



MÓDULO LABORATORIAL BASEADO EM FOSS PARA EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE COM A ESTRATÉGIA P²BL

Francisco J. Gomes – chico.gomes@ufjf.edu.br

Paulo C.R. Marciano – paulo.ribeiro@engenharia.ufjf.br

Fernando C.G. Monteiro – fernando.monteiro@engenharia.ufjf.br

Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, Engenharia Elétrica.

Campus Universitário - Bairro Martelos

CEP: 36036-900 - Juiz de Fora, Minas Gerais.

Resumo: O trabalho realizado envolveu o projeto e montagem de um módulo laboratorial com o objetivo de contribuir para a educação em engenharia de controle nos cursos de graduação. Baseando-se em um ambiente computacional desenvolvido em Free Open Source Software - FOSS, no caso JAVA®, possibilita interatividade total do usuário com o módulo, envolvendo diversos procedimentos para modelagem e controle digital de um pêndulo amortecido. Seu aspecto diferencial de maior relevo, contudo, reside no projeto de sua utilização, pois incorpora funcionalidades que facilitam a adoção de novas metodologias ativas na relação ensino-aprendizagem, mais especificamente uma postura híbrida P²BL. O módulo integra o Laboratório de Processos Industriais da Faculdade de Engenharia da UFJ, sendo acessível para aplicações nas disciplinas que envolvam sistemas de controle.

Palavras-chave: Educação em engenharia, Aprendizagem Ativa, P²BL, Software livre (FOSS), Controle de processos.

1. INTRODUÇÃO

A política de expansão das universidades, dentro do Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais - Reuni (BRASIL, 2007), forneceu oportunidade ímpar para que o curso de Engenharia Elétrica da UFJF, que formava engenheiros eletricitistas de caráter generalista, respondesse às novas demandas sociais e passasse a oferecer distintas Habilitações, a saber: Sistemas Eletrônicos, Sistemas de Potência, Robótica e Automação Industrial, Telecomunicações e Energia (PROJETO, 2009). Nesta reestruturação, estabeleceu-se que os egressos da Habilitação em Robótica e Automação Industrial deverão possuir "capacidade de projetar, analisar e operar sistemas de automação e controle de processos industriais, sistemas elétricos industriais e sistemas de conversão de energia baseados em conversores eletrônicos de potência" (PROJETO, 2009).

A decisão, contudo, levantou questões associadas à necessidade de se repensar os procedimentos e posturas metodológicas de ensino-aprendizagem praticadas no curso, especialmente aquelas conectadas à área de automação e controle pois refletem, na atualidade, experiência incipiente na área, especialmente as associadas às práticas laboratoriais,

Realização:

 **ABENGE**

Organização:



**O ENGENHEIRO
PROFESSOR E O
DESAFIO DE EDUCAR**



decorrente dos conteúdos até então trabalhados no curso, cujo foco principal tem sido ligados à área de sistemas elétricos de potência (GOMES & SILVEIRA, 2007; GOMES & CARVALHO, 2006). A necessidade de renovação dos procedimentos e posturas pedagógicas é muito bem sintetizada por Dormido (BENCOMO, 2002), que coloca "estar convencido que, como educadores, devemos ter uma atitude aberta e incorporar sensivelmente o desenvolvimento tecnológico [em nossas práticas pedagógicas], pois caso contrário correremos o risco de ensinar os alunos de hoje como resolver os problemas do amanhã com ferramentas de ontem." Observa ainda que "embora a tecnologia mude rápido, a educação em engenharia de controle se desenvolve de forma bem mais lenta" e, como consequência, sugere que suas mudanças levem em consideração os seguintes aspectos (BENCOMO, 2002):

- A educação em engenharia de controle possui, atualmente, abordagem muito estreita, com foco nos aspectos matemáticos da síntese de controladores;
- É necessário atribuir maior importância ao ciclo completo do projeto de controladores;
- A modelagem e identificação dos processos a serem controlados constituem fatores essenciais para bons projetos de sistemas de controle;
- A educação em engenharia de controle deve equilibrar, de forma inequívoca, as experiências laboratoriais com os conteúdos teóricos.

