



## DISCIPLINAS INTEGRADORAS DO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA UFSCar

**Osmar Ogashawara**<sup>1</sup> - osmaroga@ufscar.br  
**Carlos Alberto de Francisco**<sup>1</sup> - engcarlos@hotmail.com  
**Edilson Reis Rodrigues Kato**<sup>2</sup> – kato@dc.ufscar.br  
Universidade Federal de São Carlos - UFSCar  
Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia - CCET  
<sup>1</sup>Curso de Engenharia Elétrica  
<sup>2</sup>Departamento de Computação  
Rod. Washington Luís, km 235, Caixa Postal 676

CEP 13.565-905 – São Carlos - SP

**Resumo:** *No presente trabalho são relatados as experiências com as disciplinas integradoras do 6º período do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar. As disciplinas integradoras buscam tornar o processo de construção do conhecimento mais dinâmico e interessante para os estudantes, evidenciando por meio de situações problema a importância para os futuros engenheiros do incremento de competências, habilidades, valores e atitudes relacionadas às atividades de comunicação, planejamento, criatividade, modelagem, simulação, ensaio e trabalho em equipe.*

**Palavras-chave:** *Disciplinas integradoras, Multidisciplinaridade, Projeto interdisciplinar*

### 1. INTRODUÇÃO

Os Cursos de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar foram criados em 2008, dentro do Programa de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais – REUNI, e encontram-se em processo de implantação com o ingresso das primeiras turmas de estudantes em 2009, 2010, 2011 e 2012.

Nos projetos pedagógicos dos cursos de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica da UFSCar (UFSCar, 2008a e 2008b) foi introduzido o conceito de integração em um conjunto de disciplinas que têm como objetivo a interação de conceitos e métodos das disciplinas dos semestres atual, anterior e posteriores. As disciplinas integradoras buscam tornar o processo de construção do conhecimento mais dinâmico e interessante para os estudantes, evidenciando por meio de situações problema a importância do desenvolvimento de competências, habilidades, valores e atitudes essenciais ao bom desempenho profissional dos futuros engenheiros.

Na Engenharia Elétrica estas disciplinas são agrupadas em três fases. Na primeira fase,

Realização:



Organização:





nos dois primeiros semestres, em que se concentram disciplinas do núcleo básico foram propostas as disciplinas: Iniciação à Engenharia Elétrica, Computação Científica 1 e Computação Científica 2. Estas disciplinas têm a finalidade específica para atividades de integração e de estimular os alunos ao estudo de engenharia.

Numa segunda fase, que abrange o período do terceiro ao oitavo semestre, há um conjunto de disciplinas do núcleo profissionalizante que são usadas como integradoras. Cada disciplina utiliza-se de situações problemas e apresentam soluções baseadas no conhecimento específico adquirido no momento e cada docente realiza a interação dos conceitos com outras disciplinas do semestre atual, anterior e posterior.

Na terceira fase, nono e décimo semestres, foram propostas as disciplinas de Projeto de Monografia de conclusão de curso e Desenvolvimento de Monografia de conclusão de curso para atuarem como disciplinas integradoras, abrangendo todo, ou grande parte, o conhecimento adquirido durante todo o curso.

Os primeiros relatos da implantação dos dois cursos foram apresentados no COBENGE dos anos 2009 e 2010. OGASHAWARA et al. (2009), KATO et al. (2010) e WATANABE et al. (2009) apresentaram um relato sobre as disciplinas de “Iniciação à Engenharia Elétrica” e “Iniciação à Engenharia Mecânica” respectivamente, no contexto da implementação do projeto pedagógico dos dois cursos. WATANABE et al. (2010) apresentaram um relato sobre as atividades de projetos desenvolvidos nas disciplinas de iniciação à engenharia de ambos os cursos. Estas disciplinas são as integradoras do primeiro semestre.

