

## **ABORDAGEM DO ENSINO DE CONTROLE PARA ALUNOS DO ENSINO MÉDIO TÉCNICO DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

Helton R. S. Sereno – helton.sereno@ifrj.edu.br

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro – Campus Volta Redonda

Av. Dr. Antônio Barreiros 212, Aterrado

27213-100 – Volta Redonda – RJ

Monique Pacheco do Amaral – monique.amaral@ifrj.edu.br

Péricles Guedes Alves – pericles.alves@ifrj.edu.br

**Resumo:** *Sistemas de controle compõem uma das áreas mais promissoras da engenharia e de grande importância na automação, tradicionalmente ensinado nos curso de engenharia apresenta certo grau de complexidade e exige um conhecimento matemático prévio adquirido, em geral, somente em cursos superiores. Alunos de ensino médio-técnico que atuam em empresas onde necessitam sintonizar controladores eletrônicos industriais, em geral possuem um conhecimento superficial que não possibilitam a correta alteração dos parâmetros destes controladores. Este trabalho apresenta a abordagem adotada para ministrar a disciplina de Introdução a Controle para alunos do curso técnico de automação industrial visando conhecer como a alteração de cada parâmetro de um controlador PID afeta o sistema controlado de modo que possam de forma consciente efetuar os ajustes necessários.*

**Palavras-chave:** *Ensino de Controle, Ensino Médio, Ensino Técnico*

### **1 INTRODUÇÃO**

A área de controle é altamente difundida na engenharia, atualmente novas técnicas vêm sendo inseridas e sistemas automáticos estão, cada vez mais, ganhando espaço no nosso dia-a-dia nos trazendo maior conforto, segurança e qualidade de vida. No início os sistemas eram puramente mecânicos, e o objetivo de controle visava a melhoria da resposta destes sistemas, a evolução das técnicas de controle possibilitou um melhor aproveitamento de energia, aumento de confiabilidade e resultando em um desempenho adequado. Um exemplo bastante didático é o problema de levitação magnética de uma pequena esfera de aço (GOMES *et al*, 2004). Atualmente tem-se popularizado bastante o emprego de inteligência artificial em controle e automação, como lógica fuzzy, redes neurais e algoritmos genéticos, que geralmente são aplicados a sistemas multivariáveis, com alto grau de não-linearidade, e de difícil modelagem analítica, obtendo-se resultados viáveis.

Tradicionalmente, o ensino de controle demanda o conhecimento prévio de matemática superior, bem como o conhecimento físico do sistema que se deseja controlar para que se possa obter o seu modelo matemático.

Da modelagem matemática, surge a possibilidade de realização do controle do sistema com uma ou mais variáveis de entrada ou saída. A complexidade das equações diferenciais oriundas da modelagem no domínio do tempo pode ser contornada equacionando o sistema no domínio da frequência, utilizando-se a solução de sistemas por transformadas de Laplace.

Nos cursos de engenharia os alunos são direcionados após a modelagem do sistema, a buscar soluções de controle, seja com modelos no espaço de estados ou no domínio da frequência, que atendam as necessidades do projeto, observando seu comportamento a estímulos e estudando sua estabilidade por diversas técnicas. Durante a fase de projeto são realizadas simulações de comportamento a diferentes estímulos até que o controlador projetado atenda as especificações e, em regime permanente de trabalho, possa responder de forma satisfatória.

Em geral, são ensinados sistemas básicos que quando combinados aproximam-se dos sistemas reais e possuem um comportamento satisfatoriamente similar.

## **2 APLICAÇÃO DE CONTROLE NAS INDÚSTRIAS**

Todo processo industrial, por mais complexo que possa parecer, pode ser representado por diversos subsistemas cada qual com um objetivo específico e, em geral, com sistemas de controle próprio podendo ser um controlador, PLC ou um sistema digital de controle. Como esses processos são dinâmicos e apresentam um desgaste natural, os parâmetros dos controladores podem precisar de ajustes ao longo da operação.

Apesar de muitos controladores industriais apresentarem sistemas de sintonia automática dos parâmetros de controle, os valores iniciais e as modificações devem ser inseridas manualmente, ou por rede, para otimizar o desempenho.