Ao se pensar alternativas para a educação em controle de processos na nova habilitação proposta - Robótica e Automação Industrial - buscou-se seguir essas diretrizes, estabelecendo posturas, métodos e práticas condizentes com uma nova visão pedagógica, porém factível sob os aspectos operacionais, especialmente os custos associados, fator sempre presente, e impeditivo, de diversas ações no cotidiano das universidades. Desenvolveu-se então um módulo laboratorial, juntamente com as práticas associadas, integrando aspectos como:

- Possibilita a utilização de práticas clássicas e avançadas de modelagem e identificação de sistemas, processos e equipamentos industriais;
- Permite interatividade entre os procedimentos teóricos, fundados nos cálculos matemáticos, e sua aplicabilidade prática;
- Reflete as complexidades presentes, na atualidade, nos processos industriais e vivenciadas pelos engenheiros de controle, como não linearidades, processos subamortecidos, manipuladores robóticos;
- Características de portabilidade, replicabilidade, simplicidade de manuseio e, principalmente, custos de produção e utilização factíveis.

O desenvolvimento do módulo originou-se no fato, de amplo conhecimento, que a necessidade de um aprendizado laboratorial é crucial, e altamente relevante, pois a graduação em engenharia necessita de experimentos práticos realizados em laboratórios didáticos, que constituem um dos fundamentos básicos para a assimilação dos conceitos tanto em controle como também nas diversas áreas de ensino.

O presente trabalho relata o desenvolvimento e a construção do módulo didático, aplicável à área de controle e automação de processos: o clássico problema do pêndulo amortecido, largamente utilizado como *benchmark* na educação em controle. A presente proposta, contudo, apresenta aspectos distintivos e inovadores que a diferenciam de um mero projeto didático de construção de um módulo. Inicialmente, há que se colocar a opção pela utilização de ferramentas FOSS - "*Free Open Source Software*" -, como a linguagem JAVA, base para o desenvolvimento de uma interface gráfica amigável, interativa, que incorpora elementos que possibilitam a utilização de metodologias ativas de aprendizagem, fundamentais para formação de um perfil profissional atual, e adequado, às demandas colocadas pela sociedade. O ambiente supervisorio, disponibilizado na forma de interface



gráfica amigável, permite total interatividade com o módulo, selecionando os procedimentos para identificação do sistema, as estruturas dos controladores utilizados, técnicas de controle adicionais, tais como sintonia dos controladores P+I+D, técnicas de compensação dinâmica e controle digital. Os componentes de hardware utilizados no módulo foram selecionados seguindo a mesma diretriz definida para o software, ou seja, sistemas abertos, que podem ser utilizados e replicados sem restrições. A placa de comunicação, necessária à interligação entre o computador e o módulo, baseou-se na plataforma “*ArduinoUNO*”, um sistema hardware/software livre de restrições, que incorpora o microcontrolador “*ATmega328P*”.

O aspecto diferencial de maior relevo do módulo projetado, contudo, reside no projeto de sua utilização, e para o qual o supervisor foi projetado, incorporando funcionalidades que facilitam a adoção de metodologias ativas na relação ensino-aprendizagem, mais especificamente uma postura híbrida P²BL (HAMILTON, 2008). Nesta proposta, os modelos instrucionais de Aprendizagem Baseada em Problemas - PBL e Aprendizagem Baseada em Projetos - PjBL são integradas e utilizadas como suporte ao processo ensino - aprendizagem. Busca-se, com isto, trabalhar as componentes do perfil profissional dos egressos incorporando, ao conhecimento técnico, competências para melhorar sua capacidade para resolver problemas de engenharia, o trabalho em equipes e a aprendizagem interdependente e contínua (BERNSTEIN, 1999). O PBL pode ser definido como um conjunto de problemas não estruturados, e cuidadosamente construídos, apresentados aos estudantes que, em pequenos grupos, efetuam sua discussão, identificam o conhecimento prévio existente para solucioná-lo, o que não é conhecido e como buscar as informações que faltam para sua solução. A literatura sugere que os pontos fortes do PBL, como uma técnica de ensino, são a maior regularidade e interesse dos alunos, melhor transferência da informação e aprendizagem de forma mais eficaz. Já o PjBL tem suas raízes nas Faculdades de Engenharia, trabalhando com o desenvolvimento de um projeto. As duas metodologias compartilham pontos em comum: ambos possuem foco nos alunos; os estudantes trabalham em tarefas reais, utilizam procedimentos efetivos de avaliação e requerem aprendizagem colaborativa, com o professor tornando-se um facilitador. A diferença, se houver, é na ênfase: enquanto no PjBL é na produção de um produto concreto, significativo - um modelo, um protótipo, uma simulação - no PBL o processo de discussão do problema é muitas vezes mais importante que o produto real. Normalmente, ambas as técnicas instrucionais visam desenvolver um amplo conjunto de competências, incluindo a capacidade de resolver problemas, trabalhar em equipes e aprendizado interdependente.

O artigo está estruturado como segue: a seção 2 apresenta a Metodologia, a seção 3 o desenvolvimento do projeto e a 4 os Resultados. As conclusões, na seção 5, encerram o trabalho.

