68-78, jan./jun. 2020. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/etr/article/view/11970>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Elves Sousa e Silva

Instituto Conceição Moura, Rua Sebastião Rodrigues da Costa, 1040, Bairro São Pedro, Belo Jardim, Pernambuco, Brasil.

Direito autoral:

Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

