



## DESENVOLVIMENTO DE LABORATÓRIO MODULAR PARA APRIMORAMENTO DE COMPETÊNCIAS E HABILIDADES EM ELETRÔNICA DE POTÊNCIA

**Patrícia César Ferreira Machado** – patriciacfmachado@gmail.com

**Igor Abritta Costa** – igorabritta@yahoo.com.br

**Marlon José do Carmo** – marloncarmo@ieee.org

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Campus III - Leopoldina

Rua José Peres, 558 - Centro

36700-000– Leopoldina – Minas Gerais

***Resumo:** O presente trabalho trata da apresentação do projeto de um laboratório modular multifuncional para o desenvolvimento de capacidades em Eletrônica de Potência, que será microcontrolado através de uma Linguagem Homem-Máquina elaborada em C#. Como o estudo encontra-se em sua fase inicial, demonstram-se os cinco primeiros módulos que estão em planejamento, bem como seus objetivos e aplicações. A finalidade do projeto em questão é a disponibilização de um aparato educacional de baixo custo que possa ser construído em diversas unidades do CEFET-MG, podendo se estender a outras instituições de ensino. É ponto consensual que a educação em engenharia deve sustentar as bases para um aprendizado contínuo, que certifique o estudante a lidar com os complexos, crescentes e emergentes desafios da área. Assim, confere-se também uma proposta de ensino dirigido às práticas laboratoriais como forma de complementação da teoria, fazendo com que haja um melhor compromisso do ensino com a experimentação, além de garantir maior qualidade nos cursos de Eletrônica de Potência.*

***Palavras-chave:** Eletrônica de Potência, Ensino laboratorial, Controle de processos eletrônicos, Educação em engenharia.*

### 1. INTRODUÇÃO

A Eletrônica de Potência é uma área que experimentou um crescimento acentuado a nível nacional, principalmente pelos esforços alcançados pelos principais centros de excelência emersos nesse cenário. Porém, através de pesquisa realizada para obtenção da real situação do ensino dessa disciplina, verifica-se uma problemática existente na relação entre teoria e prática, evidenciando a carência de recursos laboratoriais como principal dificuldade. Parte daí a necessidade do desenvolvimento de um kit didático para o ensino prático da Eletrônica de Potência no CEFET-MG, buscando propiciar com este, uma ampla variedade de experimentos ao estudante de graduação. O elemento-chave deste aparato educacional é a utilização de uma metodologia onde a solução de problemas é utilizada como força motriz

Realização:



Organização:





para apreensão de conceitos e integração de conhecimentos.

As disciplinas de laboratório são essenciais para a formação do profissional em engenharia porque tratam de aspectos tecnológicos, fazendo com que as mesmas tenham um conteúdo abrangente, que vai desde a concepção de um diagrama de simulação e implementação de circuitos, passando pela definição de dispositivos, obtenção de custos, até a realização de testes metodicamente planejados (DONOSO- GARCIA *et al.*, 2008). Contudo, os métodos tradicionais de ensino tornam-se ineficientes quando se precisa aliar teoria e prática, demonstrando conceitos teóricos, que são fundamentais, mas procurando exemplificá-los.

Além disso, como citado em (CAVIN *et al.*, 2003), uma possível hierarquia para objetivos educacionais pode ser estabelecida da seguinte forma:

- Conhecimento: capacidade de repetição de informação memorizada;
- Compreensão: capacidade de explicar conceitos sem usar termos técnicos estritos;
- Aplicação: capacidade de usar o conhecimento adquirido para resolver problemas simples e diretos;
- Análise: capacidade para solucionar problemas complexos, usando modelos e simulações, e resolvendo problemas com equipamentos e sistemas;
- Síntese: capacidade de projetar experimentos, dispositivos, processos e produtos;
- 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.

Tais características são dificilmente encontradas na programação de aulas de laboratório que se auxiliam somente dos guias de aulas práticas, contendo experimentos repetitivos, e muitas vezes desconexos da realidade da engenharia. Surge então, o desafio do ensino em Eletrônica de Potência, educar e fazer do professor um gestor de instrução, auxiliando e provendo suporte para o aprendizado dos estudantes.