Neste artigo são relatadas as experiências com as disciplinas integradoras do 6º período, do curso de Engenharia Elétrica:

- 1) Sistemas de controle 2
- 2) Eletrônica de potência
- 3) Circuitos integrados lineares
- 4) Controle inteligente
- 5) Arquitetura de sistemas microprocessados

## **2. EMENTAS DAS DISCIPLINAS INTEGRADORAS**

A integração deve relacionar os conteúdos das disciplinas do semestre anterior, do semestre atual e do próximo semestre. As disciplinas do 5º semestre são: Sistemas de Controle 1, Conversão Eletromecânica de Energia, Circuitos Eletrônicos 2 e Sistemas Digitais 2 e Fenômenos de Transporte. Na disciplina Sistemas de Controle 1 são apresentados os conceitos de sistemas lineares, modelagem por equações diferenciais, função de transferência, diagrama de blocos e variáveis de estado e também a análise à resposta transitória de sistemas lineares de primeira e segunda ordem. Na disciplina de Conversão Eletromecânica de Energia são estudados os conceitos de circuitos magnéticos, dispositivos como relés, válvulas solenóides e alto-falantes, transformadores monofásicos e trifásicos, motores de indução, motores de corrente contínua, motores de passo, motores brushless e máquinas síncronas. Na disciplina Circuito Eletrônicos 2 estuda-se os amplificadores multiestágios, amplificadores realimentados, filtros ativos, geradores de sinais e osciladores de áudio. Na disciplina Sistemas Digitais 2 utiliza-se FPGA para implementação de máquinas seqüenciais síncronas e assíncronas e circuitos básicos de sistemas microprocessados. Na disciplina Fenômenos de Transporte estudou-se os processos de transferência de massa, energia e quantidade de movimento.

As ementas das disciplinas do 6º período são:



2.1 - Sistemas de controle 2: projeto de sistemas de controle: Lugar das raízes. Resposta em frequência. Projeto de controladores, avanço, atraso e avanço-atraso de fase. Controladores PID. Controle em cascata, controle por alimentação em avanço. Noções de controle de processo contínuo. Projeto de sistemas de controle via espaço de estado: posicionamento de pólos.

2.2 - Eletrônica de potência: características e princípios de operação de dispositivos semicondutores de potência. Tipos de comutação. Conversores CA/CC: retificadores não controlados, retificadores semi-controlados e retificadores controlados. Conversores CA/CA: controladores de tensão por controle de fase. Semicondutores de potência: transistores de potência BJT e MOSFET, IGBT. Conversores CA/CA: choppers de 1, 2, e 4 quadrantes. Conversores CC/CA: inversores. Conversores CA/CA: cicloconversores.

2.3 - Circuitos integrados lineares: definições, parâmetros e características principais em amplificadores operacionais. Desempenho ótimo. Configurações de uso de amplificadores operacionais, isoladores, seguidores, detetores de pico e retentores de amostra. Integradores e diferenciadores. Amplificadores logarítmicos e antilogarítmicos. Comparadores de histerese. Geradores de funções periódicas e não periódicas. Retificadores eletrônicos. Filtros ativos

2.4 - Controle inteligente: fundamentos de Inteligência artificial (IA). Linguagens computacionais em IA. Representação do conhecimento e métodos para resolução de problemas. Sistemas especialistas, Lógica Nebulosa e Redes Neurais e suas aplicações em sistemas de controle em engenharia elétrica.

2.5 - Arquitetura de sistemas microprocessados: introdução à arquitetura de computadores: elementos (unidade central de processamento, memória, ULA, multiplexadores, sistemas de entrada e saída). Controle microprogramado. Arquitetura e organização de um microprocessador. Hardware de microcomputadores: mapeamento em memória, linhas dos microprocessadores. Programação de microcomputadores: algoritmos, fluxogramas, linguagem de máquina. Aplicações de sub-rotinas utilizando as linguagens assembly e C.

Definiu-se que a integração seria realizada através de projetos que envolvessem o conhecimento de conteúdos (partes) das disciplinas. Os docentes das disciplinas e a coordenação do curso definiram os projetos integradores, e discutiu-se a sincronização dos conhecimentos das disciplinas do mesmo semestre para viabilizar os projetos. Estes projetos estão relatados no item 3.

