



PROJETO INTEGRADOR DE DISCIPLINAS DAS ÁREAS DE ENGENHARIA

Edmundo E. Filho—edesfi@sc.usp.br
Edson W. Cazarini—cazarini@sc.usp.br
Fernando M. Catalano—catalano@sc.usp.br
Luiza M. R Codá—luiza@sc.usp.br
Luiz Carlos Passarini—luca@sc.usp.br
Vilma A. Oliveira—vilma@sc.usp.br

Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo
Av. Trabalhador São Carlense, 400
13566-590 – São Carlos, SP

Resumo: *A presente proposta contempla a criação de um laboratório integrador para disciplinas nas áreas de engenharia incluindo mecânica, mecatrônica, aeronáutica, produção, elétrica e computação. O laboratório responde a necessidades de ensino atuais e tem a função de articular diversas disciplinas existentes a partir de projetos integradores em realidade virtual aviônica e em acionamento e controle de veículos a serem inseridos no projeto pedagógico dos cursos participantes. Os projetos integradores propostos aqui facilitam a interação de docentes de diversas áreas da engenharia além de terem um grande apelo pela sua multidisciplinaridade e abrangência.*

Palavras - chave: *Projeto integrador, laboratório multidisciplinar, interação docente .*

1. INTRODUÇÃO

O aluno de engenharia deve experimentar problemas realísticos de projeto. Esta exposição a problemas reais advém das recomendações apresentadas de que o aluno deva buscar soluções de problemas do tipo aberto, ao longo de todo o seu curso de engenharia. Os problemas de solução aberta não possuem uma única solução certa, e a informação disponível não é suficiente para resolver o problema, a qual deverá ser gerada pelo aluno. Por ser esta uma situação única para o aluno, ele estará envolvido emocionalmente na solução do problema. Este tipo de problema é usado para medir a habilidade do aluno em associar teorias da engenharia com problemas do mundo real tais como projetar um produto.

As aulas práticas de graduação oferece o ambiente para a imersão do aluno aos problemas do mundo real e um laboratório inovador multiusuário pode ser um facilitador da integração de conhecimentos de diversas disciplinas a partir de projetos de engenharia desenvolvidos com a participação de professores de diversas áreas da engenharia envolvidos na proposta. Um laboratório assim articulado permite um ensino

interativo onde o aluno e professor passam a desempenhar diferentes papéis em relação ao modelo instrucionista (VALENTE, 1998).

Nesta direção, o laboratório que denominamos de InteGrad-EESC está sendo implementado para desenvolver atividades multidisciplinares na Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. O laboratório está estruturado como laboratório multiusuário a ser utilizado por diversas disciplinas existentes e por equipes de competição articuladas inicialmente por dois projetos integradores a ser inserido no projeto pedagógico dos cursos participantes. Os projetos integradores são um projeto de realidade virtual em aviãoica e um projeto de acionamento e controle de veículos. A visualização do funcionamento de projetos antes da sua implementação é uma etapa importante e a utilização de ambiente de realidade virtual pode dar mais realismo à simulação. O uso do laboratório está vinculado a disciplinas existentes ou criadas com o caráter integrativo e também a atividades de equipes que participam de competições com veículos. Os laboratórios existentes, inclusive uma sala de realidade virtual, passam então a contar com o laboratório integrador para a implementação prática de experimentos em protótipos mais realistas de interesse industrial. A Figura 1 ilustra a vinculação dos cursos às áreas da engenharia.

Com isso, os alunos egressos se diferenciarão dos demais, pois obtêm formação geralmente obtida somente após sua graduação. Trata-se, portanto, de uma inovação do ensino na Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (EESC-USP). O presente trabalho apresenta as atividades previstas na fase inicial da implantação do InteGrad-EESC.

1.1 Objetivos

Os objetivos principais são resumidos a seguir:

1. Integrar conhecimentos de diversas disciplinas a partir de projetos de engenharia desenvolvidos com a participação de professores de diversas áreas da engenharia envolvidos na proposta;
2. Proporcionar a imersão de alunos nos problemas de sistemas complexos e de sistemas práticos similares aos encontrados em sua vida profissional futura e desenvolver a atuação em equipes multidisciplinares.;
3. Os projetos constituem os elementos agregadores e o laboratório foi criado para abrigar os projetos em um ambiente facilitador da interação docente.