A plataforma laboratorial que está sendo desenvolvida no CEFET-MG vem de encontro ao que se espera de um ensino completo e interdisciplinar, que amplie os conceitos teóricos através da experimentação, além de conseguir unir as três vertentes da Eletrônica de Potência em uma só didática: Eletrônica, Potência e Controle.

A proposta do presente trabalho é apresentar o desenvolvimento de um laboratório modular de Eletrônica de Potência, baseado na carência de ferramentas laboratoriais de baixo custo, e ainda propor o acréscimo da disciplina de Laboratório de Eletrônica de Potência na grade curricular do curso de Engenharia de Controle e Automação do CEFET-MG, Campus III, demonstrando a importância de aulas práticas para complementação da teoria, visando melhorar o compromisso ensino-aprendizagem na Eletrônica de Potência.

Este trabalho está distribuído da seguinte forma: apresenta-se na seção dois, o projeto de um laboratório modular de Eletrônica de Potência com suas respectivas definições e detalhamento; em seguida define-se a proposta de um ensino voltado à implementação de práticas laboratoriais; a seção quatro conclui este trabalho.

## **2. PROJETO DE LABORATÓRIO MODULAR MULTIFUNCIONAL DE ELETRÔNICA DE POTÊNCIA**

O conteúdo atual das disciplinas de Eletrônica de Potência compreende os mais variados dispositivos eletrônicos e chaves semicondutoras de potência, tais como: diodos, tiristores, resistores, indutores, capacitores, sendo também incluídos os diversos circuitos e conversores,



como por exemplo: retificadores não controlados, retificadores controlados, ambos monofásicos e trifásicos, conversores CC-CC, conversores CC-CA, circuitos de controle para técnicas de disparo, entre outros (SANTOS & RECH, 2006).

Com a utilização do kit didático, aqui apresentado, pode-se verificar o funcionamento desses elementos na prática, o que torna o aprendizado mais dinâmico e intrigante, além da aplicação do controle, que geralmente é abandonada nas disciplinas de Eletrônica de Potência por falta de recursos laboratoriais, porém possui substancial relevância no ensino de seus conceitos.

O projeto proposto pode ser identificado na “Figura 1”. Nota-se, contudo, que o laboratório existente no Sistema S será tomado como base para desenvolvimento.

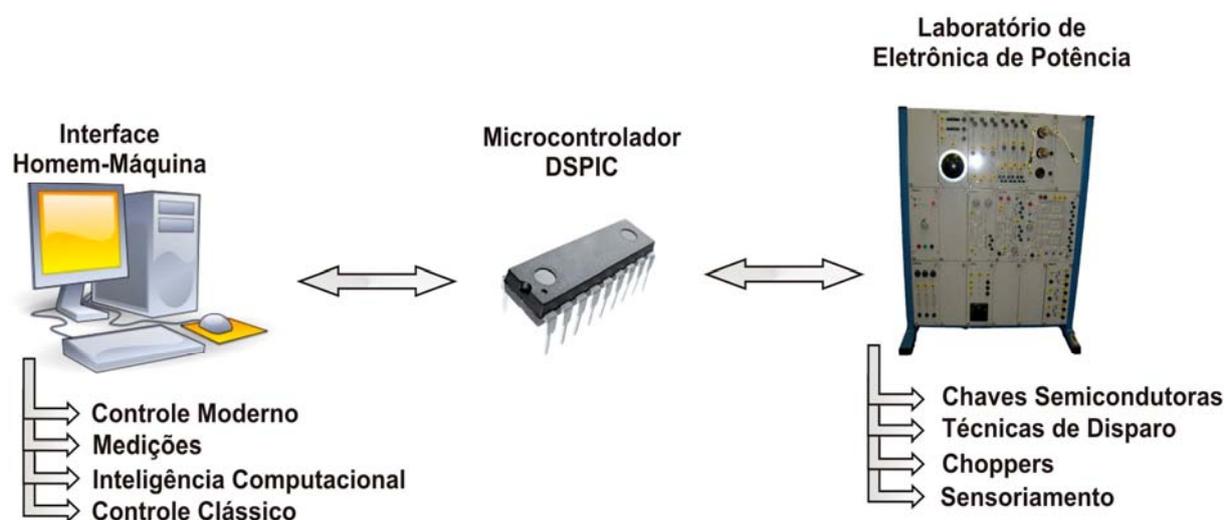


Figura 1 - Projeto de desenvolvimento de Laboratório multifuncional de Eletrônica de Potência.