### **3. PROJETOS DAS DISCIPLINAS INTEGRADORAS**

#### **3.1 – Controle de velocidade de motor de corrente contínua.**

O controle de velocidade é aplicado em esteiras transportadoras, veículos auto guiados, robôs industriais, esteiras ergométricas, veículos elétricos, brinquedos, etc. O motor utilizado nestas aplicações pode ser motor de indução, motor brushless, motor de passo, motor de relutância variável, mas o procedimento de projeto é o mesmo para qualquer máquina. Neste projeto estão relacionados:

- a) Motor de corrente contínua.
- b) Acionamento do motor feito com conversor CC/CC com modulação por largura de pulso (PWM)
- c) Controlador Proporcional, Integral, Derivativo (PID)



A modelagem matemática do motor CC, a obtenção dos parâmetros do motor e a simulação são apresentadas aos alunos na disciplina de Iniciação à Engenharia Elétrica (1º período). Nesta primeira disciplina integradora os alunos conhecem a importância do modelamento matemático, a importância da simulação e realizam experimentos para comparar a resposta real do motor com a resposta obtida pela simulação. Relaciona-se os conhecimentos de Cálculo 1, Séries e Equações Diferenciais, Métodos de Matemática Aplicada, Cálculo Numérico, Fundamentos de Eletromagnetismo e Computação Científica 1, informa-se que esta modelagem será estudada com maiores detalhes nas disciplinas de Conversão Eletromecânica de Energia e Sistemas de Controle 1, ambas do 5º período.

Na figura 1 tem-se ilustrado o circuito equivalente do motor cc.

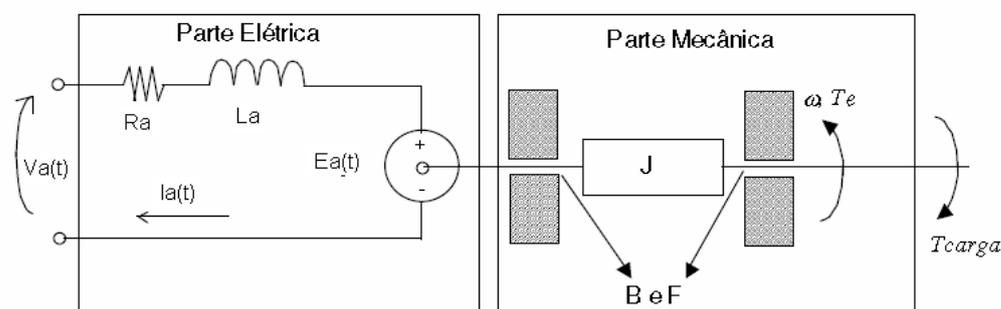


Figura 1 – circuito equivalente do motor cc

A parte elétrica pode ser equacionada pela lei de Kirchhoff de tensão (estudado em Circuitos Elétricos 1, 3º período):

$$V_a = E_a + \left( R_a \cdot I_a + L_a \frac{dI_a}{dt} \right) \quad (1)$$

Onde:  $V_a$  = tensão de alimentação do motor (Volt)  
 $R_a$  = resistência do enrolamento de armadura (Ohm)  
 $L_a$  = indutância do enrolamento de armadura (Henry)  
 $I_a$  = corrente no enrolamento de armadura  
 $E_a$  = força eletromotriz induzida (Volt)  
 A força eletromotriz induzida é determinada por:

$$E_a = K_E \cdot \omega_r \quad (2)$$

Com:  $K_E$  = constante da força eletromotriz  
 $\omega_r$  = velocidade angular do eixo do motor (rad/s)

O conjugado eletromagnético produzido pode ser determinado pela força de Lorentz (Fundamentos de Eletromagnetismo, 3º período) e calculado como:

$$T_e = K_T \cdot I_a \quad (3)$$

Com:  $K_T$  = constante de conjugado

O equacionamento mecânico pode ser determinado pelas leis de movimento rotativo (Fundamentos de Mecânica – 2º período):

$$T_e = J \cdot \frac{d\omega_r}{dt} + B \cdot \omega_r + F + T_{carga} \quad (4)$$