1.2 Metas a serem alcançadas

A presente proposta de integração de disciplinas de áreas da engenharia é uma resposta às necessidades de um ensino atual e inovador para o avanço do ensino de graduação na EESC-USP. Em longo prazo, a perspectiva é a ampliação da proposta atual para cobrir outras áreas da engenharia da EESC-USP. As principais metas, a médio e curto prazo, incluem:

InteGrad EESC

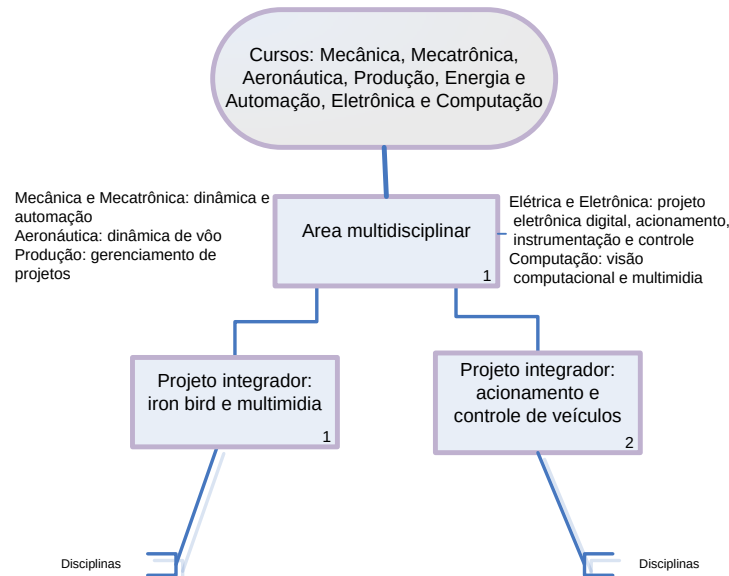


Figura 1: Áreas principais dos projetos integradores.

1. Gerar material didático e publicações em revistas de ensino de engenharia;
2. Envolver outros docentes na coordenação de novas propostas para a continuação do InteGrad-EESC;
3. Proporcionar uma vivência da atuação profissional e capacitar para trabalho cooperativo;
4. Oferecer oportunidades para o desenvolvimento de projetos práticos de interesse industrial;
5. Ampliar a infraestrutura laboratorial e ao mesmo tempo criar um ambiente de interação entre docentes de diversos cursos da EESC-USP.

Estas metas estão sendo atingidas com a instalação de uma infraestrutura laboratorial multiusuário dotada de um espaço físico e equipamentos de desenvolvimento de atividades multidisciplinares e com o uso de uma plataforma de ensino com ambiente virtual de aprendizagem para desenvolver e acompanhar atividades que envolvam várias disciplinas existentes. Foi criado um portal para o InteGrad-EESC na plataforma moodle de disciplinas da EESC-USP para facilitar a interação entre os participantes e o acompanhamento das atividades. Neste portal, foram configurados um fórum de docentes, fórum de dúvidas, fórum de atividades e fórum de experiências docentes.

2. ATIVIDADES E DISCIPLINAS

As atividades propostas no escopo das disciplinas dos cursos envolvidos estão organizadas em dois projetos: um de realidade virtual e outro de implementação prática. O primeiro é um projeto integrador em aviação e multimídia e o segundo é um projeto integrador em acionamento e controle de um carro fórmula e um carro elétrico usados nas competições de equipes da EESC-USP. Os projetos integradores envolvem tópicos ministrados em disciplinas oferecidas nos cursos de engenharia participantes desta proposta nas áreas de controle, dinâmica de voo, acionamento, sistemas digitais e computacionais.

