

## KIT DIDÁTICO PARA CONTROLE DE NÍVEL DE LÍQUIDOS

**Emiliana Margotti** - emiliana.margotti@gmail.com

Instituto Federal de Santa Catarina - Curso Superior em Tecnologia de Mecatrônica Industrial  
Avenida Mauro Ramos, 950 - Centro  
88020-300 Florianópolis – Santa Catarina

**Alvaro Schmitt** - alvaroschmitt1@gmail.com

**Marco R. Bueno** - marcorbueno@gmail.com

**Thiago J. P. Barreto** - thiagojapur@gmail.com

**Roberto A. Dias** - roberto@ifsc.edu.br

**Valdir Noll** - vnoll@ifsc.edu.br

**Cynthia B. Scheffer-Dutra** - cynthia@ifsc.edu.br

***Resumo:** Estudando a necessidade, disponibilidade e conceito do controle de nível de líquidos, foi verificado que existem poucos materiais de apoio didático prático atualmente no mercado o que motivou o desenvolvimento de um kit didático para o aprendizado de controle de processos industriais. Partindo deste pressuposto, foi analisada a viabilidade da construção de um aparato, onde o usuário pode aplicar os conhecimentos adquiridos com auxílio de um software supervisor. O aparato é composto por uma bomba hidráulica (variável manipulada), nível da cuba superior (variável monitorada), pela cuba superior (planta) e um CLP (controlador de lógica programável) responsável pelo controle da planta. Através da montagem de um protótipo, torna-se possível validar os conceitos de controle, em especial o controlador Proporcional, integral, Derivativo (PID), mostrando a viabilidade do projeto de e um controlador didático. Consegue-se constatar que a construção do protótipo, além de facilitar o aprendizado em sala de aula, pode também motivar o estudo da disciplina de Controle de Processos, uma vez que pode-se experimentar as configurações clássicas do PID.*

***Palavras-chave:** Controle, PID, CLP, Sistema Supervisor, Aquisição de dados.*

### 1 INTRODUÇÃO

Com o intuito de desenvolver conhecimentos na área de controle de processos, estudando a necessidade, disponibilidade e conceitos de controle de nível, foi verificado que atualmente existem poucos materiais de apoio práticos, o que viabilizou a idéia de desenvolver um kit didático para aprendizado de controle, aonde o usuário pode aplicar seus conhecimentos com auxílio de um *software* supervisor, o que facilita a visualização dos resultados. A utilização do controle de nível em reservatórios interligados torna-se altamente recomendável, pois fornece uma variável de fácil visualização para se controlar, permitindo que diferentes lógicas possam ser programadas, implementadas e testadas.

Este trabalho consiste no melhoramento tecnológico de um projeto de controle de nível. (LUTZ, 2010) Foi utilizada toda a estrutura mecânica já construída, porém tornou-se imprescindível a realização de algumas modificações como inclusão de um *software* supervisor, troca do controlador e com isso mudança do gabinete eletrônico já que as

exigências dos controladores são diferentes. Estas foram essenciais para um bom funcionamento e para torná-lo um equipamento *standalone* e de uso didático.

Além do apelo didático esse projeto é de suma importância, pois é bastante utilizado em escala industrial, principalmente nos ramos químico, petroquímico, de celulose e de alimentos.

## 2 FUNDAMENTOS DE CONTROLE DE PROCESSOS.

“Controle é a técnica que consiste em medir a variável que se deseja controlar, comparar o resultado da medição com o valor desejado e atuar sobre o sistema no sentido de diminuir a diferença entre as duas.” (OGATA, 2003)

### 2.1 Terminologia

Para o bom entendimento de controle de processos, algumas terminologias têm que ser bem definidas. Abaixo estão citadas as principais:

- Processo: qualquer operação a ser controlada;
- Planta: qualquer objeto físico a ser controlado;
- Variável controlada: grandeza que é medida ou controlada;
- Variável manipulada: grandeza que é modificada para afetar a variável controlada;
- Referência: valor desejado para a saída do sistema;
- Perturbação: distúrbio de sinal que afeta o valor de saída do sistema;
- Realimentação: medida do sinal de saída atual para comparar com uma dada referência. Permite compensar efeitos causados na presença de perturbações;
- Sistema de controle: união de dispositivos que compõem uma configuração que leva a resposta desejada.

