

**ENSINO ORIENTADO AO PROJETO DESAFIO:  
UMA EXPERIÊNCIA PARA O ENSINO DE CONTROLE,  
INSTRUMENTAÇÃO E ELETRÔNICA**

**Pedro F. Donoso-Garcia** – pedro@cpdee.ufmg.br

**Leonardo A. Borges Tôrres** – torres@cpdee.ufmg.br

Universidade Federal de Minas Gerais, Depto. de Engenharia Eletrônica – UFMG-DELT  
Av. Antônio Carlos, 6627 – Campus da Pampulha - CEP 31.270-901 - Belo Horizonte, MG

***Resumo:** O propósito deste artigo é descrever uma nova experiência no ensino de Controle, Instrumentação e Eletrônica nas disciplinas de Laboratório de Eletrônica I e Laboratório de Controle I, nos cursos de Graduação em Engenharia Elétrica e em Engenharia de Controle e Automação da UFMG. Pretende-se mostrar como têm sido desenvolvidas estas disciplinas, considerando-se uma abordagem de proposta de trabalhos práticos, realizados por grupos de alunos, motivando os alunos a adquirir maiores e sólidos conhecimentos através da superação de desafios, ao invés da simples repetição de experimentos pré-determinados. Os resultados obtidos são: uma maior motivação e participação nas aulas, pesquisa dos conteúdos dos trabalhos em diversas fontes além dos livros didáticos, interação dos alunos das disciplinas e dos cursos pela procura de soluções.*

***Palavras-chave:** Ensino orientado ao projeto, Projeto desafio, Ensino de disciplina de laboratório.*

## **1. INTRODUÇÃO**

O que se destaca no presente trabalho sobre o **Aprendizado pelo Desafio** é a proposta de contínua implementação de uma *Prática de Ensino* galgada na realização de *Projetos de Engenharia Desafiadores*.

Essa prática de ensino foi originalmente proposta, há mais de 30 anos, na Escola de Medicina da *MacMaster University*, no Canadá, e recebeu o nome de metodologia *Problem Based Learning* – **PBL** [Samford, 2006]. Segundo essa metodologia, os alunos de medicina aprendiam através da busca por respostas suscitadas por casos clínicos simulados, preparados pelos professores.

O elemento-chave desta metodologia de ensino é a solução de problemas como força motriz para apreensão de conceitos e integração de conhecimentos. No âmbito da Engenharia, tal abordagem guarda estreita relação com o próprio *modus operandis* encontrado em diversas indústrias, no desenvolvimento de novos produtos tecnológicos. Isto é, a partir de um problema real, da descrição do todo, da identificação dos requisitos mínimos determinados

pelo cliente final, inicia-se o desdobramento de um projeto que necessita, naturalmente, de profundo entendimento de conceitos e técnicas para a sua consecução.

De fato, em [Fink, 2002], relata-se a importância que o *aprendizado pelo desafio* pode ter para o desenvolvimento tecnológico regional, pois pode também ser usado como forma de interação entre empresas e universidade, estreitando as relações entre essas esferas complementares.

Certamente tal iniciativa não é nova em cursos de Engenharia [Fink, 1999; Fink, 2002], e tem sido implementada e estudada na UFMG já há algum tempo [Scott, 1998]. Entretanto, conforme bem apresentado em [Rhem, 1998], essa prática de ensino tem sido reavivada na atualidade em função de pelo menos 2 pontos cruciais da modernidade: a explosão da informação; e a globalização política, social e econômica. Devido ao aumento exponencial de informação disponível, os métodos tradicionais de ensino mostram-se ineficientes, pois conduzem ao aumento também exponencial dos currículos e do tempo de permanência em sala de aula. Já a globalização aponta para um caminho futuro em que não há espaço para “super-indivíduos”, capazes de resolver todos os problemas sem qualquer ajuda, mas antes sinaliza para a necessidade constante do trabalho em grupo e da valorização das competências individuais.

As principais características da metodologia **PBL**, aqui chamada de *aprendizado pelo desafio*, em contraposição às características de metodologias convencionais de ensino, podem ser resumidas conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Relação entre as Metodologias convencionais e o Aprendizado pelo Desafio

<u><i>Metodologias Convencionais</i></u>	<u><i>Aprendizado pelo Desafio</i></u>
Conhecimento como Prescrição	Conhecimento como Experiência
O Centro é o Professor/Especialista	O Centro é o Aluno/Estudante
Linear e Racional	Coerente e Relevante
Organizada das partes constituintes para o todo	Organizada do todo para as partes constituintes
Ensinar é Transmitir	Ensinar é Facilitar
Aprender é Receber	Aprender é Construir
Ambiente Estruturado	Ambiente Flexível

**OBS:** Adaptada de [http://www.samford.edu/pbl/process\\_overview.html](http://www.samford.edu/pbl/process_overview.html).

O *aprendizado pelo desafio* conduz naturalmente a construção de um ensino voltado para questões preponderantes no cenário tecnológico e social do século 21. Em [Cavin et al., 2003], representantes da Indústria de Semicondutores estabeleceram pontos norteadores na elaboração de projetos pedagógicos de cursos de Engenharia, na seguinte ordem:

1. Manter sólida participação de atividades de Laboratório na formação dos alunos;
2. Ensinar os fundamentos de Ciência e Matemática;
3. Encorajar os estudantes a aprenderem a se comunicar com seus pares;
4. Estabelecer que a criação de riqueza, através de projetos onde se considere o balanço financeiro do custo e do lucro, é um empreendimento nobre;
5. Enfatizar a ética profissional;
6. Instigar o amor pelo aprendizado em Engenharia;
7. Considerar as necessidades futuras da mesma maneira que se considera as presentes;
8. Reconhecer a importância dos estágios profissionais;

9. Encorajar a exposição a conhecimentos multidisciplinares;
10. Valorizar e reconhecer o papel dos bons professores e orientadores.

É interessante notar a importância dada às atividades de Laboratório, que encabeçam a lista acima.