2.1 Módulo veículo fórmula

O processo de desenvolvimento de um produto mecatrônico, como é uma unidade eletrônica de controle de motor Otto obedece a um ciclo chamado ciclo de desenvolvimento ou Diagrama V mostrado na Figura 2. O objetivo do Diagrama V é encurtar o tempo de desenvolvimento do produto. A eficiência é atingida quando as interações requeridas pelo projeto são minimizadas. A aceleração das fases prototipagem rápida e a simulação *hardware-in-the-loop* (HIL) são as maneiras mais eficazes de alcançar este objetivo. Os objetivos principais deste projeto de ensino são:

- Propor aos alunos desenvolver um sistema de controle eletrônico de motores de 4 tempos seguindo as etapas do Diagrama V;
- Elaborar roteiros de aulas práticas que ilustrem etapas do Diagrama V.

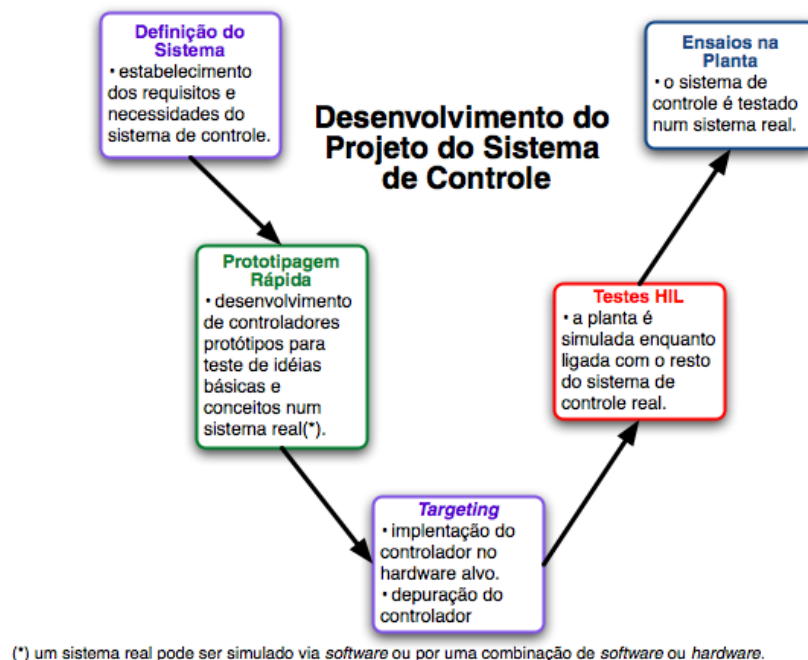


Figura 2: Etapas do projeto de controle e acionamento.

O dispositivo didático consiste de um microcomputador, *softwares* e *hardwares* equivalentes aos utilizados pelas montadoras de veículos. Os *softwares* a serem utilizados são: plataforma Matlab/Simulink da Mathworks e modelo automotivo de simulação ASM-Gasoline Engine Basic Simulation Package da dSPACE – chamado doravante de modelo automotivo ASM para simplificar. Os *hardwares* são unidade MicroAutoBox II e o dSPACE VEOS da dSPACE. Os experimentos didáticos consistem em:

1. Simular o motor 4 tempos com o modelo automotivo dSPACE -ASM;
2. Simular o controle do motor 4 tempos com o Simulink lendo as saídas do modelo automotivo ASM e aplicando comandos pelo Simulink;
3. Redefinir o controlador no ambiente Simulink;
4. Transferir o controle do Simulink para o MicroAutoBox II;
5. Controlar o motor virtual do ASM pelo MicroAutoBox II;
6. Análise de sinais de vibração e funcionamento do amortecedor usando sinais de deslocamento da roda e aceleração do banco do piloto.

A ECU- Electronic Control Unit- configurável MicroAutobox II que será utilizada nas etapas de *targeting*, testes HIL e testes do sistema (vide Figura 2) é constituída por um chassis dentro do qual estão montados um módulo controlador e módulos para aquisição de sinais e controle de atuadores (a arquitetura está esquematizada na Figura 3).

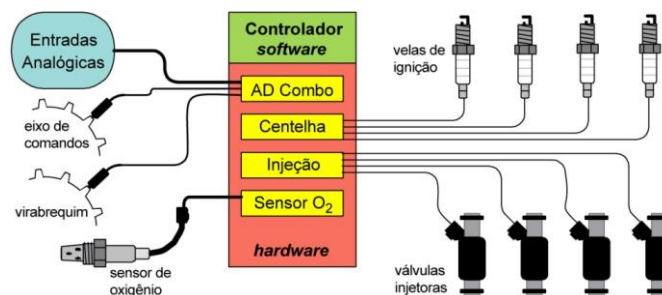


Figura 3: Arquitetura da ECU configurável [fonte: DRIVVEN, 2009].