2. METODOLOGIA

O módulo proposto teve como componente mecânico um pêndulo amortecido, composto de uma haste de alumínio e um motor *DC Brushless*, com uma hélice em sua extremidade, o que permite seu deslocamento, de acordo com a rotação do motor. Trata-se de um sistema clássico de controle que permite observar os diversos comportamentos associados a um sistema dinâmico, não linear, possibilitando mudanças de referência e perturbações de carga. A visualização, análise e compreensão de importantes conceitos associados à engenharia de controle, como estabilidade, realimentação e compensação dinâmica podem ser abordadas de forma prática e de fácil entendimento, mesmo para aqueles que têm o primeiro contato com as disciplinas da área.



2.1. Descrição do sistema mecânico

O pêndulo consiste de uma barra de alumínio, posicionada na vertical, engastada em sua extremidade superior, onde instalou-se um potenciômetro de precisão, *Vishay Spectrol, modelo 357* da VISHAY®, que fornece informações de sua posição angular. O atuador é um motor *Brushless DC, modelo CF2822* da EMAX® que, com um *ESC Mystery* e uma hélice, funciona como sistema propulsor, localizado na extremidade inferior do pêndulo (Figura 1).



Figura 1 – Pêndulo amortecido

Através da técnica *Pulse Width Modulation - PWM* é possível alterar a tensão de alimentação do motor, variar sua rotação e modificar a posição angular da barra devido ao giro da hélice e o torque gerado. O objetivo desejado é posicionar a barra em um ângulo especificado, ou seguir uma trajetória desejada, de acordo com a demanda existente, realizar as correções através da rejeição dos distúrbios entrando no sistema.

O ambiente supervisorio desenvolvido em JAVA possibilita a configuração e operação do módulo, podendo realizar a alteração das variáveis de controle, em malha aberta e /ou fechada, para a identificação dos modelos dos processos e sintonia de controladores. Ao se inicializar o ambiente supervisorio, é apresentada a interface que solicita do usuário, inicialmente, o procedimento a ser utilizado. Caso a opção seja de identificação do modelo do processo, distintas opções são disponibilizadas, podendo-se utilizar a resposta ao degrau, a resposta ao impulso ou o método dos mínimos quadrados recursivos (Figura 2). Caso a opção seja pelo controle, o sistema disponibiliza diversas opções: controle P, controle PD, controle PI, controle PID, controle PID com auto sintonia, controle adaptativo e PPID (SILVEIRA, 2012). De acordo com as demandas existentes, o supervisorio abre opções para os usuários, englobando os aspectos de modelagem, identificação, controle e otimização dos controladores projetados, baseada em figuras de mérito.

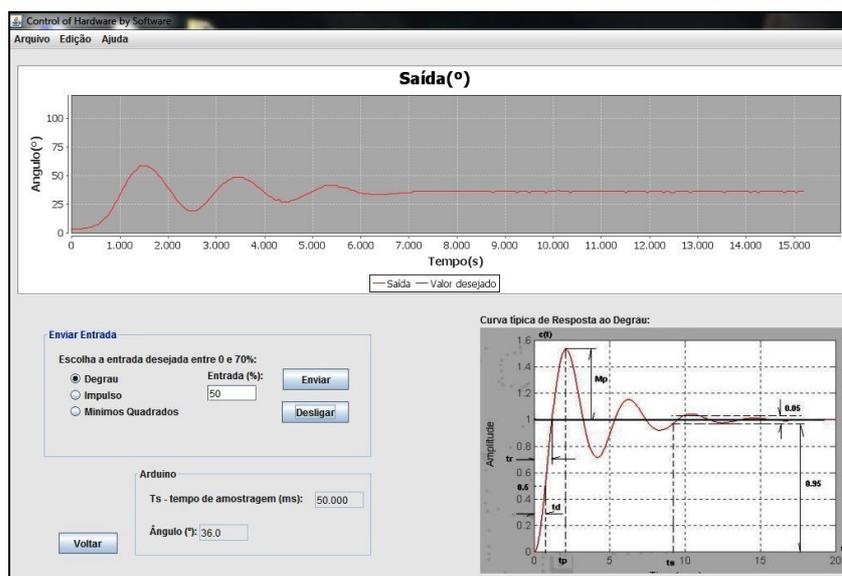


Figura 2 - Tela do Supervisório: identificação do processo

Para os controladores disponibilizados, o usuário pode sintonizar os parâmetros em tempo real, se for o caso, além de introduzir mudanças de referências e perturbações (Figura 3).