Além disso, como citado em [Felder et al., 2000], uma possível hierarquia para *objetivos educacionais* pode ser estabelecida da seguinte forma:

1. Conhecimento: capacidade de repetição de informação memorizada;
2. Compreensão: capacidade de explicar conceitos sem usar termos técnicos estritos;
3. Aplicação: capacidade de usar o conhecimento adquirido para resolver problemas simples e diretos;
4. Análise: capacidade para solucionar problemas complexos, usando modelos e simulações, e resolvendo problemas com equipamentos e sistemas;
5. Síntese: capacidade de projetar experimentos, dispositivos, processos e produtos;
6. Avaliação: capacidade de escolher entre diversas alternativas e justificar a escolha, aperfeiçoar processos, fazer julgamentos sobre impacto ambiental de decisões de Engenharia, resolver dilemas éticos.

Salienta-se que os itens 4, 5 e 6 acima, considerados *objetivos de alto nível* [Felder et al., 2000], são contemplados quando se estabelece uma prática de ensino fundamentada nos seguintes princípios:

- Atividades de laboratório como elementos-chave na sedimentação e validação de conhecimentos adquiridos;
- Concepção de soluções de Engenharia a partir, apenas, de descrições de situações-problema e requisitos mínimos a serem atendidos, deixando espaço para o estímulo a criatividade;
- Trabalho em equipe como forma de aprimoramento das competências de interação social e das habilidades de gerenciamento de recursos humanos;
- Implementação da atividade prática segundo um cronograma rígido e metas pré-estabelecidas, simulando ambiente profissional real;
- Valorização dos projetos executados com menor custo, e em menor tempo;
- Presença constante de um professor orientador para bem guiar as equipes de trabalho através de seus esforços de resolução do problema, mostrando-lhes caminhos alternativos, sugerindo inter-relações entre conteúdos diferentes, dirimindo questões conflitantes de projeto que porventura tenham paralisado as atividades.

Tais características são muito dificilmente encontradas na implementação de aulas de laboratório que se valem apenas de “guias de aulas práticas”, contendo experimentos repetitivos, e muitas vezes desconexos da realidade da Engenharia. Para a realização de aulas práticas onde se coíbiu a criatividade, realmente não se faz necessária a presença de um professor com grande conhecimento e experiência sobre o assunto. Este professor foi necessário somente no momento da elaboração da apostila de experimentos, que serão mecanicamente reproduzidos por alunos entediados e desanimados.

Entretanto, ao se propor uma situação-problema para os estudantes, está sendo feito a eles um irresistível convite para uma participação ativa no processo de aprendizado. Processo esse em que será aproveitado, ao máximo, o que um professor capaz e experiente tem a oferecer-lhes. Neste cenário, conforme temos observado na prática, os resultados têm sido muito mais gratificantes, tanto para alunos, quanto para professores.

Cabe aqui salientar que o *aprendizado pelo desafio*, quando bem implementado, seguramente implica em aumento de carga de trabalho para os professores envolvidos, tendo em vista a quantidade de projetos executados em paralelo, as diferentes necessidades de

diferentes grupos de alunos, e os problemas práticos não previstos decorrentes da natureza intrínseca do procedimento. Este é o “custo” de uma melhoria substancial na qualidade da formação de nossos alunos.

O presente trabalho está organizado da seguinte forma. Na Seção 2 são descritas algumas experiências recentes nas disciplinas de Laboratório de Eletrônica I (Seção 2.1) e de Laboratório de Controle e Automação I (Seção 2.2), utilizando a abordagem de aprendizado baseada em desafio. Na Seção 3 é apresentado o impacto didático e finalmente na Seção 4 são apresentadas as conclusões.

## **2. DESCRIÇÃO DAS EXPERIÊNCIAS RECENTES NOS CURSOS DE ENGENHARIA ELÉTRICA E O DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO DA ESCOLA DE ENGENHARIA DA UFMG**

A proposta desta seção é descrever a experiência de ensino nas disciplinas de “Laboratório de Eletrônica I” e “Laboratório de Controle I”, para os cursos de graduação em Engenharia Elétrica e Engenharia de Controle e Automação da UFMG:

- A disciplina de “Laboratório de Eletrônica I” tem sido ministrada com esta nova proposta desde o primeiro semestre de 2002, em pelo menos 04 turmas diferentes. A carga horária da disciplina é de 2 créditos, o que equivale a 30 horas semestrais. O número de alunos por turma tem sido em média de 10 alunos. O pré-requisito para a disciplina é a disciplina teórica “Eletrônica I”. Vários são os professores que lecionam esta disciplina em um mesmo semestre, dado o grande número de turmas. Esta disciplina é obrigatória para o curso de graduação em Engenharia Elétrica.
- A disciplina de “Laboratório de Controle I” tem sido ministrada, pelo menos desde o primeiro oferecimento (2001), segundo a presente proposta. A carga horária da disciplina é de 4 créditos, o que equivale a 60 horas semestrais. O número de alunos por turma tem sido em média de 10 alunos. O pré-requisito para a disciplina são as disciplinas teóricas de “Engenharia de Controle” e “Instrumentação Industrial”. Vários são os professores que lecionam esta disciplina em um mesmo semestre, dado o grande número de turmas. Esta disciplina é obrigatória para o curso de graduação em Engenharia de Controle e Automação, e optativa para o curso de graduação em Engenharia Elétrica.

### **2.1 A disciplina de Laboratório de Eletrônica I**

A idéia principal da disciplina de laboratório é a realização de trabalhos práticos feitos em grupo de dois alunos, que atendam a todos os tópicos propostos para a disciplina de Laboratório de Eletrônica I. Além destes tópicos, os alunos são estimulados a realizar seus trabalhos práticos ou projetos em placas de circuitos impressos, que são projetadas utilizando ferramentas CAD como parte fundamental do processo de desenvolvimento dos circuitos eletrônicos. A confecção da placa de circuito impresso é artesanal. Nesta placa são montados os circuitos eletrônicos projetados para o trabalho de eletrônica.