Onde:  $J$  = momento de inércia total refletida no eixo do motor ( $\text{kg m}^2$ )  
 $B$  = coeficiente de amortecimento ( $\text{Nm/rad/s}^{-1}$ )  
 $F$  = atrito seco (Nm)  
 $T_{carga}$  = conjugado da carga referido ao eixo do motor (Nm)



As equações elétricas e mecânicas são exemplos de equações diferenciais que são estudadas na disciplina (Séries e Equações Diferenciais, 2º período). Nas disciplinas de Iniciação à Engenharia Elétrica (1º período) e Conversão Eletromecânica de Energia (5º período) são feitos experimentos que determinam os parâmetros das equações. Para simular o motor, a partir das equações diferenciais, utilizam-se os conceitos estudados na disciplina de Cálculo Numérico (4º período) e simula-se usando o Matlab (Computação Científica 1, 1º período).

Outra abordagem para o modelo do motor cc é o conceito de função de transferência. Aplica-se a transformada de Laplace nas equações diferenciais (Métodos de Matemática Aplicada, 4º período) obtendo-se as seguintes funções de transferência:

$$\frac{\Omega_r(s)}{V_a(s)} = \frac{K_T}{(J \cdot s + B)(R_a + L_a s) + K_T K_E} \quad (5)$$

$$\frac{\Omega_r(s)}{T_{res}(s)} = \frac{(R_a + L_a s)}{(J \cdot s + B)(R_a + L_a s) + K_T K_E} \quad (6)$$

A equação 5 relaciona a velocidade angular com a tensão de alimentação e a equação 6 relaciona a velocidade angular com o conjugado resistente (carga + atrito). Esta modelagem é desenvolvida na disciplina Sistemas de Controle 1 (5º período) e depois utilizada nas disciplinas Sistemas de Controle 2 (6º período) e Eletrônica de Potência (6º período).

A equação 5 mostra que a velocidade do motor pode ser regulada controlando-se a tensão de alimentação  $V_a$  do motor. A variação da tensão pode ser feita usando conversores eletrônicos de potência. Pode-se usar um retificador controlado monofásico ou trifásico com dispositivos semicondutores (SCR - ver figura 2) ou um conversor CC/CC com modulação por largura de pulso (PWM - ver figura 3) com transistor de potência. Estes dois tipos de conversores são estudados na disciplina Eletrônica de Potência (6º período) bem como os dispositivos semicondutores de potência (SCR e Transistor de potência).