Um técnico em automação possui diversas funções dentro de uma indústria podendo atuar desde a área operacional, na manutenção de equipamentos, até auxiliar a equipe de engenharia no desenvolvimento e implementação de novos projetos. Quando atua na área de manutenção/operação, é necessária a manutenção de plantas e sistemas onde o controle não está respondendo de forma satisfatória.

Sabe-se que para se conhecer os ganhos ótimos de controle, é necessária a modelagem completa do sistema a ser controlado, esta modelagem é inviável para um profissional de nível médio-técnico e, principalmente numa indústria, onde não há tempo hábil para que este modelo seja obtido.

Neste caso, o responsável pela alteração dos parâmetros de controle, deve ter o conhecimento de como os ganhos do controlador, por exemplo, o clássico controlador PID, afetam o sistema. Esta alteração deve efetivamente trazer o sistema a ser controlado para o comportamento desejado. As modificações dos parâmetros, podem ser feita de forma aleatória simplesmente modificando o valor e analisando o comportamento do sistema, desenvolvendo desta forma um conhecimento empírico experimental ou pode ser feita baseado em um conhecimento teórico experimental adquirido durante a formação do técnico responsável.

## **3 O MERCADO DE TRABALHO E O ENSINO TECNICO DO PAÍS**

Diversas entidades apontam a falta de mão de obra qualificada impactando diretamente na competitividade da indústria que está em ascensão, indicando um futuro “apagão” de técnicos e engenheiros. (Sondagem especial, 2007), o quadro descrito por POCHMANN, *et al* 2007 mostra que o setor industrial apresenta a maior demanda por profissionais com qualificação profissional, o autor ainda revela que somente 18,3% do total de pessoas que procuram por trabalho no Brasil, têm qualificação adequada, para imediatamente atender ao perfil dos empregos abertos.

No cenário atual ainda é tímida a formação profissional pela modalidade de educação profissional e tecnológica, considerando as 170 mil vagas ofertadas. (PACHECO, 2010)

Em resposta essa demanda de qualificação o governo federal implementou os Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia relacionada ao conjunto de políticas para educação profissional e tecnológica. Os institutos surgem com a concepção de educação

profissional e tecnológica que devem orientar as ações de ensino, pesquisa e extensão integrada entre ciência, tecnologia e cultura. Por força de lei os institutos federais oferecem no mínimo 50% de suas vagas para cursos técnicos aumentando desta forma a oferta de qualificação. Os institutos são formados por uma estrutura multi-*campi* onde cada campus possui cursos que atendam ao perfil regional. (CAETANA, 2009)

#### **4 CURSO TÉCNICO EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL NO CAMPUS VOLTA REDONDA**

Instalado na cidade de Volta Redonda em agosto de 2008, o campus do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, IFRJ, que leva o nome da cidade oferece, desde 2009, o curso técnico em automação industrial na modalidade integrado (onde o aluno cursa o ensino médio e técnico) visando atender ao atual déficit e a crescente demanda por mão-de-obra do Vale do Paraíba Fluminense devido à instalação de novas empresas, inicialmente na área metal-mecânica e seguida pela implementação de novos parques industriais.

O curso concebido em conjunto com profissionais de empresas locais possui uma duração de sete períodos, três anos e meio, oferecendo aos alunos o contato com tecnologias, equipamentos e laboratórios, compatíveis com os existentes nas empresas da região. Existindo atualmente os laboratórios de Automação e Instrumentação, Eletricidade e Eletrônica, Metrologia, Física e Química além de espaços multimídia.

Na grade do curso o aluno estuda disciplinas de eletrônica, instrumentação, programação em PLC, redes industriais, introdução a controle, sistemas digitais de controle, entre outras.

Normalmente em cursos técnicos, os alunos são introduzidos às técnicas de controle de forma superficial não explorando seu potencial pela falta de conhecimento matemático comentando anteriormente, aprendendo somente como cada ação de controle atua em um sistema através de gráficos de resposta.

Neste curso o aluno é levado a desenvolver o conhecimento de controle baseado em experimentos práticos desenvolvidos em laboratório.

#### **5 PROPOSTA DE ENSINO DE CONTROLE**

Nesta seção iremos apresentar como é ministrada a disciplina de Introdução a Controle, ministrada no 5º período do curso. Esta disciplina possui uma carga de seis aulas semanais, totalizando 81 horas/semestre, as aulas devem ser expositivas e em laboratório para facilitar o aprendizado do aluno.