### 2.2 Controle malha fechada x malha aberta.

Sistema de controle de malha aberta é aquele em que o sinal de saída não exerce nenhuma ação de controle no sistema. Isso quer dizer que em um sistema de controle de malha aberta o sinal de saída não é medido nem realimentado para comparação com a entrada. A principal vantagem deste tipo de controlador é que ele simples de ser construído, devido ao fato da estabilidade ser um problema menos significativo. A figura 1 demonstra um sistema de controle de malha aberta.

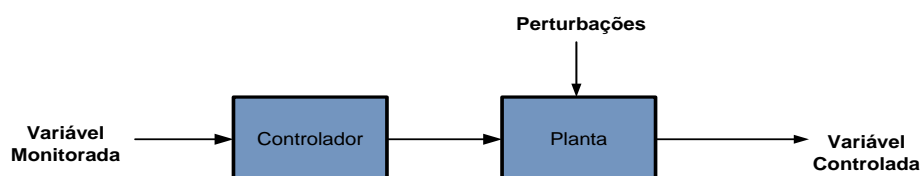


Figura 1 - Controle em malha aberta.

Um sistema que estabelece uma relação de comparação entre a saída e a entrada de referência, utilizando a diferença como meio de controle, é denominado “sistema de controle de malha fechada” também chamado de “sistema com realimentação”. Nestes tipos de controle, o sinal de erro, que é a diferença entre o sinal de entrada e o sinal de realimentação, realimenta o controlador, de modo a diminuir o erro e acertar a saída do sistema ao valor

desejado. A principal vantagem deste tipo de controle é que a resposta do sistema é insensível a distúrbios e variações internas nos parâmetros do sistema. A figura 2 demonstra um sistema de controle de malha fechada.

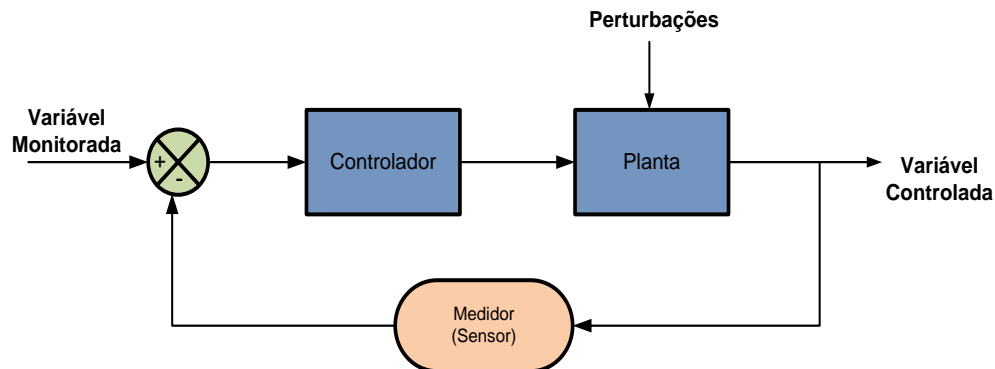


Figura 2 - Controle em Malha Fechada.

## 2.3 Critérios de controle

Os principais requisitos de controle a serem monitorados são:

- Valor de regime: valor que o sistema estaciona e começa a trabalhar de modo constante;
- Erro de regime: diferença entre a variável monitorada e a variável controlada;
- Tempo de subida: tempo gasto para a variável controlada variar de 10% para 90% do valor de regime;
- Tempo de acomodação: tempo gasto para a variável controlada variar de 0% para 95% do valor de regime;
- Sobressinal: diferença entre o valor máximo de saída e valor de regime, dividido pelo valor de regime (BENTO, 1989).