Assim, pode ser verificado o objetivo principal do projeto, que é a aplicação de técnicas de identificação e controle em circuitos de Eletrônica de Potência, tais como, conversores estáticos, choppers, retificadores controlados, inversores com tecnologia escalar e vetorial, formando então, um laboratório modular multifuncional. Resta, entretanto, ressaltar que o kit será controlado por um microcontrolador, que tem como finalidade a comunicação com os módulos, trocando informações em uma IHM (interface homem-máquina) desenvolvida no computador, utilizando a linguagem C#.

Cabe salientar ainda, que as principais características do sistema em desenvolvimento são:

- Baixo custo;
- Segurança e proteção contra uso incorreto;
- Detalhamento de implementação acessível ao usuário;
- Interface amigável;
- Aprimoramento de habilidades em execução de medição de sistemas reais;
- Motivação do estudante por intermédio de experimentos práticos.

A metodologia de desenvolvimento da ferramenta laboratorial em questão consiste no estudo pormenorizado das etapas envolvidas na adaptação das técnicas de identificação e controle, bem como das montagens dos módulos de circuitos eletrônicos de potência. Como o



projeto está em sua fase inicial, até o presente momento, estão sendo estudados os seguintes módulos:

- Circuito de proteção com fusíveis;
- Circuito de proteção com transformadores abaixadores;
- Circuito Conversor CA-CC;
- Circuito Chave rotativa Estrela/ Triângulo;
- Retificadores não controlados monofásicos e trifásicos.

Os circuitos estão sendo analisados através de técnicas de simulação, para verificação de seu correto funcionamento e assim, posteriormente iniciar a construção em placas de circuitos impressos dos kits a serem utilizados.

A seguir apresenta-se a descrição dos módulos que estão sendo desenvolvidos, com seus respectivos objetivos e aplicações.

## 2.1. Circuitos de proteção

É notória a importância dos modernos programas de simulação de circuitos para o estudo da Eletrônica de Potência, contudo essas ferramentas não substituem o contato efetivo do aluno com o ambiente profissional (REIS, 1999). Sabe-se também, que esses sistemas virtuais oferecem uma vantagem em relação às práticas desenvolvidas em laboratório, o que pode ser entendida como a segurança do usuário. Logo, o aparato educacional elaborado procura manter esse benefício.

Deste modo, os kits estão sendo projetados visando a total segurança dos estudantes, os quais muitas vezes ainda não possuem a intimidade necessária para trabalhar com instrumentos de precisão e sistemas energizados. Então, para minimizar os riscos de acidentes, estão sendo concebidas duas estruturas de proteção, a saber:

- Placa de fusíveis;
- Placa de transformadores.

O módulo de fusíveis é constituído de três fusíveis sendo possível a realização de experimentos trifásicos com toda a segurança. A composição do mesmo encontra-se na “Figura 2”.

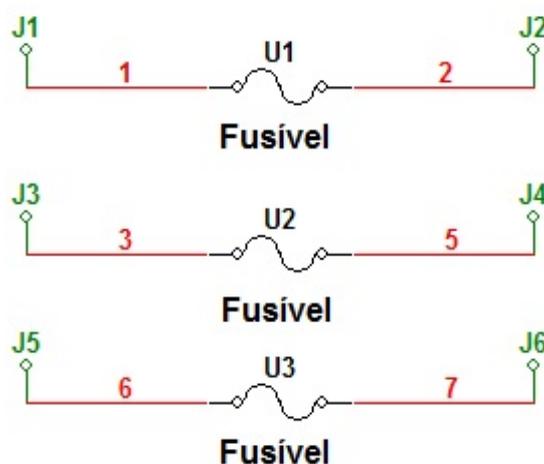


Figura 2 – Circuito de proteção com fusíveis.



Pode-se verificar que o sinal de entrada é conectado nos bornes identificados na “Figura 2” por J1, J3 e J5, passando assim, pelos respectivos fusíveis, os quais suportam uma potência máxima, caso a mesma seja ultrapassada o fusível se rompe evitando a danificação do restante do circuito. O sinal de saída será coletado pelos bornes representados por J2, J4 e J6.