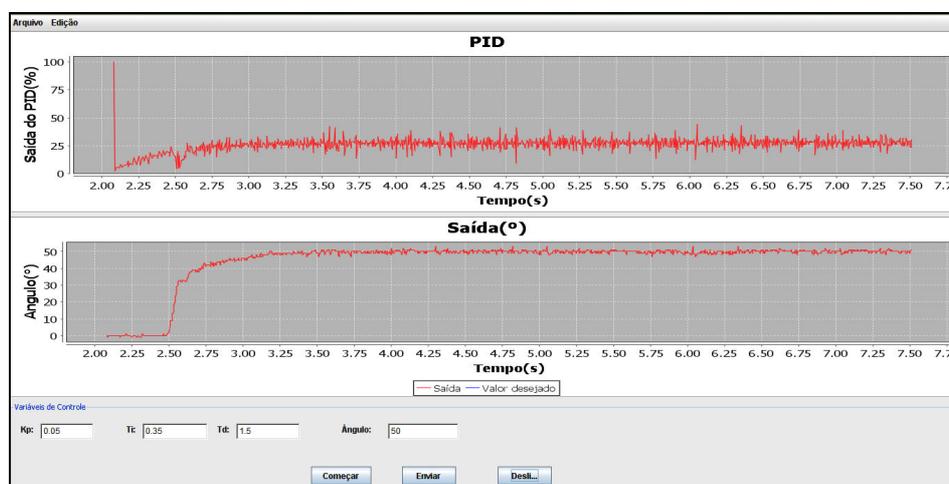


Figura 3 – Interface gráfica do controlador PID

A aplicabilidade de cada controlador torna-se mais clara e passa a ter significado prático, facilitando a interpretação dos procedimentos utilizados e possibilitando melhor assimilação dos conteúdos técnicos empregados pelos usuários. Para consolidar o embasamento teórico, o ambiente disponibiliza também uma interface de ajuda que, além de esclarecer as funcionalidades do programa, fornece textos explicativos sobre os controladores.

O módulo laboratorial proposto e desenvolvido proporciona uma oportunidade de inserir os alunos em um ciclo completo do projeto de controladores, lidando com complexidades associadas ao controle de processos, bem como a utilização de procedimentos de aprendizagem ativa, tipicamente a postura híbrida P²BL. O esquema abaixo demonstra o diagrama de funcionamento do sistema (Figura 4).

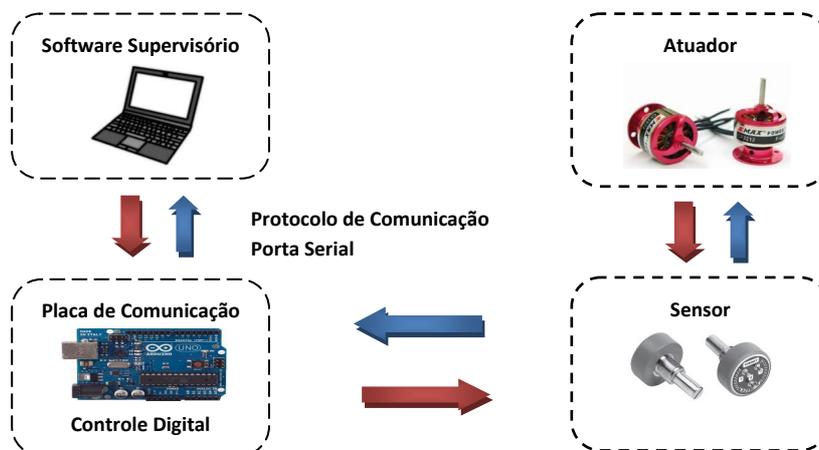


Figura 4 – Diagrama esquemático do sistema

3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

3.1. Ambiente Gráfico (GUI)

O ambiente gráfico utilizada no sistema foi desenvolvido com a linguagem orientada a objetos JAVA, uma ferramenta FOSS, juntamente com o ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) *NetBeans IDE*, compilador gratuito e de código aberto. Desenvolveu-se, inicialmente, a classe responsável pela comunicação serial entre o computador e a plataforma “*ArduinoUNO*”; outra classe recebeu a responsabilidade de traçar os gráficos da resposta do controlador e da saída (ângulo) da planta. Diversas outras classes auxiliares foram também adicionadas, gerando o sistema supervisorio final, com todas as funcionalidades integradas.

3.2. Placa de comunicação

A comunicação entre o computador e o controlador, que exerce o controle da malha é realizada no sistema através da plataforma “*ArduinoUNO*” (Figura 5), um hardware livre de restrições, com o microcontrolador *ATmega328p* caracterizado com 14 pinos de entrada/saída digitais, dos quais 6 podem ser utilizados como saídas PWM, 6 entradas analógicas, um cristal oscilador de 16 MHz, uma conexão USB (possui um “*ATmega16U2*” programado como um conversor USB para serial), e um botão *reset*. Esta plataforma opera com uma linguagem de programação similar ao C/C++ padrão, com pequenas modificações.