## 2.4 Controladores Clássicos

Um sistema de malha fechada necessita de um bloco controlador, através deste podemos ajustar e melhorar a qualidade do sistema (BENTO, 1989). Abaixo seguem as definições dos controladores clássicos: proporcional (P), proporcional e integrativo (PI), proporcional e derivativo (PD) e integrativo, proporcional e derivativo (PID).

- Controlador P: utilizando este controlador consegue-se uma correção proporcional ao erro;
- Controlador PI: utilizando este controlador consegue-se uma correção proporcional ao erro x tempo;
- Controlador PD: utilizando este controlador consegue-se uma correção proporcional a taxa de variação do erro;
- Controlador PID: ao reunir os três tipos de controle conseguimos ter o domínio de tempo de subida, a eliminação do erro de regime e a redução do sobressinal, mas se cria a dificuldade de sintonia dos três controladores (NOVUS, 2003).

A equação 1 é a equação geral de um controlador PID, onde o  $K_p$ ,  $K_i$  e  $K_d$  são os ganhos proporcional, integrativo e derivado, respectivamente.

$$U(s) = \left( K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \right) E(s) \quad (1)$$

## 2.5 Métodos para obtenção dos parâmetros dos controladores

A equação 2 representa um modelo paramétrico muito encontrado na indústria.

$$G_P(s) = \frac{K}{\tau s + 1} e^{-\theta s} \quad (2)$$

Onde:  $K$  = ganho estático;

$\tau$  = constante de tempo;

$\theta$  = atraso de transporte.

Baseados neste modelo existem diversos métodos para realizar a modelagem dos processos, os mais clássicos são Ziegler-Nichols, Hägglund, Smith e Sundaresan & Krishnaswamy (SILVEIRA E SILVA, 2005).

## 3 KIT DIDÁTICO PARA DEMONSTRAÇÃO DA TEORIA DE CONTROLE

### 3.1 Aparato – Físico

A fim de demonstrar na prática o funcionamento de um controlador foi desenvolvido um aparato para controle de nível em um reservatório. Ele é composto de duas cubas plásticas para armazenamento de água, uma bomba hidráulica e um sensor, de acordo com a figura 3. As cubas foram dispostas verticalmente em níveis de altura diferentes. A cuba superior possui um sensor potenciométrico, que atua como sensor de nível de água. A saída deste sensor é uma tensão proporcional ao nível de água no reservatório superior que funciona como entrada de medição do controlador. A bomba hidráulica funciona como atuador realimentado pelo ganho de um controlador proporcional e integrativo (PI), que controla a vazão da bomba hidráulica ajustando assim o nível da cuba. A cuba inferior serve de reservatório. Entre a cuba superior e a cuba inferior há uma válvula que é ajustada pelo usuário, simulando uma perturbação no sistema, através desta o usuário perceberá o funcionamento do controle, verificando o acionamento da bomba para manter o nível da cuba superior. A figura 4 mostra o aparato montado.

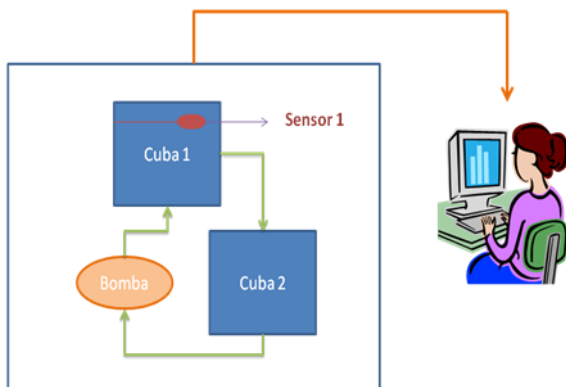


Figura 3 - Fluxo de matéria / Concepção do produto.



Figura 4 - Protótipo.