O módulo de transformadores é composto por três transformadores monofásicos, abaixadores e isoladores, capazes de verificar diversas práticas com tensões reduzidas e isoladas galvanicamente da rede elétrica. A composição dessa estrutura é apresentada na “Figura 3”.

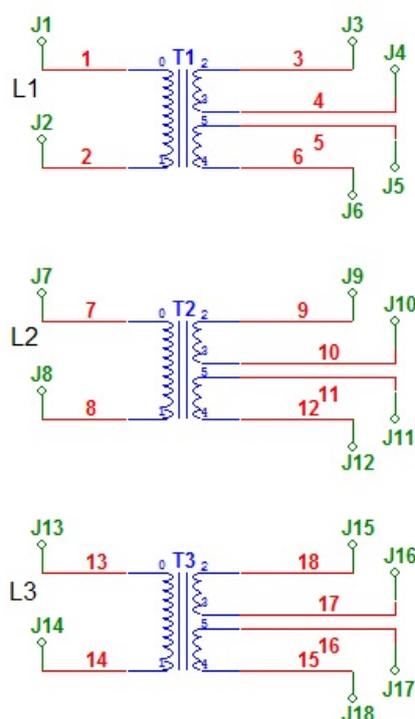


Figura 3 – Circuito de proteção com transformadores.

Verifica-se que a utilização dessa estrutura permite, inclusive, o estudo da influência das diferentes formas de conexão dos transformadores, como por exemplo, estrela ou delta.

## 2.2. Circuito Conversor CA-CC

O módulo conversor CA-CC tem como finalidade a transformação do sinal da rede de 110 V alternado em sinal contínuo variante de 0 a 30 V. Para isto foi desenvolvido um circuito que pode ser dividido em três partes principais:

- Transformador abaixador;
- Retificador de onda completa com filtro a capacitor;
- Regulador de tensão por potenciômetro.

Como pode se observar na “Figura 4”, primeiramente a entrada da rede passa por um transformador abaixador, fazendo com que a tensão de 110 V diminua para 32 V. Em seguida encontra-se um retificador de onda completa com filtro capacitivo, cujo objetivo é eliminar a componente CA do circuito, tornando o sinal não oscilante. Usa-se então, um capacitor em



paralelo com a carga, conseguindo assim, o efeito de manter por mais tempo a tensão aproximadamente no seu valor de pico.

Enfim, com o sinal já contínuo, utiliza-se um CI regulador de tensão na configuração de ajuste e ao variar o potenciômetro R3 o usuário pode escolher a tensão de saída desejada, entre 0 e 30 V.

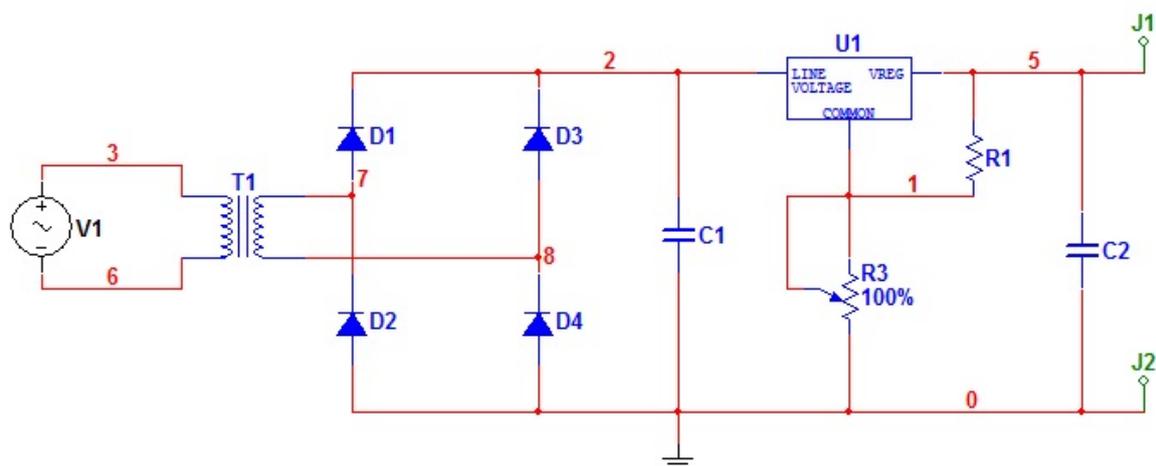


Figura 4 – Circuito Conversor CA-CC

Pode-se implementar reguladores de tensão de duas maneiras: utilizando componentes discretos ou circuitos integrados. A escolha pelo sistema na forma de CI foi incentivada por serem estruturas mais precisas e ocuparem menor espaço, tornando o circuito mais compacto.