O microcontrolador é responsável por, realizar a leitura do sensor, efetuar os códigos de controle, bem como configurações dos diversos parâmetros associados aos controladores, enviando então os dados ao computador, que também transmite, de forma mútua, os comandos realizados na interface gráfica, possibilitando mudanças em tempo real através da GUI. Como resultado, uma das saídas PWM efetua o controle da velocidade do motor com a hélice, alterando o torque no pêndulo para se alcançar a posição de referência desejada.



Figura 5 – Placa de comunicação

4. PROPOSTAS P²BL PARA UTILIZAÇÃO DO MÓDULO

Como abordado na Introdução, a proposta subjacente ao desenvolvimento do módulo foi a possibilidade da inserção de funcionalidades e características que facilitassem sua utilização como suporte às metodologias ativas de aprendizagem, mais especificamente posturas híbridas P²BL (HAMILTON, 2008). Nesta postura, o procedimento se inicia com a colocação de um problema para os alunos, divididos em equipes, que passam por um processo de discussão e reflexão sobre a temática colocada, sob a supervisão de um professor tutor ou facilitador. Em sua formulação clássica, o processo envolve sete etapas (GRAAFF & KOLMOS, 2003), a saber:

- clarificar os conceitos;
- definir o problema;
- analisar o problema;
- encontrar explicação preliminar;
- formular objetivos de aprendizagem;
- pesquisar por informações adicionais;
- elaborar relatório e testar novas informações.

Nesta diretriz, a proposta é colocar, para os alunos, um problema inicial, o qual deverá apresentar características específicas (SOCKALINGAM, 2010) de forma a despertar o seu interesse, motivá-los e ensejar uma oportunidade para a formação dos conhecimentos técnicos e as competências transversais desejadas. Considerando que os alunos participantes destas atividades laboratoriais já devem possuir os conhecimentos básicos da teoria de controle, os objetivos educacionais colocados para os alunos envolvidos nesta proposta seriam, por exemplo, desenvolver os conceitos e práticas de modelagem e identificação de processos, cálculo e aplicação de compensadores de atraso, avanço e atraso-avanço, projeto e sintonia de controladores P + I + D, estudo e aplicação de estratégias avançadas de controle.

Será apresentada, a título de exemplo, uma proposta para utilização do módulo, dentro da estratégia P²BL, com ilustração do resultado que os alunos devem conseguir, ao final do projeto do controlador. Deve-se, inicialmente, apresentar o problema ao grupo, na forma de uma questão não estruturada, complexa, associada à realidade da prática do engenheiro. Uma proposta seria a colocação, para o grupo, da seguinte situação:

"Vocês acabam de ser aprovados no processo seletivo para trabalharem como engenheiros da nova fábrica automotiva que se instalou na cidade. A fábrica está montando sua linha de produção utilizando manipuladores robóticos e um destes manipuladores robóticos da linha de montagem deve executar as seguintes atividades:

- partindo da posição vertical de repouso (correspondente a 0^o), executar um deslocamento até alcançar 50^o para realizar uma solda; este deslocamento deve ocorrer em um intervalo de 3 segundos;



- a seguir, partindo desta posição de 50° , o manipulador deve executar novo deslocamento até alcançar 75° para realizar outra solda; este deslocamento deve ocorrer em um intervalo máximo de 01 segundo;

- na seqüência, partindo da posição de 75° , o manipulador deve executar novo deslocamento até alcançar 25° para realizar uma terceira solda; este deslocamento deve ocorrer em um intervalo máximo de 02 segundos;

A tarefa de sua equipe é projetar e implementar um sistema de controle para realizar estes deslocamentos".

A solução do projeto proposta exigirá que os alunos tenham o domínio de conceitos técnicos tais como teorias e práticas de modelagem e identificação de processos, cálculo e aplicação de compensadores dinâmicos, projeto e sintonia de controladores P + I + D e estudo e aplicação de estratégias avançadas de controle. A obtenção do entendimento dessas necessidades advirá das atividades desenvolvidas através das "sete etapas" citadas (GRAAFF & KOLMOS, 2003) onde os grupos, sob a orientação do professor tutor, deverão discutir as seguintes diretrizes:

- Quais os conhecimento necessários para execução do projeto de controle para o "manipulador robótico" (módulo)?

- Quais as opções para se projetar o controle, e quais as informações necessárias?