Na Figura 3, os módulos de aquisição foram chamados aqui de ADCombo (que recebe e trata os sinais analógicos) e sensor de O₂. Estes módulos possibilitarão a aquisição dos sinais dos principais sensores de motores de 4T como: detonação, temperatura do coletor de admissão, temperatura do coletor de exaustão, posição da árvore de manivelas, massa de ar, posição da borboleta de aceleração, temperatura da água, pressão no coletor de admissão e do sensor linear de oxigênio (sonda lambda linear, por exemplo). Esses sensores fornecem as informações mais comumente utilizadas nos modelos físico-matemáticos de motores de 4T. Nas etapas 1 a 4 descritas acima, esses sensores são virtuais, ou seja, são simulados no ambiente Matlab/Simulink usando o modelo automotivo ASM.

Um algoritmo para o controle da injeção de combustível implementado no módulo de controle do MicroAutobox II acionará as válvulas injetoras e um algoritmo para o controle do ponto de ignição comandará a centelha na vela de ignição. Qualquer motor poderá ser controlado pela MicroAutobox II, bastando para isto mudar a arquitetura do hardware e o *software* de controle indicados na Figura 3, mas o desenvolvimento e suas etapas seguem os mesmos passos. É esta a conclusão que os alunos deverão chegar ao final do processo da aprendizagem.

2.2 Módulo aviônica

O módulo de aviônica compõe-se de atuadores e sensores integrados à plataforma de desenvolvimento dSPACE e modelos Simulink. Aplicação em sistemas automáticos de controle de aeronaves para atender às disciplinas SEA0168 Sistemas de Controle de Aeronaves I e SEA0169 Sistemas de Controle de Aeronaves II. As atividades do projeto integrador em realidade virtual em aviãoica podem ser divididas em:

1. Utilização de modelos de sistemas dinâmicos aprendidos em disciplinas de controle mais avançado e sua execução a partir de modelos Simulink desenvolvidos em aula empregando a plataforma de desenvolvimento DSpace;
2. Integração da execução dos testes com um simulador para ilustrar os fenômenos *fugóide*, *dutch roll*, e dinâmica de vôo;
3. Simulação da resposta do sistema com uma superfície de comando e um atuador real para ilustrar o uso de sistemas de acionamento;
4. Usando um barramento e protocolo aeronáutico (p. exemplo, protocolo ARINC 429 and TTP.) mostrar que sistemas aviônicos não funcionam via USB e sim
5. com um protocolo de 30 anos atrás (mais lento que internet discada). Mostrar como a aviãoica conversa com o *flight control computer*, é um exemplo de como utilizar os conceitos aprendidos em telecomunicações;
6. Mostrar o funcionamento da arquitetura simplificada de um sistema de controle aeronáutico altamente integrado e aplicar técnicas de controle de sistemas dinâmicos;
7. Exemplificar o procedimento de testes de sistemas e como os requisitos são atendidos (caracterizar a certificação). Mostrar a análise de falhas e os métodos estatísticos empregados (caracterizar o uso de estatística). Aplicar as simples lógicas booleanas para ver a propagação de falhas em sistemas digitais (ligação com a tecnologia digital);
8. Mostrar como é feita a aquisição dos sinais através de conversores A/D e ferramentas de eletrônica, como por exemplo, dispositivos lógicos programáveis complexos no qual o hardware é projetado através de software;
9. Utilizar recursos da cave virtual para possibilitar ao aluno o desenvolvimento de suas habilidades em programação e projeto nas áreas de visão computacional, realidade aumentada e realidade virtual objetivando otimizar as soluções através da visualização de processos ou produtos.