O regulador de tensão a ser utilizado é o LM317, que é um circuito integrado monolítico nos pacotes TO-220 pretendidos para o uso com uma tensão de saída ajustável entre 1,2 e 37 V. Após a realização de testes utilizando quaisquer valores de carga, o CI demonstrou perfeito funcionamento.

### 2.3. Circuito Chave rotativa Estrela/ Triângulo

O chaveamento trifásico foi realizado através de uma chave rotativa de três posições, Lw 26-63, Estrela/ Triângulo, que pode ser visualizada na “Figura 5”.



Figura 5 – Chave rotativa de três posições



Ao ser ativada a primeira opção o circuito tem impedâncias adicionais de forma serial, como mostrado na “Figura 6”.

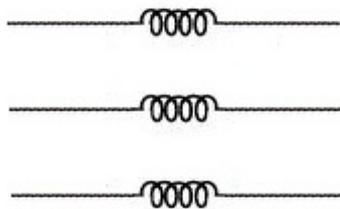


Figura 6 – Ligação em Série

Na segunda alternativa é feita uma ligação em Estrela, como verificado na “Figura 7”.

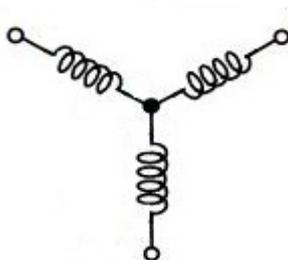


Figura 7 – Ligação em Estrela

A “Figura 8” mostra o acionamento da terceira opção. De tal modo, as impedâncias são inseridas utilizando a ligação em Triângulo.

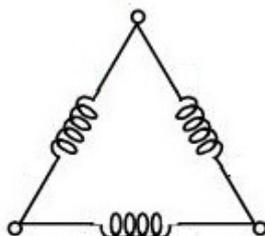


Figura 8 – Ligação em Triângulo

Portanto, temos três possibilidades de configuração em um único módulo compacto, podendo assim, realizar diferentes práticas laboratoriais alternando as posições do dispositivo de chaveamento.

#### **2.4. Retificadores não controlados monofásicos e trifásicos**

Os retificadores não controlados são aqueles que utilizam diodos como elementos de retificação. Os diodos de potência diferem dos diodos de sinal por terem uma capacidade superior em termos de nível de tensão de bloqueio (podendo atingir até alguns kV, num único dispositivo), e poderem conduzir correntes de até alguns kA. A fim de transmitir uma



vivência prática desses elementos aos estudantes, o kit que contempla essas estruturas está sendo construído com a utilização de seis diodos 1N4004, como demonstrado na “Figura 9”, que nada mais é um retificador não controlado de seis pulsos.

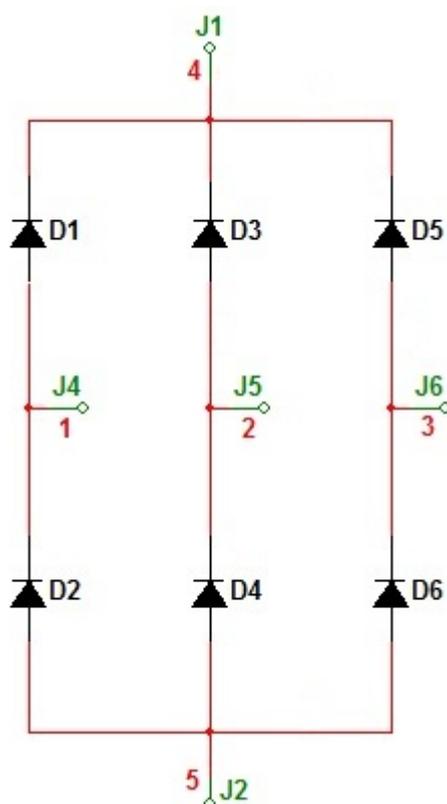


Figura 9 – Circuito de Retificadores não controlados

Com este módulo obtêm-se acesso a vários retificadores pertencentes ao conteúdo da disciplina de Eletrônica de Potência. As possíveis montagens de práticas com esse circuito são as seguintes:

- Retificador Monofásico de Meia Onda a Diodo;
- Retificador Monofásico de Onda Completa com Ponto Médio;
- Retificador Monofásico de Onda Completa em Ponte;
- Retificador Trifásico com Ponto Médio;
- Retificador Trifásico de Onda Completa (Ponte de Gratz).