A teoria tem importância bastante grande, já que os alunos podem constatar os conceitos vistos em aulas teóricas, na prática. Desta forma, a teoria não é desprezada, mas antes procura-se enfatizar que ela serve como subsídio para a realização de trabalhos práticos, e não apenas uma simples memorização de conceitos teóricos, sem relacionamento com a prática. Os alunos têm sido incentivados a serem participantes do ensino e não apenas receptores de informações prontas. Por outro lado, o professor torna-se um gestor de ensino, auxiliando e provendo suporte para o aprendizado dos alunos e não apenas repetindo conteúdo teórico extraído de livros.

De acordo com a grade curricular do curso de Engenharia Elétrica, no terceiro período, o aluno cursa a disciplina de *Análise de Circuitos Elétricos I* (obrigatória), onde estuda os teoremas necessários à análise de circuitos. No quarto período, o aluno cursa as disciplinas de *Laboratório de Circuitos Elétricos I*, *Análise de Circuitos Elétricos II*, *Laboratório de Sistemas Digitais*, entre outras. Neste período o aluno tem o primeiro contato com a área de Eletrônica no curso de graduação, através da disciplina *Eletrônica I* (ELT055 – teórica). No quinto período o aluno cursará as disciplinas (dentro da área de Eletrônica) de *Eletrônica II* e a de *Laboratório de Eletrônica I*, entre outras.

Entretanto, o aluno apresenta dificuldade natural em utilizar estas ferramentas que estão sendo adquiridas, neste período, na análise e projetos de circuitos eletrônicos. Por outro lado o programa da disciplina de Eletrônica I é bastante amplo, abordando conceitos de física dos dispositivos do estado sólido, princípio de funcionamento destes dispositivos eletrônicos, circuitos eletrônicos: análise, projeto, realização e aplicações, utilizando dispositivos semicondutores. Estes podem ser amplificadores operacionais, diodos, transistores bipolares (BJT) e transistores de efeito de campo (MOSFET).

Outro aspecto importante a ser considerado nas disciplinas de Eletrônica é o fato de que uma parcela dos alunos do curso de Engenharia Elétrica são técnicos de nível médio em eletrônica, oriundos de escolas como Colégio Técnico da UFMG - COLTEC, Centro Federal de Educação Tecnológica - CEFET e Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI, e que, portanto, já tiveram um contato significativo com Eletrônica. É necessário, portanto, dar um enfoque de forma que a disciplina de Eletrônica seja atrativa e estimulante, com a finalidade de que os alunos venham a se interessar pela área. Também é necessário abordar o tema de forma que ao aluno iniciante seja possível compreender novos conceitos, ao mesmo tempo em que se aproveita o potencial do aluno não iniciante, ou seja, com prévia experiência na área. É nesta disciplina que o aluno vai definir seu interesse pela área de eletrônica e os rumos de sua especialização profissional, incluídas no curso de Engenharia Elétrica: Eletrônica de Potência, Engenharia de Computação, Controle de Processos, Telecomunicações Bioengenharia, Engenharia de Áudio e Sistemas de Energia Elétrica. Geralmente, os alunos que hoje concentram sua formação na área de eletrônica são aqueles com formação técnica anterior.

Os alunos egressos desta disciplina deverão ser capazes de cumprir todos os objetivos educacionais apontados na Seção 2.1.1, para a área específica de projeto, concepção e análise de circuitos eletrônicos.

### **2.1.1 Objetivos da disciplina**

Os objetivos das aulas de laboratório são:

- Familiarizar o aluno com os equipamentos básicos (medição e geração de formas de onda) do laboratório de eletrônica básica.
- Familiarizar o aluno com os principais dispositivos eletrônicos: diodos, transistores MOSFET e BJT, amplificadores operacionais, sensores ou transdutores.
- Estimular o processo de assimilação dos novos conceitos introduzidos na disciplina, como por exemplo: características lineares e não lineares dos amplificadores, conceitos de ganhos de tensão, corrente, potência; conceitos de impedância de entrada e de saída; conceitos de resposta em frequência, conceitos de realimentação, estabilidade e outros.
- Incentivar o aprendizado de FONTES DE ALIMENTAÇÃO: Tensão e Corrente; da arquitetura de uma fonte de tensão; dos retificadores: média onda, em ponte e tap-central; dos filtros: R-C, L-C; do regulador zener: configuração básica, circuito

gerador de tensão de referência; das Fontes de tensão realimentada, do Estágio de potência; dos Circuitos de proteção; das Fontes de corrente. Topologias, espelho de corrente.

- Familiarizar o aluno com as aplicações de DIODOS: nos circuitos de super diodos; nos Circuitos ceifadores, grampeadores, dobradores e multiplicadores de tensão; na geração de uma falsa senoidal de quatro estágios; nos circuitos para as funções OR e AND analógicas.
- Familiarizar o aluno com os amplificadores utilizando transistores BIPOLARES e MOSFET; Projetos e caracterização destas configurações: ganho de tensão, ganho de corrente, Resistência de entrada ( $R_{in}$ ), Resistência de saída ( $R_{out}$ ); Resposta em frequência: Capacitores de acoplamento e de passagem; Levantamento das características de um amplificador.
- Familiarizar o aluno com os amplificadores utilizando AMPLIFICADOPRES OPERACIONAIS: Tecnologia de amplificadores operacionais: características, escolhas do Amp. Op.; características em grande sinal: tensão de saturação, S/R, resposta em frequência,  $V_{off\ set}$ , oscilações, ruídos, CMRR; configurações básicas: inversor, diferencial, integrador, somador, não-inversor, buffer, diferença. CMRR.
- Familiarizar o aluno com a APLICAÇÕES DOS AMPL. OP. em: Amplificador de instrumentação: características, configurações, variação de ganho, resposta em frequência; Aplicações na medida de corrente, medida de tensão diferencial. Acoplamentos com sensores de temperatura, LDR, outros sensores. Circuitos comparadores: ON-OFF, histerese; Gerador de onda quadrada: problemas e soluções de simetria. Variação de amplitude e de frequência; Gerador de onda triangular: Variação de amplitude e de frequência; Gerador de dente de serra: aplicação de fonte de corrente. Circuitos geradores de Modulação: por largura de pulso (PWM), por histerese, escada (idéia do sample – hold).
- Incentivar a utilização das ferramentas de trabalho pelo uso de programas de simulação de circuitos analógicos e digitais (PSPICE, ORCAD, etc.) e programas de CAD para a elaboração de circuitos impressos (EAGLE, PROTEL, etc.).
- Estimular a utilização da rede INTERNET como meio de pesquisa de artigos nos diferentes "sites" na área de Engenharia Eletrônica, na obtenção da documentação ou catálogos de componentes eletrônicos, etc.