Como o curso iniciou-se em 2009, foi ministrada pela primeira vez no primeiro semestre de 2011 a disciplina de Introdução a Controle com essa abordagem, que foi desenvolvida pelos autores ao longo do planejamento realizado no segundo semestre de 2010.

O curso é iniciado apresentando ao aluno o que é controle e onde se aplica. É estabelecido o conceito de que controle é a área que permite o uso racional da energia de um sistema para que ele desempenhe a tarefa pretendida podendo até ter sua natureza alterada. Neste ponto são mostrados exemplos e sistemas clássicos de controle como o pêndulo invertido, a levitação magnética e os clássicos sistemas massa-mola, esses exemplos são utilizados para mostrar a importância da modelagem matemática na implementação de controle.

Após essa exposição inicial, é apresentado um histórico dos sistemas de controle automático fazendo um paralelo com o manual, iniciando com o clássico “piloto” da máquina a vapor de Watt e evoluindo até os controladores industriais modernos.

Após essa primeira introdução os alunos são apresentados ao sistema de controle ON/OFF, já vivenciado em alguns projetos de eletrônica digital porém sem sua formalização. Neste momento, são estudadas a forma de resposta de alguns sistemas a esse controlador.

Para a parte prática do curso são utilizadas duas plantas didáticas (Figura 1) que permitem aos alunos a implementação das ações de controle e a visualização do comportamento das variáveis de controle e variáveis controladas.