2.2 Modulo realidade virtual e *immersive cave*

A realidade virtual tem um papel importante na aprendizagem de conceitos abstratos ou invisíveis como, por exemplo, a visualização da corrente elétrica em um circuito eletrônico, a interação de forças em uma estrutura mecânica ou as linhas de escoamento de um fluido (CARDOSO e JÚNIOR, 2006). O nome *cave* dado para o ambiente de realidade virtual é o acrônimo de ambiente virtual automático em inglês. Os principais objetivos da *cave* na EESC-USP é:

1. Criar um ambiente virtual em que se possam inserir objetos tridimensionais para serem exibidos em todas as telas de projeção, em terceira dimensão, de forma a criar um ambiente de imersão;
2. Listar as limitações da *cave* para o objetivo citado acima e buscar formas de minimizá-las;
3. Utilizar software livre ou de baixo custo para o desenvolvimento do trabalho.

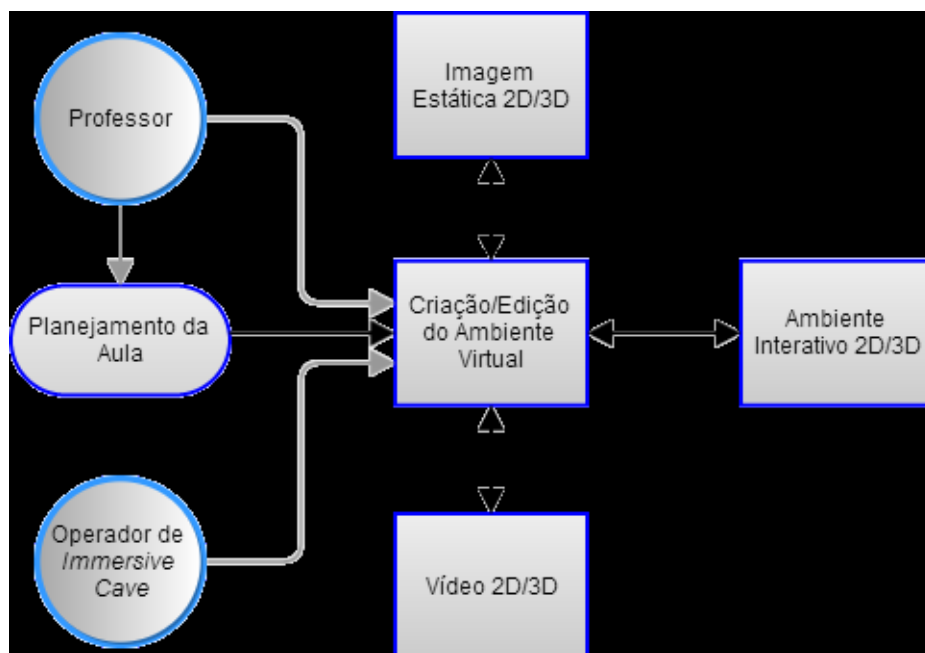


Figura 4: Fluxo de elaboração e apresentação de aulas.

Utilização da *cave* em aulas ou simulações

A Figura 4 ilustra a utilização da *cave* em sala de aula. O objeto virtual em 3D seria entregue a um técnico treinado para utilizar o software da *cave*, que fará a inserção do objeto no ambiente de imersão:

1. Correção no alinhamento dos projetores e instalação dos drivers e demais softwares;



2. Criação de uma imagem estática 2D a partir da projeção de um ambiente virtual modelado em 3D, estendendo-se pelas três telas criando a impressão de uma imagem contínua no qual o observador está imerso no cenário.
3. Reconfiguração e correção de problemas nos sistemas estereoscópicos, incluindo os sistemas de trigger dos óculos 3D.
4. Testes de projeção de vídeo em 3D utilizando uma tela de projeção;
5. Testes de projeção de vídeo de um modelo 3D estendendo-se pelas três telas criando a impressão de uma imagem contínua no qual o observador está imerso no cenário.