## 3.2 Teoria de controle aplicada ao aparato

O sistema funciona de forma contínua. A malha de controle é composta pela bomba hidráulica (variável manipulada), nível da cuba superior (variável monitorada) pela cuba superior (planta). O controlador foi implementado pelo uso do controlador lógico programável (CLP) da marca Schneider-Eletric®, modelo Twido TWDLCA340DRF com o módulo de expansão Twido TWDAMM6T, programado em ladder. (SCHNEIDER, 2009).

A figura 5 mostra o diagrama de blocos do sistema implementado.

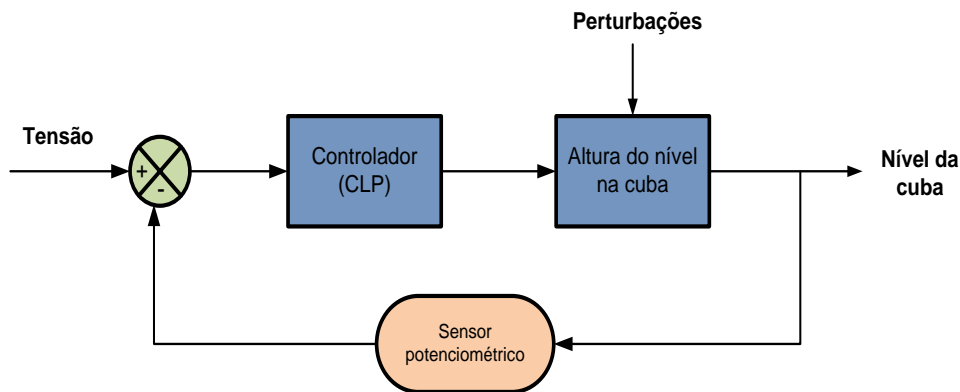


Figura 5 - Controle de malha fechada kit didático.

A equação de malha aberta (Equação 3) do sistema foi obtida através da curva de resposta do sistema a aplicação de uma de excitação do tipo degrau unitário ao atuador da planta, empregando-se o modelo Smith.

$$G_p(s) = \frac{0,11}{122,1s + 1} e^{-2,9s} \quad (3)$$

Simulando esta equação no *Simulink* – uma ferramenta do programa *MatLab*® (MICHIGAN, 2011) - foi possível perceber que o sistema não apresentava sobressinal e oferecia um tempo de subida muito alto. Para melhorar o controlador, foram definidos como requisitos de controle: um tempo de subida próximo ao real desejado (230 s), zero erro de Regime e zero sobressinal.

Para atender as condições de controle foram testados dois tipos de controladores, primeiro um compensador proporcional, que resolveu o problema do tempo de subida, mas aumentou o erro de regime, e um controlador proporcional e integrativo (PI) que apresentou de forma eficaz os requisitos de controle. Os valores encontrados para  $K_p$  e  $K_i$  são respectivamente 13,1 e 0,10. A equação 4 representa a equação de malha fechada com o controle proporcional e integrativo.

$$G_p(s) = \frac{(1,44s + 0,011)}{(0,417s^2 + 1,5s + 3,75)} \quad (4)$$

A figura 6 mostra o gráfico do controlador PI, simulado no programa *MatLab*®.

A configuração do controlador como PI foi suficiente para atender os requisitos de controle estipulados. No entanto, o programa foi elaborado com uma proposta didática, permitindo ao usuário alterar os ganhos  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  do controlador PID, gerando qualquer configuração (P, PI, PD, PID).