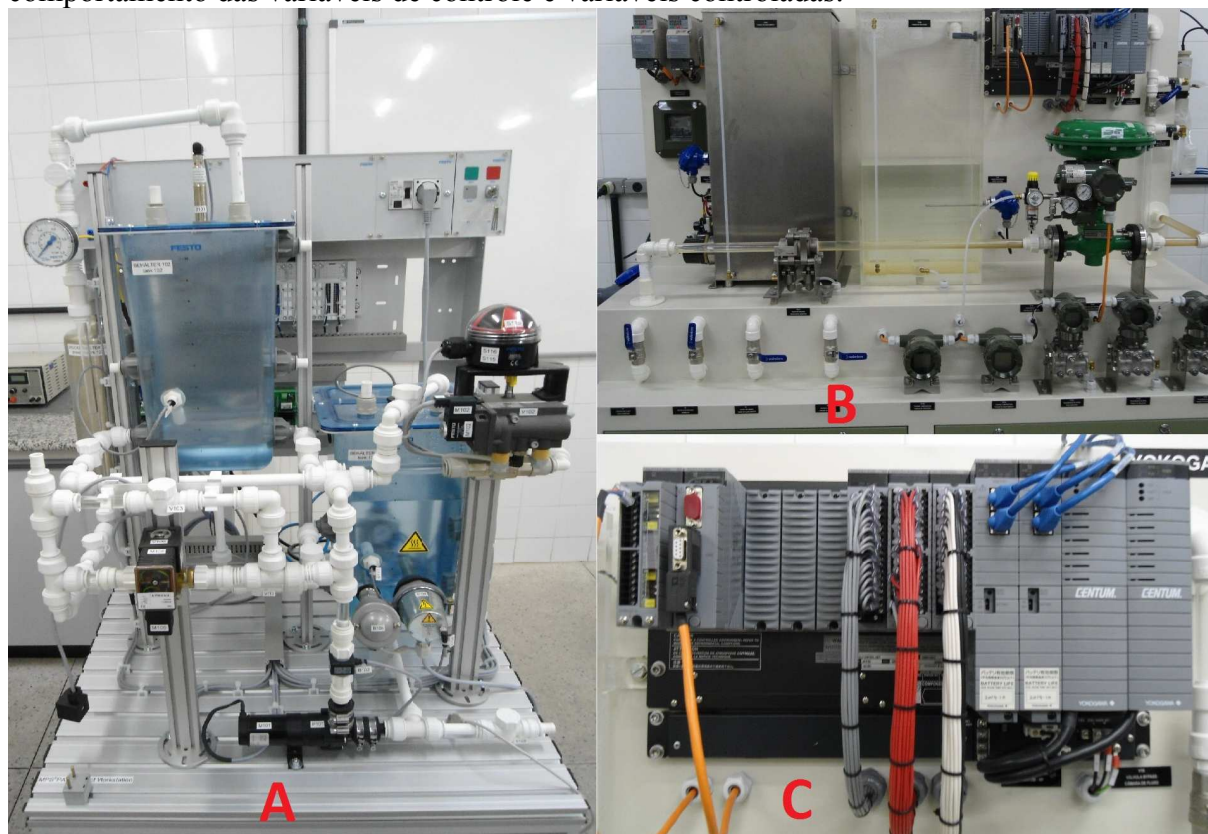


Figura 1 – Plantas didáticas

A planta mostrada na Figura 1A, fornecida pela empresa FESTO, possibilita o controle das grandezas temperatura, vazão, pressão e nível em diversas configurações de controle. A planta possui sensor do tipo ultra-som para a medição de nível, um PT-100 para temperatura, um transdutor de vazão com a resposta em frequência e um sensor de pressão com a resposta de 0 a 10V. Como atuadores, possui uma bomba acoplada a um motor DC com tensão de 0 a 24 V, uma válvula proporcional com corrente de 4 a 20 mA e uma resistência para aquecimento da água.

O controle da planta pode ser feita através de um PLC do próprio fabricante integrado à planta ou via software proprietário que permite as ações de controle ON/OFF além das ações de controle P, I e D e suas variações (Figura 2) para todas as grandezas envolvidas.

O software utilizado para o controle permite a simultânea representação gráfica da variável controlada, saída de controle e *set-point*. Também é possível a alteração de forma dinâmica dos ganhos das ações de controle permitindo uma maior flexibilidade no ajuste. A tela com as curvas de resposta pode ser salva em formato de imagem ou os dados em formato de planilha eletrônica para posterior utilização.

Após a conclusão do experimento, é possível a navegação no gráfico através de botões de acesso podendo visualizar pontos específicos do gráfico.

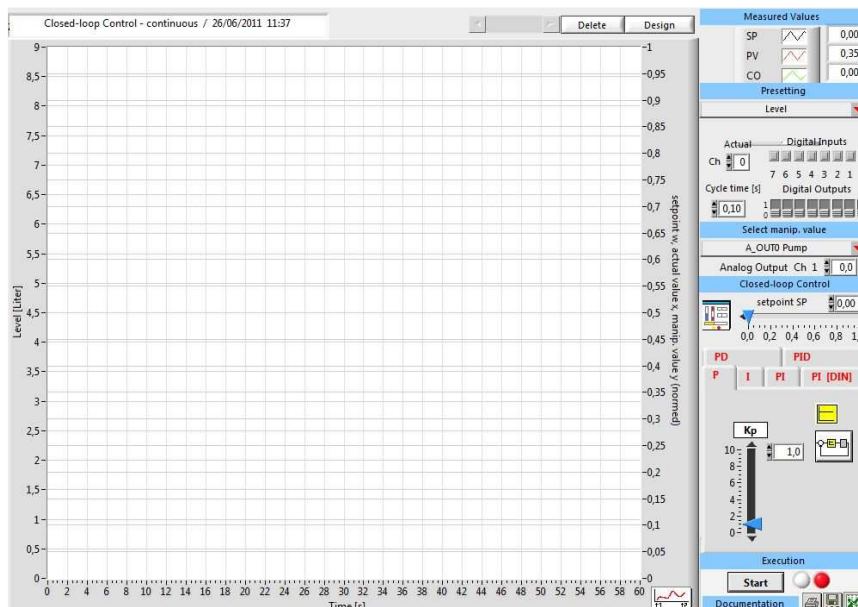


Figura 2 – Interface de controle

A planta em questão apresenta a limitação de não permitir o controle em cascata via software sendo necessária a implementação via PLC.

A planta mostrada na Figura 1B, fornecida pela empresa YOKOGAWA, possibilita o controle via SDCD e é equipada com equipamentos industriais onde há redundância nos sistemas de controle (Figura 1C), possibilitando ao aluno conhecer e simular processos reais. Além das grandezas da primeira planta, esta possibilita o controle de pH e por se tratar de equipamentos industriais o controle de vazão das bombas é feito com inversores de frequência, possui também as redes Ethernet, Profibus, Fieldbus e 4-20mA+Hart. O software possibilita também diversas alternativas de controle além de possibilitar o controle em cascata.