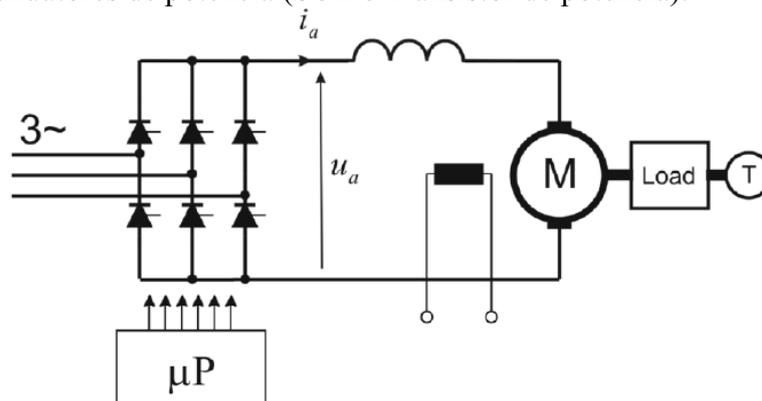


Figura 2 – retificador trifásico controlado

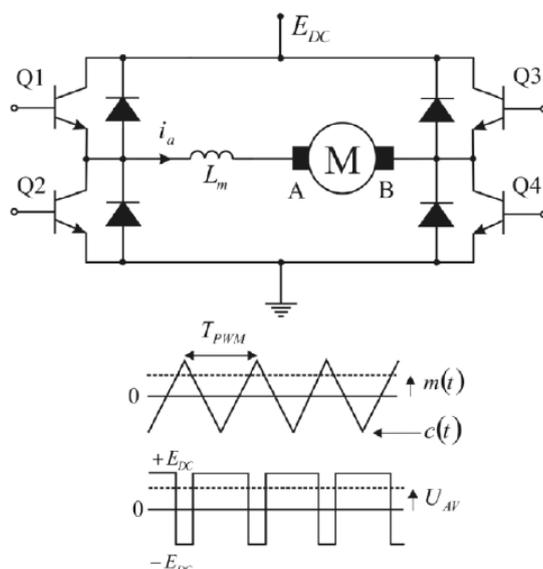


Figura 3 – conversor recortador PWM e forma de onda

Na disciplina Eletrônica de Potência (6º período) é projetado, montado e testado o conversor ilustrado na figura 3.

Para realizar o controle de velocidade do motor é necessário um controlador. No projeto será usado um controlador Proporcional, Integral, Derivativo (PID). Os conceitos teóricos dos compensadores e controladores são estudados na disciplina Sistemas de Controle 2 (6º período), assim como a metodologia de projeto dos mesmos. Para o ajuste do PID pode ser usado o método empírico proposto por Ziegler-Nichols (Ogata, 2010). O PID compara o valor desejado da variável controlada, chamado de SETPOINT (SP) com o valor real da variável controlada, chamada PROCESS VARIABLE (PV). A diferença erro = SP- PV é o erro da variável controlada. Este erro é processado PID conforme a equação:

$$c(t) = K_p \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{d}{dt} e(t) \right) \quad (7)$$

Onde o termo proporcional é representado pelo ganho  $K_p$  x  $e(t)$ , o termo integral é representado pela integral de  $e(t)$  e o termo derivativo é representado pela derivada de  $e(t)$ .

A implementação do controlador pode ser feita usando amplificadores operacionais, conforme ilustrado na figura 4. Estes circuitos são apresentados aos calouros na disciplina Iniciação à Engenharia Elétrica (1º período) e estudados na disciplina Circuitos Integrados Lineares (6º período). Para entender o funcionamento eletrônico do amplificador operacional são necessários os conhecimentos adquiridos nas disciplinas Circuitos Elétricos 1 e 2 (3º e 4º períodos), Circuitos Eletrônicos 1 e 2 (4º e 5º períodos).

Atualmente o controlador PID é microprocessado, não se faz com amplificadores operacionais. O microprocessador é objeto de estudo da disciplina Arquitetura de Sistemas Microprocessados (6º período), mas requer os conceitos vistos nas disciplinas de Sistemas Digitais 1 e 2 (4º e 5º período). No 6º período os alunos ainda não estão aptos para desenvolver o controle PID microprocessado, isto pode ser feito no 7º período nas disciplinas Aplicações de Microcontroladores e Controle Digital.

Para controlar a velocidade do motor podem-se usar técnicas de inteligência artificial (IA) como a lógica nebulosa (fuzzy) e redes neurais (Cirstea et al., 2002). Estas técnicas são estudadas na disciplina Controle Inteligente (6º período), onde pode-se fazer a simulação do



controle de velocidade do motor cc usando as técnicas de IA. A aplicação real do controle inteligente pode ser feito na disciplina Aplicações de Microcontroladores (7º período).

O projeto é desenvolvido em duas disciplinas. O projeto, montagem e teste do conversor PWM é feito na disciplina Eletrônica de Potência. O projeto e implementação do sistema de controle em malha fechada com controlador PID é feito na disciplina Sistemas de Controle 2. Na disciplina Circuitos Integrados Lineares desenvolve-se os circuitos amplificadores (proporcional), integradores e derivadores. Na disciplina Controle Inteligente simula-se o sistema em malha fechada usando lógica fuzzy e redes neurais.