- Como obter, identificar e validar um modelo dinâmico para o "manipulador robótico"?

- Tendo-se o modelo, como projetar o controlador para o manipulador, utilizando o modelo obtido?

- Existem alternativas para projetar o controlador, caso o modelo do manipulador não esteja acessível?

- Como sintonizar o controlador para que o manipulador responda de acordo com as especificações existentes?

Tabela 1 – Conhecimentos Técnicos Associados às Questões Colocadas

QUESTÕES	CONHECIMENTOS ASSOCIADOS
Conhecimento necessários à execução do projeto de controle	Dinâmica de processos, Compensadores Dinâmicos, PID, Identificação de Sistemas, Sintonia, Figuras de Mérito
Opções para se projetar o controle e informações necessárias	Modelo Dinâmico, Compensadores Dinâmicos, Lugar das Raízes, Resposta em Frequência, PID
Identificação e validação de um modelo dinâmico	Resposta em Frequência, Resposta temporal, Estimação Paramétrica
Projeto do controlador utilizando o modelo obtido	Compensadores Dinâmicos, PID, Figuras de Mérito, Sintonia
Alternativas para projetar o controlador, sem modelo acessível	Procedimentos Heurísticos, Sintonias Heurísticas
Procedimentos de sintonia de acordo com as especificações existentes	Lugar das Raízes, Resposta em Frequência, Procedimentos Heurísticos, Figuras de Mérito



Estas questões devem ser encaminhadas, nas discussões, com a supervisão do professor tutor, que possui papel fundamental neste processo, funcionando como facilitador. O ideal é que os tópicos sejam discutidos e apresentados em forma de tutoriais, elaborados pelos próprios alunos, sistematizando as conclusões a que chegaram. Os tópicos colocados acima como exemplo, estão associados à determinados conteúdos conceituais, que devem ser apreendidos e/ou reforçados pelos alunos, associados à solução dos problemas colocados, conforme pode se ver na Tabela 1.

Uma vez estabelecidas as bases conceituais e procedimentos através das discussões e estudos em grupos tutoriais, a proposta é o desenvolvimento do projeto e implementação do controlador, complementando a postura híbrida P²BL, como proposta. Nesta etapa, o processo segue a mesma diretriz do trabalho em grupos tutoriais, sob a supervisão do professor tutor, porém agora o foco é na elaboração do projeto e a obtenção do produto final (BOSS & KRAUSS, 2007), no caso o controlador desejado.

A título de ilustração do potencial do módulo, a Figura 6 mostra um possível resultado que pode ser obtido, utilizando-se o projeto de um controlador PID; verifica-se que a dinâmica final do manipulador atende perfeitamente as especificações colocadas para o projeto. Pode-se observar, na parte superior, a ação do controlador PID atuando sobre o módulo, cuja dinâmica final atende às condições solicitadas.