Dentre os itens de análise, os alunos são incentivados a apresentar as vantagens e desvantagens das técnicas, das ferramentas, dos métodos, dos componentes; bem como a facilidade da implementação que foram apresentados nos artigos e livros consultados.

### 2.1.2 Metodologia de Ensino

O método a ser utilizado nestas disciplinas está baseado no Aprendizado Orientado ao Projeto ou ao Desafio. Esta metodologia de ensino baseia-se em aliar a teoria e a prática, apresentando conceitos teóricos, que são fundamentais, mas procurando exemplificá-los. A teoria foi extraída de livros-texto referência em Eletrônica e de material didático elaborada pelo professor contendo teoria e aspectos práticos. Complementando a teoria a ser ministrada, têm sido utilizadas revistas técnicas e artigos clássicos da área. Tem sido também utilizado material divulgado na Internet em endereços eletrônicos que apresentam artigos e esquemas de circuitos e artefatos eletrônicos. O conteúdo da disciplina Laboratório de Eletrônica I é dividido em três (03) módulos:

- a) Fontes de alimentação em tensão e em corrente - (duração de quatro semanas);
- b) Amplificadores lineares, transistores - (duração de quatro semanas);

- c) Amplificadores operacionais na implementação de circuitos lineares e não lineares - (duração de sete semanas);

Cada um destes módulos é desenvolvido da seguinte forma:

- Aulas expositivas dialogadas, onde o professor apresenta os conteúdos de cada módulo, revisando os conteúdos da disciplina Eletrônica I, com ênfase no que se considera essencial para o domínio do assunto e a realização dos projetos.
- Cada aluno realiza estudos sobre os temas ministrados, visando à elaboração dos projetos, incluindo simulações digitais dos circuitos para comprovar o funcionamento ou a qualidade do projeto desenvolvido.
- Cada grupo elabora um roteiro das práticas, visando à realização de experimentação dos conteúdos teóricos ministrados. O desenvolvimento dos módulos se dá conforme cronograma apresentado na disciplina.

Além do desenvolvimento dos módulos, são realizados dois projetos de circuitos eletrônicos, onde os alunos devem produzir (pesquisar, simular, montar e apresentar) montagens que sejam realmente úteis (equipamentos). Este projeto é especificado pelos professores. Estes projetos versam sobre um conjunto de circuitos eletrônicos, baseados na utilização de dispositivos eletrônicos e circuitos já estudados, sendo postos em prática todos os conhecimentos adquiridos no transcorrer dos módulos em questão.

### 2.1.3 Trabalhos de Laboratório

Os trabalhos que são realizados pelos alunos da disciplina de laboratório, têm por objetivo utilizar todos os conceitos estudados durante os 03 blocos, para a elaboração dos projetos eletrônicos. Desta forma, o primeiro projeto é a elaboração de uma fonte de alimentação e o segundo trabalho aborda projetos das várias áreas de conhecimento da Eng. Elétrica onde os alunos escolhem um determinado projeto.

O primeiro trabalho é a elaboração de uma fonte de alimentação. Este projeto será realizado totalmente de forma discreta, isto é, sem utilizar circuitos integrados especializados.

Para a realização de cada trabalho são colocadas algumas premissas ou condições mínimas que o projeto deve conter, desta forma o projeto da fonte deverá atender:

- Fonte de alimentação linear;
- Tensão de alimentação regulada, variável ou ajustável ou fixa;
- Com proteção de sobre corrente;
- Com tensão de *ripple* inferior a 1 % na saída da fonte;
- Realizar projeto térmico (cálculo dos dissipadores);
- Realizar o levantamento de custos.

O segundo trabalho de Laboratório de Eletrônica é um projeto que cada grupo de alunos pode escolher dentro de vários temas ou linhas de trabalho que lhes são propostas pelo professor. Este projeto também é realizado sem utilizar circuitos integrados especializados. Como exemplo mostramos algumas sugestões de projetos: termômetro eletrônico para uma aplicação específica (e.g. Banho-maria, etc.); medidor de capacitância/indutância; controle de nível (on-off) para um tanque (balde); detector de metais; comando ON-OFF via rede de alimentação C.A.; equalizador gráfico de 8 bandas; equalizador paramétrico; amplificador classe A-B de 15 W com pré-amplificador; teclado com uma oitava-sem semitons; amplificador de ondas sonoras a distância; transmissor receptor AM (f ~100MHz) com alcance de aproximadamente 50 metros; controle remoto infravermelho; portão eletrônico de garagem; transmissor de FM; receptor FM; gerador de efeitos sonoros e luminosos (projeto lúdico); outros projetos sugeridos pelo grupo com concordância do professor.

Os trabalhos relacionados mostram uma profunda preocupação em ensinar conceitos, mas sempre aliando o seu aprendizado com a prática. Desta forma, conseguimos uma maior participação e aproveitamento do aprendizado em eletrônica quando foram aliados aspectos técnicos com a metodologia e os interesses dos alunos.

#### **2.1.4 Elaboração de relatórios**

A elaboração de documentos e relatórios é uma preocupação constante no decorrer da disciplina. A documentação de um projeto é essencial para a existência do mesmo. Os alunos são incentivados a redigir a documentação dos seus trabalhos através de relatórios parciais, e por meio de um relatório final quando do término do trabalho de laboratório.