Para as notas referentes ao primeiro bimestre, foram avaliados a apresentação de trabalho envolvendo o conhecimento de controladores industriais e, em paralelo com as disciplinas de Eletrônica Analógica I e Eletrônica Digital II foram desenvolvidos trabalhos práticos (controle de nível, temperatura, posição, rotação, etc) com controladores tipo ON/OFF e apresentados aos professores dessas disciplinas. Nos trabalhos foram utilizados sensores contínuos para que os alunos desenvolvessem os projetos utilizando amplificadores operacionais e não somente portas lógicas.

Complementando os projetos citados, foi feito um trabalho visando estimular a percepção dos alunos em relação ao comportamento das saídas de controle e da variável controlada na planta da empresa FESTO. Neste trabalho a turma foi dividida em grupos e cada grupo ficou responsável por uma grandeza da planta, durante o trabalho os grupos deveriam variar os valores de máximo e mínimo do controlador ON/OFF e fazer a comentários sobre o comportamento do controlador pela ótica da variável controlada bem como pela saída de controle.

Após essa etapa, foram introduzidos os controladores contínuos e conceitos como tempo de subida, tempo de estabilização e etc.

Para o ensino da ação proporcional foi comparado à resposta do sistema como a resposta de um conjunto massa mola, A força  $F$  exercida pela mola proporcional a deformação  $\Delta x$ . Após uma explanação teórica em sala, a turma foi dirigida ao laboratório para que, experimentalmente, fazendo uso da planta da FESTO o aluno possa compreender a relação entre o comportamento da variável controlada e a saída de controle em um controle

puramente proporcional. Os experimentos são realizados para todas as grandezas disponíveis na planta variando parâmetros do controlador.

Após o ensino da ação proporcional, alguns conceitos foram dados aos alunos para o melhor entendimento da ação derivativa. Para que os alunos entendessem a derivada, foram utilizados conceitos físicos como velocidade instantânea e velocidade média com variações de tempo tendendo a zero. Experimentalmente a ação derivativa foi comparada ao comportamento de um amortecedor, para ilustração foi utilizado o sistema de abertura de malas do automóvel do professor.

Em laboratório os alunos puderam perceber como a ação derivativa provoca uma oscilação na saída de controle e como ela atua sobre a variável controlada, foi destacado que a ação derivativa não consegue trazer a variável controlada para o *set-point* permanecendo o erro de *off-set*.

O conceito de integral foi passado aos alunos para que possam entender melhor o conceito da ação integral, foi feita uma análise de integral como um somador de passos infinitesimais, tendendo a zero, e como a área do gráfico sobre a curva.

Em laboratório os alunos puderam perceber como se manifesta a ação integral, permitindo a eliminação do erro de *off-set*, a diminuição do tempo de subida e afetando outras características.

As combinações das ações de controle, PD, PI e PID são estudadas nas plantas para as grandezas disponíveis sempre sob a ótica da variável controlada e a saída de controle.

Os métodos de ZIEGLER-NICHOLS para sintonia de controladores PID (OGATA, 2010) também são vistos no curso, os parâmetros são apresentados em forma de tabela sem dedução e posteriormente vistos na prática nas plantas.

Todas as atividades desenvolvidas em laboratório são seguidas de relatórios para avaliação. No segundo bimestre, de forma similar ao primeiro, foram desenvolvidos, além dos trabalhos na planta didática, trabalhos práticos onde os alunos deveriam utilizar os conhecimentos de eletrônica para montar um controlador PID utilizando amplificadores operacionais para o controle de um sistema Motor-Gerador (Figura 3). Os trabalhos deveriam ser apresentados possibilitando um ajuste do *set-point*, modificação do ganho através de potenciômetros e cada grupo deveria buscar o melhor ajuste para o comportamento do sistema.