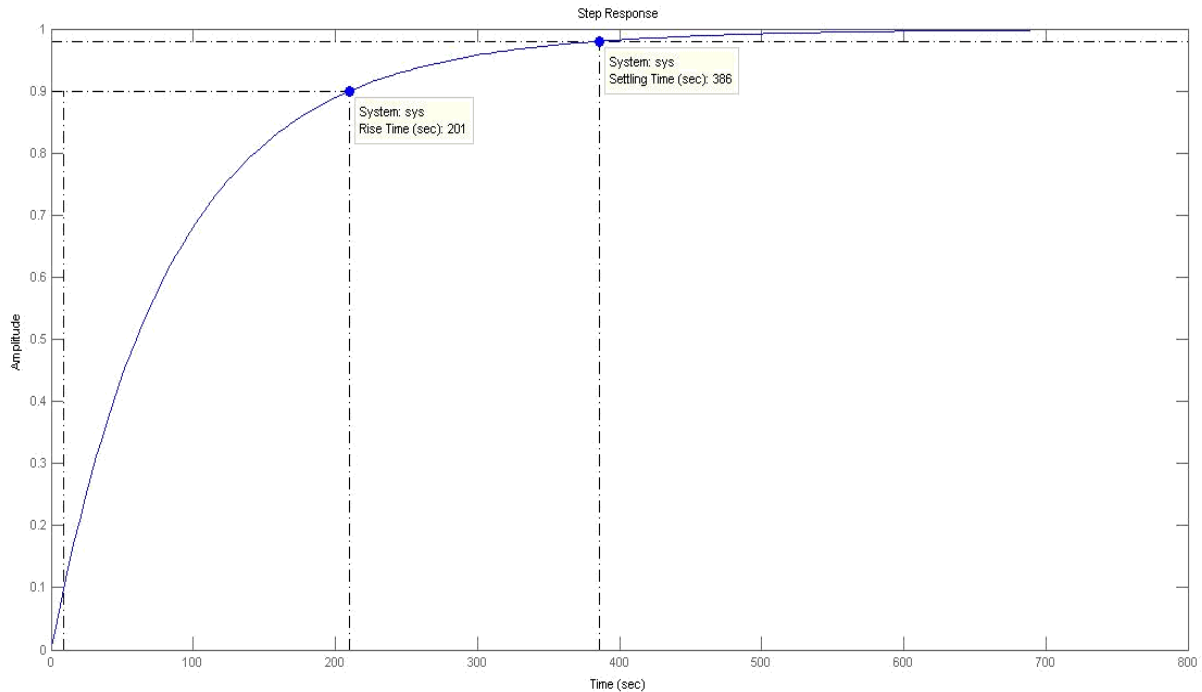


Figura 6 - Curva de resposta do controlador PI.

## 4 RESULTADOS

No aparato mostrado na figura 4 é possível entrar com os valores de  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ , o tempo de amostragem e o valor de referência. Para testar a funcionalidade do aparato calculamos um controlador que possuísse o menor tempo de subida possível para que não houvesse sobressinal. Chegamos aos valores já citados, conseguindo a curva de resposta mostrada na figura 7.

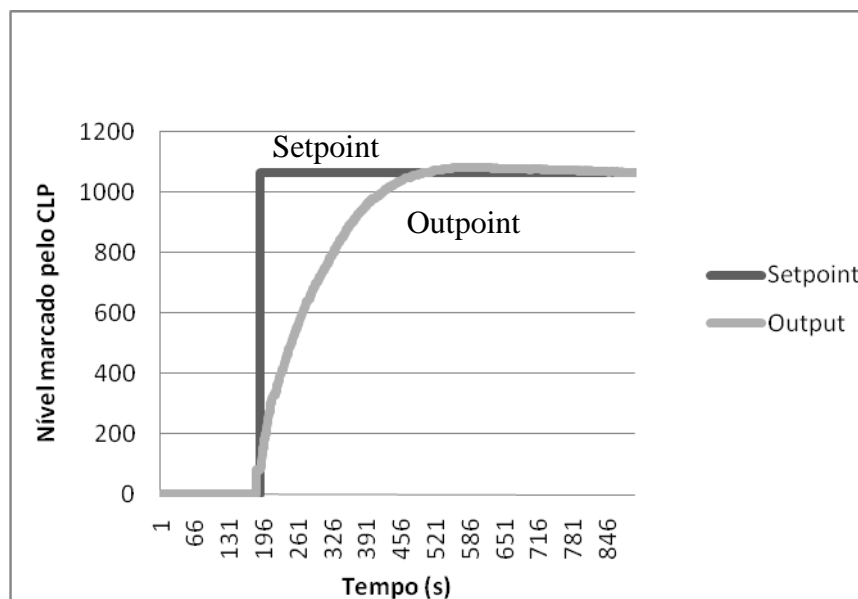


Figura 7 - Curva de resposta real.