2.4 Módulo veículo carro elétrico

Neste módulo foram preparadas 2 atividades de ensino usando 2 plataformas de desenvolvimento adquiridas para uso em aula. A proposta do Laboratório de Ensino de Controle visa utilizar um *kit* de desenvolvimento para controle de velocidade do motor do carro elétrico via interface serial RS-232. É utilizada uma interface gráfica de projeto do Matlab/Simulink para a obtenção do modelo do motor a ser usado no projeto de um controlador tipo proporcional integral derivativo (PID), que é discretizado e programado no *Programmable Interface Controller* (PIC) (PEREIRA, 2003), que passa a fazer o controle de velocidade do motor. A proposta do Laboratório de Eletrônica Digital é utilizar o *kit* de desenvolvimento *Video and Embedded Evaluation Kit - Multi-touch* da Altera para exibir a interface gráfica atualmente gerada por *software* em uma tela de cristal líquido, e utilizar seus recursos para interface usuário como uma forma de entrada de dados para o controle do mesmo motor do carro elétrico.

Controle de velocidade

Foi preparado um experimento utilizando o *kit* didático abordando conteúdos relacionados à disciplina de Laboratório de Controle de Sistemas Lineares (OLIVEIRA et al., 2013). A proposta consiste no levantamento do modelo matemático de um motor de corrente contínua e sintonia de um controlador usando o modelo do motor obtido.

As disciplinas de controle fornecem ao aluno conhecimentos sobre os controladores P, PI e PID (OGATA, 1996). Muitas vezes, pelo grau de abstração presente na teoria de controle, o aluno não assimila por completo com os controladores agem sobre um sistema. O objetivo dessa proposta de trabalho é solidificar os conhecimentos obtidos nas disciplinas teóricas e mostrar na prática o funcionamento do controle.

Para desenvolver esse experimento, dois ambientes de desenvolvimento são amplamente utilizados: uma interface gráfica desenvolvida no Matlab conectada a um *kit* didático equipado com um microcontrolador PIC. A Figura 5 mostra a interface construída e a Figura 6, a rotina em linguagem C para implementar a equação a diferença do controlador PID (OGATA K, 1995; OLIVEIRA, et. al, 2013). A visualização da interface pode ser melhorada por outros alunos.

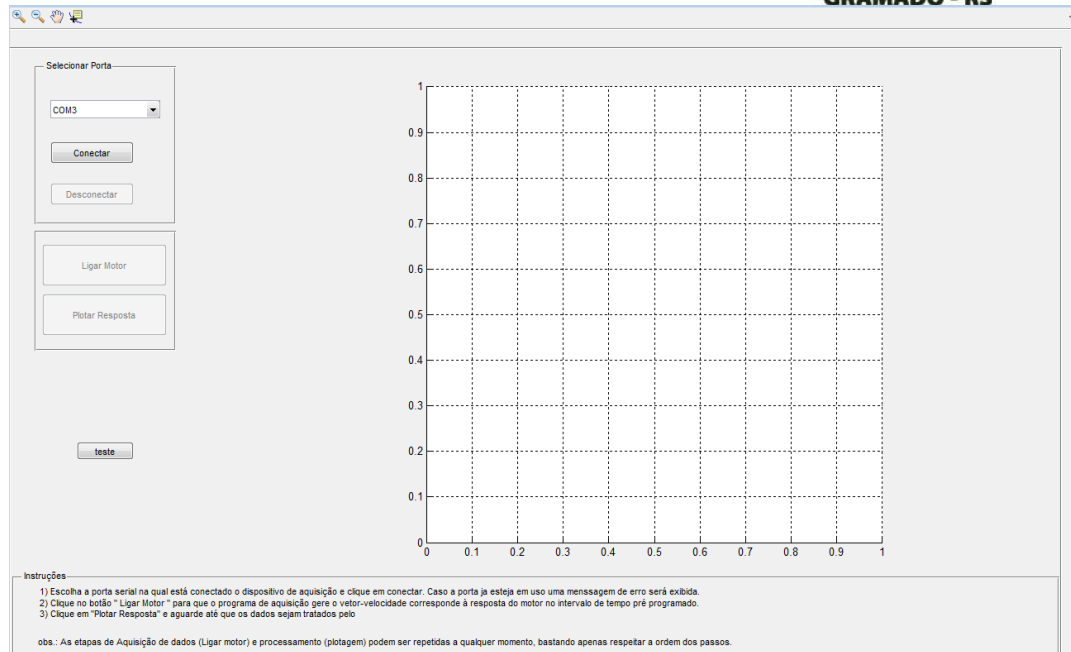


Figura 5: Interface desenvolvida para aquisição de sinais através do *kit* didático.

```

110 // un = sinal de controle
    // u(n-1) = un1 u(n-2) = un2
    // e(n-1) = en1 e(n-2) = en2

    en = referencia - velocidade;
    un = (en - 1.381*en1 + 0.4919*en2 + 17.6*un1 + 186.8*un2)*0.004901;

    en2 = en1;
    en1 = en;
    un2 = un1;
    un1 = un;

120 un = un*255;
    un = (int)un;

    //seta pwm

125 PWM1_set_duty(un);
}