Os relatórios parciais são relatos das atividades realizadas para a concepção do projeto solicitado. Nestes relatórios parciais os alunos apresentam memórias de cálculos dos circuitos projetados, simulação dos circuitos desenvolvidos, listas de componentes e justificativas da sua utilização. Estes relatórios são revisados e devolvidos aos alunos com as correções, críticas e sugestões para a realização do trabalho prático. Através destes relatórios o percurso dos trabalhos práticos é sempre monitorado e corrigido.

No relatório final, necessariamente contém os seguintes itens: introdução, objetivos, estado da arte, princípio de funcionamento do circuito proposto, cálculos do projeto, resultados de simulação, resultados experimentais, possíveis aplicações, relação de custo do projeto, conclusões, bibliografia. Os relatórios também são avaliados para compor a nota final do trabalho.

#### **2.1.5 Metodologia de avaliação**

A avaliação dos alunos é composta por argüições individuais, pela avaliação do trabalho em equipe, pela avaliação dos resultados apresentados no relatório final e através de prova oral final com defesa dos trabalhos elaborados durante a disciplina.

Procura-se sempre dar ênfase em estimular o raciocínio e a argumentação crítica pelos alunos. Os conceitos teóricos são cobrados de forma implícita. Os alunos precisam conhecê-los e entendê-los em profundidade para aplicá-los na realização dos projetos

Para a avaliação do aluno na disciplina, distribui-se um total de 100 pontos, da seguinte forma: Trabalho 1 (40 pontos); Trabalho 2 (40 pontos) e Defesa Oral dos Trabalhos (20 pontos).

Em cada trabalho são avaliados: conhecimentos do aluno sobre o trabalho executado e a sua participação como integrante do grupo; complexidade da montagem, complexidade do projeto, compreensão do trabalho desenvolvido, qualidade da montagem, funcionamento; apresentação do texto, memória de cálculo, desenvolvimento do tema, conclusão, bibliografia, entre outros.

Dos 40 pontos de cada trabalho, 24 pontos (60%) são referentes à montagem, atribuídos da seguinte forma: Nível A (24-18 pontos); Nível B (17-11 pontos) e Nível C (10-5 pontos). Além disso, são atribuídos valores individuais para a avaliação de cada aluno no que se refere à compreensão do trabalho. Os outros 16 pontos (40%) são atribuídos ao relatório final.

No final do semestre é feita uma avaliação de cada grupo através de defesa oral dos trabalhos realizados e os temas teórico-práticos desenvolvidos na disciplina.

A avaliação dos alunos ou dos grupos é feita em conjunto com outro professor da disciplina. O propósito desta banca examinadora é isentar o professor de realizar perguntas aos grupos da sua própria turma de laboratório, uma vez que se espera que tais grupos já tenham sido avaliados pelo professor responsável. Desta forma, os alunos são argüidos por outro professor da disciplina de Laboratório de Eletrônica.

Para a defesa oral sorteia-se um dos temas desenvolvidos nos trabalhos, e também o aluno que deverá apresentar e defender o tema sorteado, cabendo aos outros participantes do grupo auxiliá-lo quando necessário. Esta forma de avaliação promove a responsabilidade dos integrantes do grupo, perante o trabalho realizado, junto a seus colegas. Além das questões técnicas, avalia-se a postura, desenvoltura e segurança para a apresentação do trabalho realizado. Para a nota desta avaliação oral atribuem-se os conceitos: Nível A (16 a 20 pontos); Nível B (11 a 15 pontos); Nível C (06 a 10 pontos); e Nível D (0 a 05 pontos). Esta forma de avaliação dialogada, ou defesa dos trabalhos, pode ser considerada muito mais proveitosa que uma simples prova escrita, já que os alunos podem mostrar o quanto se desenvolveram, dado o aprendizado adquirido durante o semestre.

### **2.1.6 Resultados obtidos**

Os alunos da disciplina de Laboratório de Eletrônica foram submetidos a uma mudança radical na metodologia de ensino. Anteriormente era oferecido aos alunos um guia de aulas práticas elaborado pelos professores. Os alunos constataavam o funcionamento dos circuitos sugeridos sem maior interação com estes. O aprendizado era uma constatação dos circuitos estudados na teoria.

Na metodologia de aprendizado orientado ao projeto desafio, por ser uma mudança de paradigma de ensino, em que o professor não é mais um reprodutor de conhecimento e sim um gestor de ensino, dando suporte às decisões dos alunos através dos seus projetos e não entregando soluções prontas, os alunos apresentam uma inércia inicial na compreensão da proposta. Por outro lado, esta demora se deve ao fato de que esta disciplina propõe a realização de projetos de eletrônica para solucionar algum problema da vida cotidiana. O que parece ser uma novidade para os alunos, acostumados à cultura de se separar à chamada “vida acadêmica”, do chamado “mundo real”. A idéia do “aprender fazendo”, versus o “aprender memorizando” acabou sendo bem aceita pelos alunos, segundo depoimentos espontâneos dos próprios alunos.

Através do desenvolvimento dos projetos propostos na disciplina, simulam-se situações reais de um profissional em Engenharia Eletrônica. Além disso, o grupo de alunos obtém um produto que pode ser levado para casa, e mostrado aos pais e familiares, inculcando um saudável sentimento de orgulho por serem estudantes de Engenharia da UFMG.

Esta metodologia de ensino foi aplicada em cinco turmas durante os cinco últimos anos e pode-se considerar o resultado como muito satisfatório. Os alunos realmente se interessam quando percebem que estão realizando algo prático e relacionado com sua vida profissional futura.

## **2.2. A disciplina de Laboratório de Controle e Automação I**

A disciplina de “Laboratório de Controle e Automação I” vem sendo oferecida desde 2001 como disciplina obrigatória, no sétimo período, do curso de Engenharia de Controle e Automação da UFMG. Além disso, a disciplina é optativa para os alunos do curso de Engenharia Elétrica.

O papel desta disciplina é fundamental no desenvolvimento dos alunos de Eng. de Controle e Automação, uma vez que está estruturada de forma a colocar em prática conceitos oriundos de três diferentes áreas de sustentação do curso: Eletrônica, Instrumentação Industrial e Engenharia de Controle. Estas áreas são contempladas em disciplinas específicas, ministradas aos alunos antes de Laboratório de Controle e Automação I. Busca-se nesta disciplina a integração dessas várias áreas, necessária ao desenvolvimento e análise de soluções próprias da Engenharia de Controle e Automação.