Para a interface homem-máquina foi utilizado o *software* Elipse®, da E3 Studio, versão 3.2 Build 260, nele é possível desenvolver toda a parte de supervisório fazer animações, visualizar as respostas do CLP e entrar com os dados necessários. Este supervisório se comunica com o controlador utilizando o protocolo MODbus/TCP. Com ele é possível colocar todos os dados do CLP na rede, possibilitando, assim, o acesso do supervisório via *internet*.

O *software* supervisório desse aparato ficou como mostrado na figura 8.

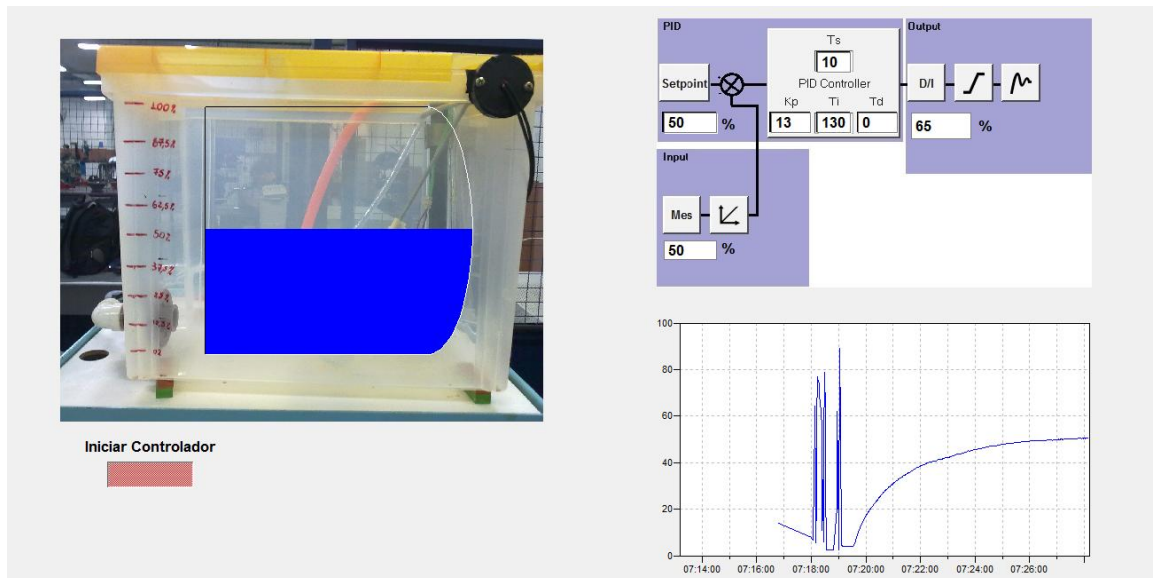


Figura 8 - Sistema Supervisório.

Além da possibilidade de entrar com os valores citados acima, também é possível ver a porcentagem de funcionamento da bomba, ver uma animação do esvaziamento da cuba superior, ativar e desativar o PID e ver o gráfico de resposta do aparato.

Como há a possibilidade de entrar com todos esses parâmetros e visualizar a resposta de cada componente da planta, este aparato demonstra uma forte utilidade para fins didáticos, já que o professor pode passar o gráfico de resposta ao degrau do sistema e propor aos alunos que desenvolvam o controlador. Fazendo isto os mesmos estariam revendo toda a matéria de controle de uma maneira estimulante, já que há a possibilidade de visualizar o seu controlador em um sistema real.