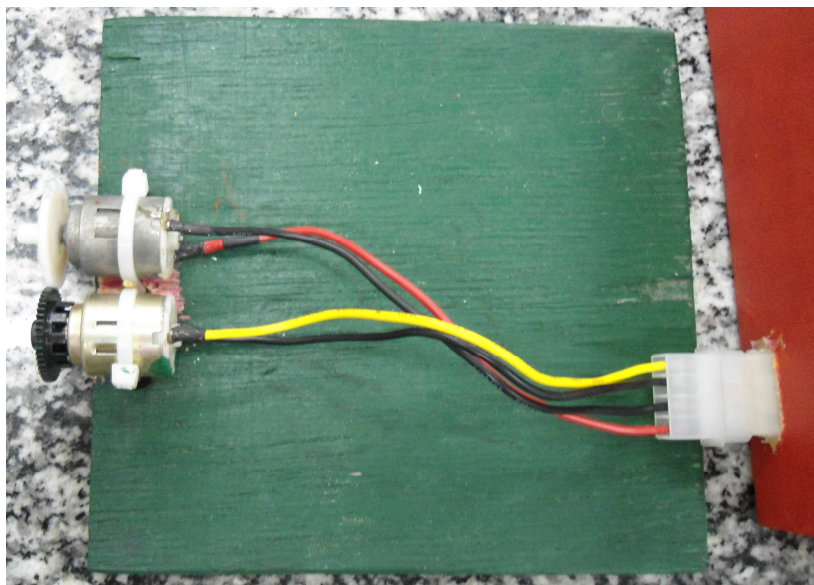


Figura 3 – Sistema Motor-Gerador

Após a apresentação dos trabalhos os alunos relataram que a confecção dos controladores utilizando amplificadores operacionais possibilitou um entendimento mais detalhado do funcionamento de cada tipo de ação de controle, uma vez que foi necessário realizar a análise do sinal para cada ação para posterior integração.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta metodologia aplicada pela primeira vez mostrou que 6 tempos semanais para o ensino de controle para alunos de ensino médio é um tempo grande visto que não se pode fazer um aprofundamento matemático.

As práticas realizadas em sala e com projetos possibilitou aos alunos a familiarização das respostas de diversos sistemas básicos às modificações das ações de controle possibilitando que, quando diante de um problema real, possam ajustar os ganhos do controlador de forma mais consciente.

A metodologia adotada apresentou-se como uma boa alternativa para o ensino de controle de forma intermediária entre o ensino avançado ensinado em cursos de engenharia e o ensino introdutório visto em cursos de instrumentação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAETANA, Juracy Resende Silva. **Institutos Federais lei 11892 de 29/11/2008: comentários e reflexões**, 2009, Natal, IFRN

GOMES, R.R. ; SOTELO, Guilherme Gonçalves ; STEPHAN, R. M. . **Desenvolvimento de um sistema didático para levitação eletromagnética com o auxílio do método dos elementos finitos**. In: XV Congresso Brasileiro de Automática, 2004, GRAMADO. CBA, 2004.

iMasters. **Falta de mão de obra qualificada é desafio para empresas brasileiras Portal iMasters**, 17 set 2010. Disponível em <[http://imasters.com.br/noticia/18280/mercado/falta\\_de\\_mao\\_de\\_obra\\_qualificada\\_e\\_desafio\\_para\\_empresas\\_brasileiras/](http://imasters.com.br/noticia/18280/mercado/falta_de_mao_de_obra_qualificada_e_desafio_para_empresas_brasileiras/)> Acessado em 26 jun 2011

OGATA, Katshuiko, **Engenharia de Controle Moderno**, 2010, São Paulo, Pearson Prentice Hall

PACHECO, Eliezer Moreira. **Os institutos federais: uma revolução na educação profissional e tecnológica**, 2010, Natal, IFRN

POCHMANN, Marcio; CAMPOS, André; AMORIM, Ricardo; **Demanda e perfil dos trabalhadores formais no Brasil em 2007**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada IPEA. Brasília, Nov. 2007. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br/sites/000/2/destaque/mapadoemprego.pdf>> Acesso em: 26 jun 2011.

SONDAGEM ESPECIAL DA CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, Ano 5 no 3 setembro de 2007

## APPROACH TO EDUCATION FOR CONTROL OF HIGH SCHOOL STUDENTS FOR TECHNICAL INDUSTRIAL AUTOMATION

**Abstract:** *Control systems constitute one of the most promising areas of engineering and automation of great importance in traditionally taught in engineering course presents a certain degree of complexity and requires a mathematical knowledge previously acquired, in general, only courses. Middle-school students who work in technical companies where they need to tune in industrial electronic controllers, typically have a superficial knowledge that do not allow the proper changes in the parameters of these controllers. This paper presents the approach used to teach the course Introduction to Control of the technical course for students of industrial automation in order to know how changing each parameter of a PID controller affects the controlled system so that they can consciously make adjustments as necessary*

**Key-words:** *Control Education, High School Education, Technical Education.*