A disciplina é realizada nas dependências dos Laboratórios de Ensino de Controle e Instrumentação – LECI, Laboratório de Processos Secos e Laboratório de Processos Úmidos da Escola de Engenharia, no campus Pampulha. Nestes mesmos laboratórios também é ministrada a disciplina “Laboratório de Controle e Automação II”, obrigatória para o curso de Engenharia de Controle e Automação, cujo alvo principal é o projeto e desenvolvimento de controladores digitais para controle de processos.

### 2.2.1 Objetivos da disciplina Laboratório de Controle e Automação I

O principal objetivo do Laboratório de Controle e Automação I é a integração de conceitos e técnicas para a elaboração de um projeto completo de controle de um dado sistema físico. Portanto, espera-se que ao término da disciplina os alunos sejam capazes de:

- Obter modelos matemáticos de processos industriais, com base em balanços de massa e energia, além de outros princípios físicos, validando esses modelos através de simulações e testes.
- Projetar e conceber testes adequados de aquisição de dados.
- Compreender e especificar os requisitos necessários para instrumentos e sensores primários usados para controlar processos industriais.
- Obter as curvas de calibração estática de sensores e determinar as características dinâmicas dos mesmos, mediante testes adequadamente projetados.
- Projetar e construir circuitos eletrônicos para condicionamento de sinais oriundos de sensores, para implementação de controladores Proporcional, Integral e Derivativo - PID analógicos, e no desenvolvimento de atuadores eletrônicos.
- Analisar qualitativamente e quantitativamente séries temporais medidas para inferir modelos aproximados de sistemas dinâmicos.
- Projetar e construir, na prática, controladores lineares para sistemas dinâmicos de uma entrada e uma saída (*Single-Input; Single-Output* - SISO), usando técnicas aprendidas na disciplina Engenharia de Controle, e valendo-se dos conhecimentos adquiridos na disciplina Eletrônica Analógica e Digital para Controle e Automação.
- Trabalhar em equipe, reconhecendo o potencial de cada membro do grupo no processo de desenvolvimento da solução para os problemas colocados na disciplina.

### 2.2.2 Metodologia de Ensino

Em ambos os Laboratórios de Processos (Secos e Úmidos), atualmente três *plantas* são disponibilizadas aos alunos para que os mesmos elaborem, para cada uma delas, um projeto completo de controle: um ferro de solda com controle de temperatura (Processo Seco); uma torneira elétrica com controle de temperatura (Processo Úmido); e um sistema massa-mola com controle de posição das massas (Processo Seco – Mecânico). Além destes sistemas, 2 instrumentos de medição são disponibilizados para que os alunos exercitem os conhecimentos adquiridos na disciplina de “Instrumentação Industrial”, o que constitui o chamado *módulo de Instrumentação* da disciplina: balança eletrônica com extensômetros; e medidor de nível de uma coluna d’água.

A turma é dividida em grupos de não mais de 4 alunos, com preferencialmente 3 alunos por grupo, e aos grupos são atribuídas tarefas a serem executadas em cada uma das *plantas* supracitadas, bem como no *módulo de instrumentação*. Durante aproximadamente 3 semanas, um dado grupo se dedica ao projeto de controle, ou ao problema de instrumentação, que lhe foi atribuído. Ao final desse período de três semanas, os grupos produzem um relatório formal de atividades e trocam de bancadas, iniciando os trabalhos em um novo sistema a ser

controlado ou caracterizado. Cada grupo de alunos executa este procedimento por 3 vezes, compreendendo um período de tempo entre 9 e 12 semanas.

Para cada sistema estudado pelos alunos, demanda-se respostas a uma série de perguntas de cunho técnico geral, que podem ser aplicadas a quaisquer sistemas para os quais se deseja implementar um sistema de controle e automação. Estas perguntas constituem o primeiro desafio a ser vencido pelos estudantes, e podem ser agrupadas nas seguintes categorias:

- Reconhecimento e detalhamento físico da *planta*: identificação dos blocos fundamentais para o processo, atuador, sensor, controlador, entrada de referência; e identificação e descrição de perturbações e incertezas presentes na *planta*.
- Análise e detalhamento do modelo matemático: tipo de resposta ao degrau, testes de linearidade e identificação de subsistemas não lineares, ordem dinâmica, existência de tempo morto, etc.
- Sintonia do controlador: escolha de uma estratégia de sintonia adequada ao sistema; verificação da mesma na prática; testes e ajustes em ambiente de simulação.
- Verificação de desempenho do sistema de controle: determinação das características dinâmicas da *planta* em malha fechada, isto é, controlada através do controlador projetado nos passos anteriores.

Finalizada a etapa em que as *plantas* oferecidas aos alunos foram analisadas, controladas e/ou caracterizadas, inicia-se a etapa de elaboração do chamado *Projeto Desafio de Controle*. A execução deste projeto recebe uma valorização diferenciada, a fim de salientar a importância desta atividade, a qual será detalhada na próxima Seção.

### 2.2.3. Trabalhos de Laboratório

O *Projeto Desafio de Controle* constitui-se dos seguintes passos:

1. Início do semestre: Proposição, pelo grupo de alunos, de um problema de controle para um dado processo. Nesta etapa o professor usualmente sugere alguns temas, e mostra aos alunos projetos realizados em semestres anteriores.
2. Início do semestre: Avaliação, pelo professor, da pertinência e grau de dificuldade a ser enfrentado pelos alunos, considerando o processo proposto por eles. Caso seja necessário, o professor deve modificar o escopo e os objetivos do projeto para torná-lo factível, podendo mesmo declará-lo inviável, o que obriga os alunos a apresentarem nova proposta.
3. Metade do semestre: Apresentação dos detalhes físicos do processo escolhido pelos alunos, ao restante da turma, com identificação das principais variáveis, subsistemas, perturbações e não-linearidades esperadas.
4. Ao longo da segunda metade do semestre: Montagem do sistema físico.
5. Ao longo da segunda metade do semestre: Modelagem matemática do processo aplicando-se as leis físicas pertinentes, notadamente os princípios de balanço de massa e de energia (procedimento este chamado na literatura Inglesa de *first principles approach*).
6. Ao longo da segunda metade do semestre: Instrumentação do sistema físico (implementação física do controlador, atuador e sensores necessários).
7. Ao longo da segunda metade do semestre: Sintonia do controlador em simulação.
8. Ao longo da segunda metade do semestre: Testes do controlador projetado em ambiente de simulação e no processo construído.