Pode-se verificar que a diversidade de experiências apresentadas nessa placa acarreta um envolvimento substancial do aluno com o aprendizado, fazendo com que o mesmo se interesse pela disciplina, através da compreensão e análise de estruturas imprescindíveis ao ensino de Eletrônica de Potência.

Cabe aqui salientar, que todas as conexões elétricas são efetuadas através de bornes, uma vez que há disponibilidade de cargas de potência no CEFET-MG, do tipo resistiva, indutiva e capacitiva.



### **3. PROPOSTA DE ENSINO VOLTADO À IMPLEMENTAÇÃO DE PRÁTICAS LABORATORIAIS**

O laboratório de pesquisa precisa ser fomentado como atitude cotidiana, não apenas como atividade especial e de estrutura especial (SOUZA, 2000). Portanto, no desenvolvimento da competência humana, a questão fundamental é tornar o laboratório um ambiente didático habitual, tornando as práticas mais frequentes, aliando, assim, simplicidade e modernidade (CARMO *et al.*, 2010). Entretanto, atividades laboratoriais não são tão simples de serem elaboradas e executadas, devido à necessidade de dispositivos práticos e de baixo custo que auxiliem seu aperfeiçoamento.

Partindo dessas afirmativas propõe-se aqui, um ensino como solução de equilíbrio, possibilitando a ponderação adequada entre teoria e prática. A utilização do laboratório explorado neste documento permite que os alunos fiquem estimulados a trabalhar em equipe, sugerindo soluções, simulando circuitos, realizando projetos e avaliando detalhadamente ferramentas computacionais e de medições. 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 (DONOSO-GARCIA *et al.*, 2008).

Verifica-se também, que o aparato educacional projetado busca manter o inter-relacionamento entre Eletrônica, Potência e Controle, o que pode ser encontrado no emprego de dispositivos eletrônicos de potência e inteligência computacional, além dos controles moderno e clássico. Sabe-se que o uso continuado das práticas laboratoriais, associado ao desenvolvimento de novos laboratórios e ambientes de controle auxiliados por computador - e sua integração à estrutura curricular - é considerado um elemento imprescindível à educação em controle, constituindo uma ferramenta indispensável para o estabelecimento de seus novos paradigmas (GOMES *et al.*, 2006).

Assim, sugere-se uma profunda mudança na forma de ministrar as aulas de laboratório, não como apenas uma mera comprovação de que a teoria funciona e sem apresentação de novos desafios, mas um conjunto de aulas práticas que ofereçam novas abordagens didáticas para temas já apresentados na teoria.

O principal resultado esperado com o projeto é um domínio maior de técnicas de controle para sistemas de Eletrônica de Potência, bem como disponibilização de um laboratório de baixo custo que possa ser construído em diversas unidades do CEFET-MG e até em outras instituições de ensino, visto a carência existente nesse panorama.

Como impactos desejados, nota-se o auxílio das atividades de ensino e pesquisa no Campus III do CEFET-MG e a busca por educação de tópicos de interesse atual e comum dos centros acadêmicos. Além disso, um novo conteúdo pode ser acrescido em disciplinas, como controle não linear, contribuindo para melhoria dos cursos da instituição. Espera-se também, com a fabricação de um número considerável de laboratórios como o apresentado, a inserção da disciplina de Laboratório de Eletrônica de Potência na grade curricular do curso de Engenharia de Controle e Automação do CEFET-MG, campus III.

O que se propõe então é um ensino onde o aluno seja conduzido a refletir sobre novas aplicações aos conhecimentos adquiridos, fazendo das práticas laboratoriais um recurso indispensável na educação em engenharia. Deste modo, procura-se enfatizar a teoria como subsídio para a realização de trabalhos laboratoriais, e não uma simples memorização de conceitos teóricos, sem relacionamento com a prática.