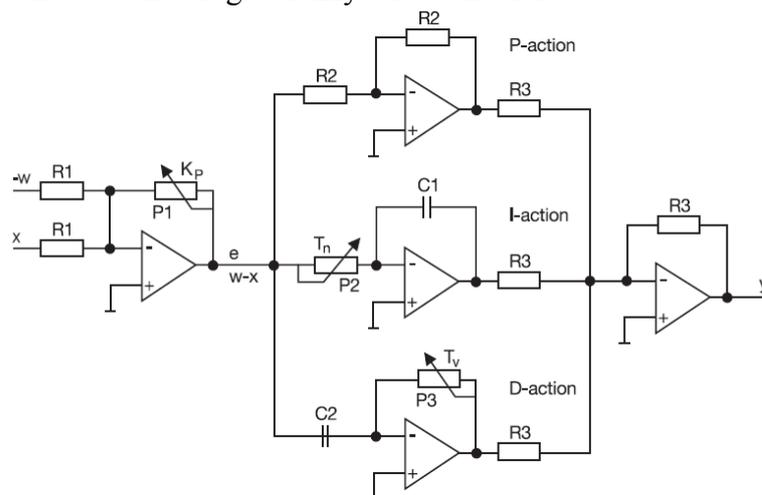


Figura 4 – controlador PID feito com amplificadores operacionais.

Conforme descrito nos parágrafos anteriores, o projeto envolve conceitos de várias disciplinas, possibilitando a realização da integração dos diversos conhecimentos. A integração é viável se houver um planejamento prévio envolvendo todos os docentes das disciplinas integradoras. Na figura 5 mostra-se a foto de um kit que foi desenvolvido para o projeto de controle de velocidade. É composto por um motor cc, um encoder ótico (sensor de velocidade), um conversor PWM, um tacômetro microprocessado (mostra no display a velocidade em rotações por minuto (RPM)).

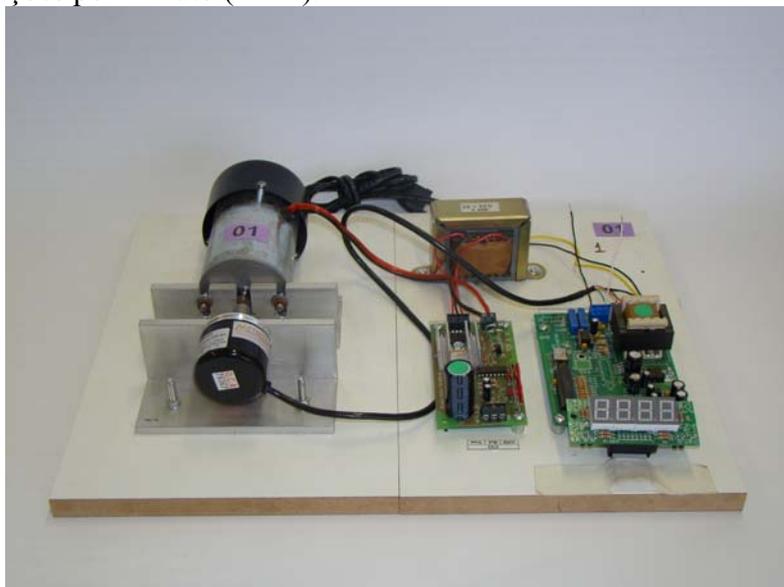


Figura 5 – kit desenvolvido para o projeto de controle do motor CC



### 3.2) Projeto de Controle de Temperatura

O controle de temperatura tem aplicações em diversos segmentos industriais, comerciais e serviços. Exemplos: controle de temperatura da caldeira, controle de temperatura ambiente de um estabelecimento comercial, controle de temperatura de autoclave para uso odontológico, etc. Neste projeto estão relacionados:

- a) Processo térmico: estudado na disciplina Fenômenos de Transporte (5º período) e na disciplina Sistemas de Controle 1 (5º período)
- b) Conversor de potência para aquecimento: pode ser um conversor CA/CA (controle de fase ou controle de ciclo integral) ou um conversor CA/CC (retificador controlado) ou um conversor CC/CC (recortador PWM), todos estudados na disciplina Eletrônica de Potência (6º período).
- c) Controlador Proporcional Integral Derivativo: semelhante ao controle de velocidade.
- d) Controlador Inteligente: semelhante ao controle de velocidade.