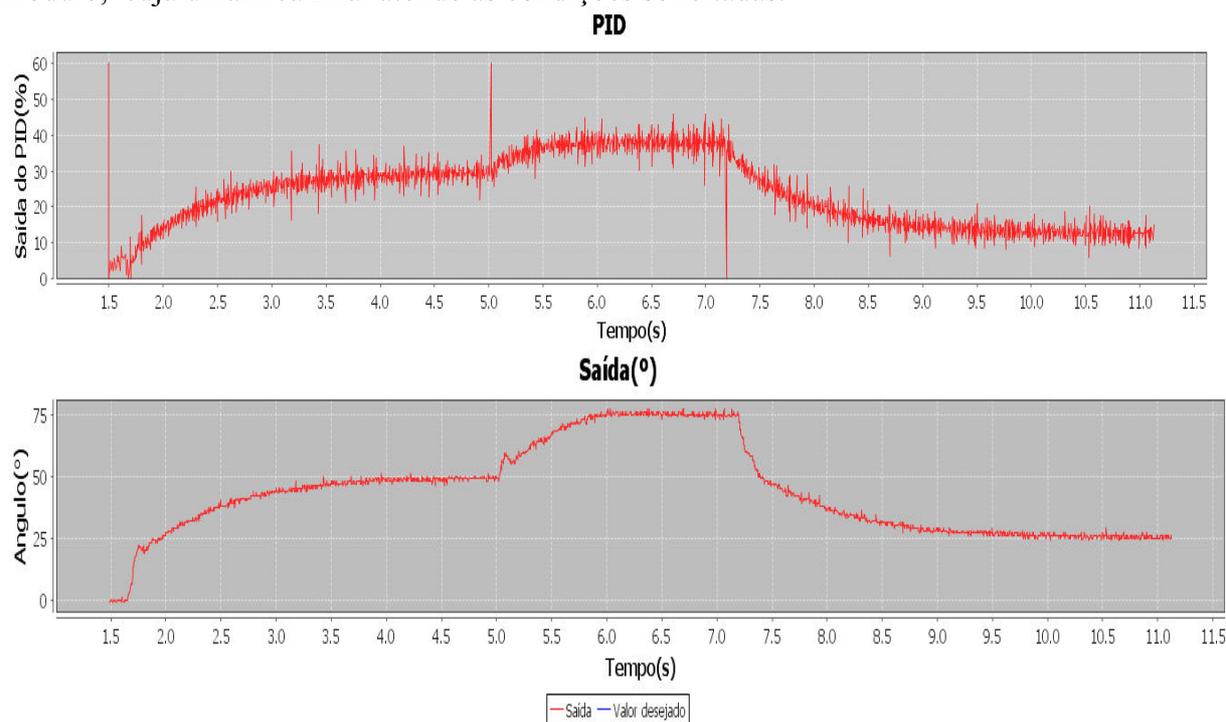


Figura 6 - "Manipulador" seguindo a trajetória colocada como "problema"

Ainda a título de exemplo, outro "problema" pode ser ilustrado. Neste caso, o manipulador deve, partindo da posição de repouso, alcançar determinado ângulo em um tempo estipulado (por exemplo, 50° em um intervalo de 6 segundos) e, nesta posição, realizar dois esforços de torque na linha de produção, porém mantendo seu posicionamento em 50°. A Figura 7 apresenta um resultado que pode ser obtido com o desenvolvimento do projeto.

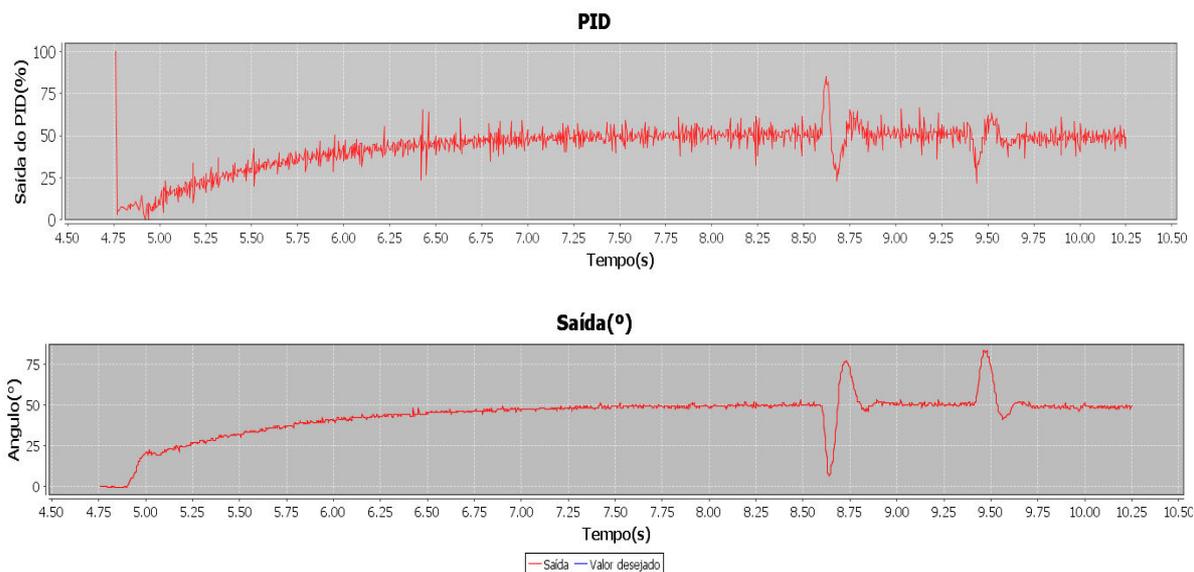


Figura 7 – Manipulador executando esforços em 50°

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou um módulo laboratorial, desenvolvido para a Habilitação de Robótica e Automação do curso de Engenharia Elétrica da UFJF. Seu desenvolvimento levou em consideração as necessidades integrantes do perfil profissional dos engenheiros de controle e automação na atualidade, especialmente os conhecimentos técnicos especializados. Há que se destacar que o desenvolvimento foi integralmente baseado em FOSS, o que possibilita sua utilização ampla, sem restrições. O módulo desenvolvido, juntamente com o supervisor e funcionalidades inseridas, integra aspectos como:

- Possibilita a utilização de práticas clássicas e avançadas de modelagem e identificação de sistemas, processos e equipamentos industriais;
- Permite uma interatividade entre os procedimentos teóricos, fundados nos cálculos matemáticos, e sua aplicabilidade prática;
- Reflete as complexidades presentes, na atualidade, nos processos industriais e vivenciadas pelos engenheiros de controle, tais como não linearidades, processos subamortecidos, manipuladores robóticos;
- Apresenta portabilidade, replicabilidade simplicidade de manuseio e, principalmente, custos de produção e utilização factíveis.