9. Ao longo da segunda metade do semestre: Verificação de desempenho do sistema controlado em malha fechada, através da coleta de sinais e análise comparativa com o sistema simulado.
10. Fim do semestre: entrega de relatório de atividades, contendo também a documentação técnica do projeto desenvolvido.

O *Projeto Desafio de Controle* demanda bastante tempo dos alunos, principalmente porque são eles mesmos os responsáveis pela *construção* das *plantas* sobre as quais irão desenvolver um dado projeto de controle.

#### **2.2.4. Elaboração de relatórios**

Conforme indicado nas Seções anteriores, os grupos de alunos preparam, ao longo do semestre, um total de 4 relatórios, sendo que o último versa sobre o *Projeto Desafio de Controle*.

Em cada um dos relatórios dedicados a descrição das atividades referentes às 3 *plantas* analisadas, espera-se a seguinte distribuição de seções: Introdução (Motivação, objetivos); Descrição Física do Processo (descrição geral, identificação das partes constituintes da *planta*, variáveis de interesse, perturbações e não linearidades); Modelagem Matemática do Processo (obtenção do modelo pela física do processo); Identificação de Parâmetros (realização de testes para se determinar os parâmetros do modelo proposto no item anterior); Simulação em Malha Aberta (validação do modelo proposto, usando os parâmetros obtidos no item anterior); Sintonia do Controlador e Simulação em Malha Fechada (uso de técnicas de Engenharia de Controle para sintonizar os ganhos do controlador existente na *planta*); Verificação Prática de Desempenho do Controlador (teste prático, com coleta de dados, para avaliar o desempenho do controlador com os ganhos ajustados no item anterior); Conclusões (registro de pontos específicos, para o processo em questão e seu sistema de controle, que foram determinados ao longo do trabalho); Referências Bibliográficas.

No caso do relatório para o *Projeto Desafio de Controle*, embora seja mantida a mesma estrutura indicada acima, espera-se que o mesmo seja apresentado em formato de artigo, segundo padrão adotado pela Revista da Sociedade Brasileira de Automática - SBA.

#### **2.2.5 Metodologia de avaliação**

A disciplina de “Laboratório de Controle e Automação I” está estruturada de forma que a distribuição de pontos se dá ao longo do semestre, da seguinte maneira:

1. Três relatórios dedicados às *plantas* analisadas e controladas, entregues ao final de cada período de 3 semanas, totalizando 45 pontos = 15 pontos x 3.
2. Apresentação de uma proposta de *Projeto Desafio de Controle*, no início do semestre – 2 pontos.
3. Apresentação de *Anti-Projeto Desafio de Controle* para o restante da turma, com entrega de texto, após o término das 9 semanas dedicadas às *plantas* presentes nos Laboratórios de Processos Secos e Úmidos – 5 pontos para avaliar a apresentação e 10 pontos para avaliação do texto da proposta de *Projeto Desafio de Controle*.
4. Apresentação do *Projeto Desafio de Controle* para o restante da turma, com entrega de texto, ao final do semestre – 10 pontos para avaliar a apresentação e 28 pontos para avaliação do texto final de projeto.

Além disso, a metodologia empregada pelos professores objetiva a simulação de um ambiente de trabalho em Engenharia, onde os alunos são valorizados pelos produtos obtidos ao final de cada etapa (relatórios e correspondentes conclusões registradas nos mesmos), e pela capacidade de trabalho em equipe.

### **2.2.6. Resultados obtidos**

Os relatos dos alunos têm sido sempre bastante positivos, pois eles conseguem transformar as longas horas de estudos teóricos em soluções para problemas reais, os quais se mostram materializados sobre as bancadas do laboratório. Tal fato é, indubitavelmente, capaz de convencê-los da importância do que aprenderam para o seu desenvolvimento pessoal e profissional.

Além disso, vários alunos têm tornado públicas, em um alcance maior, as atividades realizadas no Laboratório, através da apresentação de trabalhos no Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia de Controle e Automação – ENECA, que acontece anualmente.

Outro subproduto não desprezível das atividades realizadas na disciplina de “Laboratório de Controle e Automação I” é a disponibilização dos projetos na sala interativa do curso de Engenharia de Controle e Automação, durante a Mostra de Profissões da UFMG. Durante este evento, a Universidade abre suas portas para receber e informar aos estudantes do ensino médio e membros da comunidade externa, de que tratam os cursos oferecidos pela instituição. Notadamente, o principal benefício desta atividade tem sido o processo de auto-valorização pelo qual passam os alunos que expõem seus trabalhos na Mostra de Profissões. Os autores das montagens realizadas na disciplina “Laboratório de Controle e Automação I” parecem se sentir orgulhosos de si mesmos, ao observar a finalidade nobre dada ao trabalho árduo por eles desenvolvido.

## **3. IMPACTO DIDÁTICO**

Diversas apostilas e textos sobre aulas práticas estão disponíveis atualmente. Normalmente, estes guias de laboratório apresentam simplesmente uma descrição sucinta do experimento a ser realizado, sem novas abordagens didáticas para os conceitos envolvidos, isto é, sem a apresentação de novos conceitos além daqueles já vistos em aulas teóricas. As aulas práticas tornam-se desinteressantes, transformam-se em mera constatação de que a teoria funciona.