#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresentou-se aqui o desenvolvimento de um laboratório modular multifuncional de Eletrônica de Potência, baseado na carência de recursos laboratoriais de baixo custo para complementação dos conceitos adquiridos em sala de aula. Foram descritos cinco módulos que irão compor o projeto final e que darão suporte didático ao curso de Eletrônica de Potência no campus III do CEFET-MG.

Este trabalho está inserido no contexto de uma sólida proposta pedagógica para o ensino da Eletrônica de Potência, calcada no binômio teórico-prático. Os kits apresentados oferecem total segurança aos estudantes, além de permitirem um maior convívio com sistemas eletrônicos, podendo facilitar assim, a atuação do futuro engenheiro no que diz respeito à busca de soluções de problemas da vida cotidiana. Como vantagens adicionais pode-se verificar a economia a ser obtida em relação aos demais recursos laboratoriais encontrados no mercado, facilidade de utilização e versatilidade.

Cabe ressaltar ainda, que o projeto se enquadra em uma primeira etapa de um plano mais ambicioso, no qual se buscará desenvolver um controle das placas através de microcontrolador, buscando a troca de informações entre todas as estruturas do laboratório.

Finalmente, salienta-se a importância do estudo que aborda aspectos pedagógicos e que está preocupado com a formação de uma nova metodologia de ensino dos cursos de Eletrônica de Potência, propiciando um moderno conceito de educação em engenharia e trazendo à tona seus efetivos paradigmas.

##### *Agradecimentos*

Os autores agradecem ao MEC/SESU, FNDE, CAPES, FAPEMIG, Fundação CEFETMINAS, BCE-CEFET-MG e CEFET-MG pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARMO, J.M. et al. Identificação de sistemas: Um caso prático em laboratório de controle aplicado na identificação de um sistema mecânico frágil. **Anais: XXXVIII – Congresso Brasileiro de Ensino em Engenharia.** Fortaleza – CE, 2010.

CAVIN, R.K.; JOYNER, I.Jr.; WIGGINS, V.C. “A semiconductor industry perspective on future directions in ECE education”. **IEEE Transaction on Education**, vol. 46, no. 4, p. 463-466, 2003.

DONOSO-GARCIA, P.F. et al. Ensino orientado ao projeto: uma experiência para o ensino de Eletrônica nas disciplinas de laboratório de Eletrônica e Eletrônica de Potência, *Eletrônica de Potência*, 2008.

GOMES, F.J.; ALVES, A.S.C.; MARTINS, C.H.N.; FERREIRA, A.L.S.; MUNIZ, C.A.; FARIA, P.V.A.; CÉSAR, T.C. O problema da defasagem da teoria e prática: proposta de uma solução de compromisso para um problema clássico de controle, **Anais: XXXIV Congresso Brasileiro de Ensino em Engenharia.** Passo Fundo – RS, 2006.



REIS, F.S. et al. Laboratório de Ensino da Eletrônica de Potência - Uma Experiência Construída Para e Pelos Estudantes. Eletrônica de Potência, 1999.

SANTOS, F.T.; RECH, C. Desenvolvimento de Bancada Didática para Prática das disciplinas de Eletrônica de Potência, CRICTE. Ijuí – RS, 2006

SOUZA, A.C.G. Uma estrutura curricular flexível e dinâmica. **Anais**: XXVIII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia. Ouro Preto – MG, 2000.

## **MODULAR DEVELOPMENT LABORATORY FOR IMPROVEMENT OF SKILLS AND ABILITIES IN POWER ELECTRONICS**

**Abstract:** *The present work deals with the presentation of the design of a laboratory modular multifunctional capacity development in Power Electronics, which is micromachined via a Man-Machine Language developed in C#. As the study is in its initial phase, show up the first five modules that are planned, as well as their goals and applications. The purpose of the project in question is the availability of an inexpensive educational apparatus that can be constructed in several units of CEFET-MG, which may extend to other educational institutions. It is common agreement that engineering education should support the foundation for continuous learning, which certifies the student to deal with the complex challenges of emerging and growing area. Thus, also gives a proposal aimed at teaching laboratory practices as a way to complement the theory, so that there is a better compromise of teaching through experimentation, and ensure higher quality courses in Power Electronics.*

**Key-words:** *Power Electronics, Teaching laboratory, Process Control Electronics, Engineering education.*