Sua característica diferencial de maior impacto, contudo, reside no fato que seu projeto levou em consideração sua utilização como suporte à uma estratégia de aprendizagem baseada em P²BL, uma postura híbrida integrando PjBL e PBL. Como ilustrado no corpo do trabalho, o módulo possibilita a colocação de problemas, e a realização de projetos para sua solução, cujas características podem ser assemelhadas às condições existentes nos ambientes industriais. Tal situação foi exemplificada com a colocação de uma situação-problema, os conhecimentos associados e os resultados que são obtidos utilizando-se o módulo. A previsão atual é que o módulo comece a ser utilizado no oitavo semestre do curso, dentro das disciplinas de controle da Habilitação Robótica e Automação Industrial, totalmente dentro de uma estratégia P²BL.



Agradecimentos

Agradecemos ao Programa de Educação Tutorial do SESu – MEC e a FAPEMIG pelo suporte oferecido ao desenvolvimento deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENCOMO, D. Control Learning: Present and Future s. IFAC 15th Triennial World Congress, Barcelona, Spain. 2002.

BERNSTEIN, D.S. Concretizing control education, In: PROC. AMERICAN CONTROL CONFERENCE, p. 1455–1459, San Diego, 1999

BOSS, S.; KRAUSS, J. Reinventing Project-Based Learning: Your Field Guide to Real-World Projects in the Digital Age, ISTE, Washington, 2007.

BRASIL. Decreto nº 6.096, de 24 de abril de 2007. Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (Reuni), p. 7.

COELHO, Antônio Augusto Rodrigues. A. R. ; COELHO, Leandro dos Santos . Identificação de Sistemas Dinâmicos Lineares. 1. ed. Florianópolis: UFSC, 2004. v. 1, 181 p.

FEISEL, L. D. ; ROSA A. J. The Role of the Laboratory in Undergraduate Engineering Education, **Journal of Engineering Education**, p. 121-130, January .2005.

GOMES, F. J. ; CARVALHO, H. H. B. Educação em Controle e Automação em Ambiente Adverso: Estudo de Caso de uma Experiência Tutorial, XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, Salvador, 2006.

GOMES, F. J. ; SILVEIRA, M. A. Experiências Pedagógicas In: Manual de Automação e Controle, São Paulo SOCIEDADE BRASILEIRA DE AUTOMÁTICA, 2007. p.35-56.

GRAAFF, E; KOLMOS, A. Characteristics of Problem-Based Learning*: Delft University of Technology, the Netherlands.

HAMILTON, D.; MAHONY, T. A Foray into P²BL in a Control Systems Course. Proceedings of the UKACC, University of Manchester, INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONTROL, 2008,p. 2-4.

PROJETO, Projeto Pedagógico do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da UFJF, Juiz de Fora, 2009. Disponível em: <http://www.ufjf.br/engenhariaeletrica>. Acesso em 22 jun. 2012.

SILVEIRA, A. S. ; COELHO, A. A. R. ; FRANCA, A. A.; KNIHS, V. L. Pseudo-PID Controller: Design, Tuning and Applications, Brescia. IFAC CONFERENCE ON ADVANCES IN PID CONTROL PID'12, 2012.

SOCKALINGAM, N. Characteristics of Problems in Problem-based Learning. Doctor Thesis Erasmus University Rotterdam, 2010.



LABORATORY MODULE BASED ON FOSS FOR EDUCATION IN CONTROL ENGINEERING WITH THE STRATEGY P²BL

Abstract: *The work details the design and assembly of a laboratory module for utilization in control engineering education in undergraduate courses. Based on a computational environment developed in Free Open Source Software - FOSS, more specifically JAVA ®, it allows full interactivity of the user with the module, involving several procedures for modeling, identification and digital control of a damped pendulum. Its differential aspect, of greatest importance, however, lies in the design of its use, for it incorporates features that facilitate the adoption of new methodologies in active teaching-learning relationship, more specifically a hybrid approach P²BL. The module integrates the Laboratory of Industrial Processes, Faculty of Engineering, UFJ, and is accessible to applications in disciplines involving control systems.*

Key-words: *Engineering Education, Automatic Control, Active Learning, P²BL, Free Software (FOSS), Process Control.*