O que se propõe no presente projeto de ensino é uma profunda mudança na forma com que as aulas de laboratório são usualmente ministradas. Propõe-se um conjunto de aulas práticas que apresentem novas abordagens didáticas para temas já apresentados na teoria. Aulas práticas onde o aluno seja conduzido a refletir sobre novas aplicações para os conhecimentos apresentados em sala de aula, e onde sejam apresentados tópicos avançados para que os alunos mais experientes aprofundem seus conhecimentos. Ou seja, propõe-se que os alunos se tornem elementos ativos do processo de aprendizagem.

A metodologia das aulas práticas pretende preparar os alunos com um conjunto de ferramentas e metodologias universais para o processo de aprendizado "do aprendendo fazendo" ou ensino orientado ao projeto desafio.

Outro aspecto importante é a introdução de novas ferramentas de trabalho. Hoje, grande parte do trabalho “experimental” de um engenheiro é realizado utilizando um microcomputador. É importante, portanto, apresentar ao aluno estas novas possibilidades, tais como programas de simulação de circuitos (Ex. PSPICE, ORCAD, PSIM, MATLAB-SIMULINK, etc.) e o programa de projeto auxiliado por computador CAD (Ex. PROTEL, TANGO, EAGEL, etc.) de placas de circuitos impressos. Além destes programas, é importante estimular o aluno para a utilização da Internet como fonte importante de

informações, seja na compra de componentes eletrônicos, nos catálogos de dispositivos, modelos de dispositivos para simulação, etc. Com isto, o aluno é estimulado a utilizar todas estas ferramentas.

#### **4. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A abordagem de ensino orientada ao projeto desafio através do desenvolvimento de trabalhos práticos procura sempre balancear a teoria e a prática. Os conceitos teóricos são importantes para que o aluno consiga desenvolver os projetos práticos. As informações obtidas através da Internet ou revistas devem ser analisadas. Desta forma, os conceitos devem ser compreendidos e não simplesmente memorizados, e devem ser aplicados em atividades práticas.

As disciplinas de laboratório são fundamentais para a formação do profissional em Engenharia Elétrica e em Engenharia de Controle e Automação. Por serem disciplinas que tratam de aspectos tecnológicos, isto faz com que as mesmas tenham um conteúdo bastante amplo, que vai desde a concepção de um diagrama de simulação e implementação de circuitos, passando pela definição de dispositivos, por planejamento de custos, até a realização de testes metodicamente planejados.

Durante o oferecimento das disciplinas citadas neste documento, os alunos tiveram que trabalhar em equipe, propondo soluções, realizando projetos, simulando circuitos, escrevendo relatórios, analisando e avaliando criticamente artigos técnicos e ferramentas computacionais. Esta forma de atuação vem ao encontro do que se espera de um profissional formado na área de Engenharia, o qual não pode simplesmente aceitar tecnologias novas ou novas tendências sem antes realizar análises críticas. Estas análises se dão através da avaliação das vantagens e desvantagens em comparação a tecnologias já consolidadas. A constante avaliação destes aspectos tem sido enfatizada durante todo o desenvolvimento das disciplinas de “Lab. de Eletrônica I” e de “Lab. de Controle e Automação I”.

Finalmente, salienta-se que a experiência proposta neste projeto poderia ser aplicada a outras disciplinas de laboratório da UFMG e em outras instituições de ensino, a fim de estimular os alunos a se envolverem intensamente com a principal característica da engenharia: vencer desafios.

#### ***Agradecimentos***

Agradecemos a todos os alunos que se manifestaram de forma positiva ou negativa ao método utilizado. Todos eles contribuíram com sugestões durante a realização das disciplinas.

#### **REFERENCIAS / CITAÇÕES**

(Samford, 2006); (Fink, 1999); (Fink, 2002); (Scott, 1998); (Rhem, 1998); (Felder et al., 2000); (Cavin et al., 2003).

#### **5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

CAVIN, R.K., I., JOYNER, JR, W. H., AND WIGGINS, V. C. A semiconductor industry perspective on future directions in ECE education. **IEEE Trans. on Education**, 46(4):463-466, 2003.

FELDER, R. M., WOODS, D. R., STICE, J. E., AND RUGARCIA, A. The future of engineering education II: Teaching methods that work. **Chemical Engineering Education**, 34(1):26-39, 2000.

FINK, F. K. Integration of engineering practice into curriculum - 25 years of experience with problem based learning. In 29th ASEE/IEEE FRONTIERS IN EDUCATION CONFERENCE, San Juan, Puerto Rico – IEEE, 1999. p.11a2-7 - 11a2-12

FINK, F. K. Problem-based learning in engineering education: a catalyst for regional development. **World Transactions on Engineering and Technology Education**, 1(1):29-32, 2002.

RHEM, J. Problem-based learning: An introduction. In: THE NATIONAL TEACHING & LEARNING FORUM, 1998. p. 8(1):1 4.

SAMFORD. **Samford University PBL homepage**. Disponível em: <<http://www.samford.edu/pbl/history.html>>. Acesso em: junho de 2006.

SCOTT, L. G. A. **Aplicação da metodologia motivação pelo desafio à disciplina controle de sistemas lineares**. Belo Horizonte, MG, 210 p., 1998. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Eng. Elétrica – PPGEE/UFMG.

## **CHALLENGE-BASED LEARNING: AN EXPERIENCE FOR TEACHING CONTROL, INSTRUMENTATION AND ELECTRONICS**

***Summary:** This paper describes a new experience in teaching Control, Instrumentation and Electronics as part of the “Electronics Laboratory I” and “Control Laboratory I” undergraduate courses in Electrical Engineering and Control and Automation Engineering at UFMG. It is shown how these subjects have been pedagogically developed in the last years, considering an approach based on the resolution of practical problems, which are proposed by groups of students motivated to acquire deeper and solid knowledge through the overcoming of challenges. This is quite different from the usual practice of simple repetition of predetermined experiments. The obtained results are students with grater motivation and more participants in class. Moreover, the students become more compelled to search for useful information in diverse sources other than didactic books, and to enhance the interaction among them in order to pursue solutions to the posed challenges.*

***Key-words:** Project oriented education, Challenge-based projects, Laboratory courses teaching.*