```

Figura 6: Rotina C da equação a diferença do controlador PID.

3. CONCLUSÃO

Na medida em que a aprendizagem deve ser apoiada na conceituação, experiência e relevância para o mundo real, a dosagem de teoria e prática é extremamente importante.



Esta proposta inclui procedimentos *hands-on*, ou seja, contempla a participação efetiva do aluno nas aulas práticas de laboratório sempre aliando o trabalho em grupo agora para planejar realizar, discutir o experimento e apresentar os resultados adequadamente. A proposta visa concentrar em um laboratório didático, boa parte das atividades descritas acima com o grande diferencial de os alunos atuarem em um ambiente de sistemas complexos altamente re-configurável e multidisciplinar. Ainda, permite a inclusão de outros tópicos e outros cursos da engenharia inclusive da matemática e física.

Os desafios principais do projeto InteGrad-EESC é a vinculação definitiva do laboratório criado a disciplinas existentes ou criadas com o caráter integrativo. Trata-se de um projeto inovador e por isso encontram-se situações novas como o gerenciamento da infraestrutura (multiusuário) e das atividades do laboratório, e até mesmo a divulgação da proposta. A proposta do InteGrad-EESC não se encerra nos módulos previstos e para consolidar-se vai ter que permitir atualizações e incluir outras áreas da engenharia. O projeto InteGrad-EESC envolve atividades de laboratório com plataformas de desenvolvimento atuais usadas nas melhores universidades. É difícil construir a infraestrutura sem apoio de alunos e de um técnico de nível superior este para acompanhar as atividades do laboratório.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Pro-Reitoria de Graduação da Universidade de São Paulo através do Laboratório InteGrad-EESC.

REFERÊNCIAS

CARDOSO, A.; JÚNIOR, E. L. A realidade virtual na educação e treinamento. In: TORI, R.; KIRNER, C.; SISCOUTO, R. (Ed.) Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada, VIII Symposium on Virtual Reality, 2006, p. 304-312.

DRIVVEN, Inc. Automotive Control & Data Acquisition Solutions, Example Engine Control Systems, 2009. Disponível em http://www.drivven.com/visitor_download/DrivvenBrochure Q2_2009.pdf

OGATA, K. Projeto de Sistemas Lineares de Controle com Matlab, RJ: Prentice-Hall do Brasil, 1996.

OGATA, K. Discrete-Time Control Systems, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1995.

OLIVEIRA, V. A.; AGUIAR, M. L.; VARGAS, J. B.; Sistemas de Controle: Aulas de Laboratório, 2ª. Edição, São Carlos: EESC-USP, 2013.

OPPENHEIM, A. P.; SCHAFER, R. W. Digital Signal Processing, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc., 1975.



PEREIRA, F. Microcontroladores PIC Programação em C, 2^a Edição, SP: Erica Ltda, 2003.

VALENTE, J. A. O Computador na Sociedade do Conhecimento, SP: UNICAMP/NIED, 1998.

COURSES INTEGRATING PROJECT IN ENGINEERING

Abstract: *This work presents a laboratory proposal for integrating courses in engineering including mechanical, mechatronics, aerospace, manufacturing, electrical and computer engineering. The laboratory meets current educational needs and has the role of articulating various subjects using integrating projects in virtual reality avionics and actuation and control of vehicles. These integrating projects are to be included in the pedagogical project of the engineering programs. The integrating projects proposed here facilitate the interaction of faculty from different programs of engineering as well as having a great appeal for their multidisciplinary and scope.*

Key-words: *Integrating project, multidisciplinary laboratory, cooperation amongst lecturers.*