O aparato pode ainda ser utilizado como introdução ao controle, já que é uma ferramenta que estimulará os alunos e facilitará a explicação dos principais conceitos da matéria. Um exemplo seria desenvolver diferentes tipos de controladores para ilustrar aos alunos como a mudança do compensador varia o tempo de subida, o sobre sinal, o tempo de acomodação e outros requisitos.

## 5 CONCLUSÕES

O principal objetivo deste projeto era desenvolver um aparato didático no qual seria controlado o nível do fluido de um cuba, com a ajuda de *software* supervisório onde o aluno pudesse aplicar os seus conhecimentos da matéria

Apesar de o aparato ser aparentemente simples e de fácil construção há uma pesada fundamentação teórica e equacionamento para a determinação dos controladores. Além que o material deve ser didático o que requer um pouco mais de refinamento na confecção de um protótipo.

Após o desenvolvimento da metodologia, ao fazer a montagem do protótipo, foi possível validar os conceitos de controle, mostrando a viabilidade de projeção de um controlador didático e também conseguiu constatar que a construção do produto, além de facilitar o aprendizado em sala de aula, pode também motivar o estudo da disciplina.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENTO, Celso Roberto. **Sistemas de Controle – Teoria e Projetos**. Érica, São Paulo, 1989.

ELIPSE Software. **TUTORIAL-Versão 2.5**. Elipse, 2007.

Lutz, Ismael. E. , SCHEFFER-Dutra, Cynthia B. **Módulos didáticos para o ensino de instrumentação e controle de processos**. Caderno de Resumo das Pesquisas do IF-SC 2009-2010 / Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia de Santa Catarina. (2010) – Florianópolis: Publicações do IF-SC, 2010SCHNEIDER electric.

MICHIGAN, Regents of the university of. **Control Tutorial for Matlab**. Disponível em: <<http://www.engin.umich.edu/group/ctm/pid/pid.html#characteristics>>. Acesso em 18 de maio de 2011.

NOVUS – Produtos Eletrônicos Ltda. **Controle PID básico**. 2003. Disponível em: <<http://www.novus.com.br/downloads/Arquivos/artigopidbasico.pdf>> Acesso em 07 de maio de 2011.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**, Prentice Hall, 4a. Edição, 2003.

SILVEIRA E SILVA, Aguinaldo. **Fundamentos de Controle Clássico**. Depto. de Engenharia Elétrica – EEL – CTC – UFSC, Florianópolis, 2005 (versão provisória).

SCHNEIDER - Electric - **TWIDO - Programmable Controllers Analog I/O Modules Hardware Guide**. 2009. Disponível em: < <http://www.global-download.schneider-electric.com/85257578007E5C8A/all/97A1347677AF795A88257578007B6753?OpenDocument&L=EN&p=533&idxUrl=repositoryBrasil\\index.nsf%26XID%3D225304%26XHOST%3Dhttp://logi5.xiti.com/&HOSTIP=http://www.global-download.schnei> > Acesso em 10 de maio de 2011.

## DIDADIC KIT OF LEVEL FLUID CONTROL

**Abstract:** *Through the study of the necessity, availability and level control concept, it was found that few practical support materials currently on the market, which enabled the idea to develop an educational kit to assist the learning the control process. Based on this assumption, the feasibility of building this apparatus was analyzed, where the user can apply their knowledge of the course with the aid of the monitoring software. The system runs continuously. The control loop consists of the hydraulic pump (manipulated variable), level of the top tank (monitored variable), the top tank (plant) and the PLC (programmable logic controller) responsible to control the plant. After developing the methodology, making the assembly of the prototype, the team was able to validate the concept, demonstrating the*



*feasibility of projection of the education controlling and also proved that the product construction, besides facilitate the learning process in the classroom, can also motivate the study of the subject.*

**Key-words:** Control, PID, PLC, Supervisory System, Data Acquisition.