Este projeto é desenvolvido na disciplina de Iniciação à Engenharia Elétrica (1º período) e depois resgatado no quinto e sexto período. Com o controle PID mostra-se a aplicação real de derivada e integral que são estudados na disciplina de Cálculo 1 (1 período), apresentam os amplificadores operacionais e o conversor PWM. Na disciplina Fenômenos de Transporte (5º período) estuda-se o processo de transferência de calor e as leis que regem o fenômeno, na disciplina Sistemas de Controle 1 (5º período) apresenta-se o modelo de processos térmicos para fins de controle. Na figura 6 está ilustrado o kit desenvolvido para este projeto.

A planta utilizada é um recipiente de plástico e uma resistência elétrica de 10 W. Para alimentar a resistência utiliza-se um conversor PWM. Como sensor de temperatura utiliza-se o circuito integrado LM35. O controlador PID é implementado usando amplificadores operacionais.

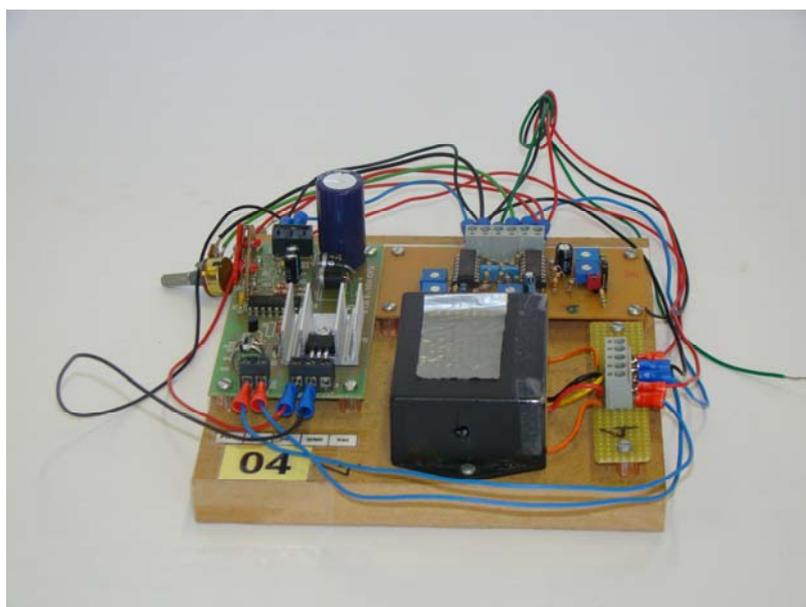


Figura 6 – kit desenvolvido para o projeto do controle de temperatura

O modelo do processo pode ser obtido experimentalmente, conforme descrito em Ogata, 2011. Aplica-se uma entrada degrau de amplitude conhecida, mede-se a variável de



controlada em função do tempo. A partir do gráfico Temperatura x tempo obtém a função de transferência, conforme mostrado na figura 7.

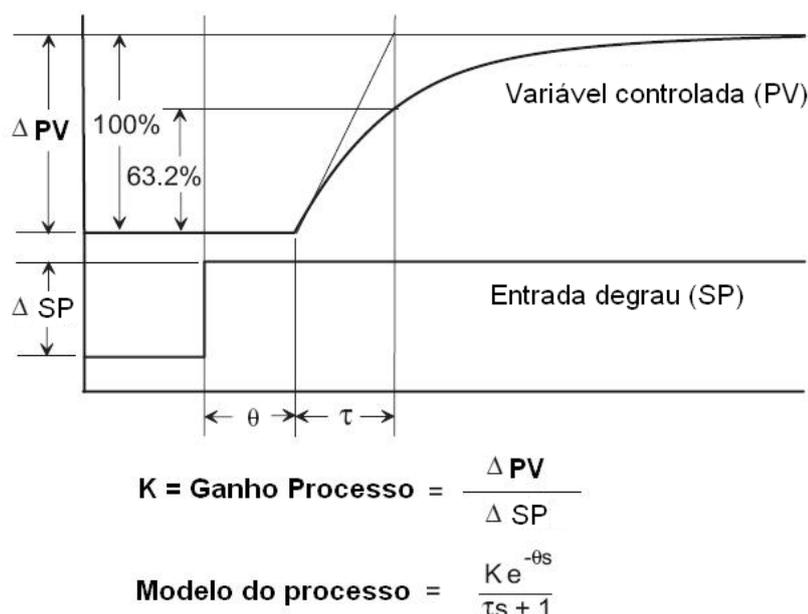


Figura 7 – procedimento para obtenção da função de transferência do processo térmico.

Conhecendo-se a função de transferência do processo é possível projetar os compensadores e controladores usando técnicas como Lugar das Raízes, Diagramas de Bode, Ziegler Nichols. Estas técnicas são estudadas na disciplina Sistema de Controle 2. A implementação do controlador PID segue o mesmo procedimento adotado no projeto de controle de velocidade do motor. O conversor PWM é fornecido montado, mas o ajuste do deve ser feito no projeto. O conversor PWM é estudado na disciplina Eletrônica de Potência.

#### 4. CONCLUSÕES

As atividades de projeto das disciplinas integradoras do curso de Engenharia Elétrica da UFSCar, têm proporcionado aos estudantes a oportunidade de trabalhar na resolução de problemas de engenharia, desde o início do curso, sempre buscando evidenciar a importância e a inter-relação entre os conhecimentos das áreas básicas e específicas, e entre a teoria e o experimento.

As atividades de projeto do controle de velocidade do motor cc e o projeto do controle de temperatura despertam grande interesse e envolvimento dos estudantes, que se mostram capazes de superar as dificuldades iniciais de entendimento e aplicação de conceitos e conhecimentos básicos e conhecimentos específicos de eletrônica, controle, máquinas elétricas.

A metodologia de ensino empregada evidencia aos estudantes a importância das atividades de modelagem e simulação no processo de desenvolvimento de um projeto de engenharia, antes de se construir um protótipo para testes.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CIRSTEA, M.N., DINU, A., KHOR, J.G., McCORNICK M. **Neural and fuzzy logic control of drives and power systems**. Oxford: Newnes, 2002.

KATO, E.R.R., OGASHAWARA, O., MORANDIN JR, O. Implantação do curso de engenharia elétrica da UFSCar: acompanhamento da disciplina integradora “Iniciação à engenharia elétrica”. ”. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 38, 2010, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: UFC, 2010. 1CD ROM.

OGASHAWARA, O. *et al.* “Iniciação à Engenharia Elétrica” como parte do Processo de Implantação do Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia Elétrica da UFSCar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 37., 2009, Recife. **Anais...** Recife: UPF, 2009.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS. **Projeto Pedagógico - Curso de Graduação em Engenharia Mecânica**. São Carlos: UFSCar, 2008a.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS. **Projeto Pedagógico - Curso de Graduação em Engenharia Elétrica**. São Carlos: UFSCar, 2008b.

WATANABE, F.Y. *et al.* A Disciplina “Iniciação à Engenharia Mecânica” no Contexto do Processo de Implantação do Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia Mecânica da UFSCar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 37., 2009, Recife. **Anais...** Recife: UPF, 2009.

WATANABE, F.Y. *et al.* Desenvolvimento de Atividades de Projeto nas Disciplinas de “Iniciação à Engenharia”. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 38., 2010, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: UFC/UNIFOR, 2010.

## INTEGRATIVE DISCIPLINES OF ELECTRICAL ENGINEERING FEDERAL UNIVERSITY OF SAO CARLOS – UFSCAR

**Abstract:** *In the present paper it's reported experiments integrating the disciplines of the 6th period of the course of Electrical Engineering, Federal University of Carlos - UFSCar. The "integrative disciplines" seek to make the process of knowledge construction more dynamic and interesting for students, showing through real problems and situations the importance for the future engineers of the increase of abilities, competences, values and attitudes related to communication activities, planning, creativity, modeling, simulation, testing and teamwork.*

**Key-words:** *Integrative discipline, Multidisciplinary, Interdisciplinary design*