

## III SEMINÁRIO NACIONAL DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

INDUSTRIAL, ELÉTRICA E DE TELECOMUNICAÇÕES

A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO,  
EMPREGABILIDADE E EMPREENDEDORISMO

### Emprego da Experimentação Remota em Sistemas de Controle

Orlando F. Silva\*, Monique C. de Freitas\*\*, Orlando de A. Pereira Jr.\*\*, Jacklyn D. Reis\*\*

\* Orientador

\*\* Bolsistas do Programa Especial de  
Treinamento (PET) Eng. Elétrica UFPa.

GRUPO:  A  B  C  D  E

TEMA: Gestão de controle aplicada à internet/redes de processamento.

**PALAVRAS CHAVE:** Experimentação Remota, RexLab Control, Controle, Servomecanismo, Aprender Fazendo, Web.

**RESUMO** – Este trabalho aborda a utilização de uma importante ferramenta para aprendizagem em sistemas de controle: a experimentação remota. O estudo se baseia no software RexLab Control e explica seu funcionamento. O programa possibilita o compartilhamento de recursos de um laboratório de sistemas de controle, tanto de software quanto de hardware, aumentando a audiência atendida, reduzindo o tempo de uso e custos. Para ilustrar a viabilidade do modelo, um protótipo é utilizado, o qual contém experimentos práticos sobre identificação e teste de algoritmos de controle num equipamento real, no caso, um servomecanismo.

**ABSTRACT** – This research presents the utilization of an important tool to teach control systems disciplines: the remote experimentation. The software used was RexLab Control. This program allows the control systems laboratory resources sharing (hardware and software), increasing the number of users, reducing the time of operation and the cost of the process. To show the model viability, a prototype is given, which has pratic experiments about the identification and control test algorithms in a real equipment, in this case we used a servomecanism.

#### INTRODUÇÃO

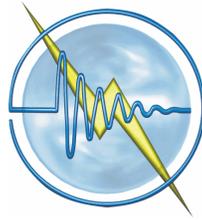
A experimentação remota garante o acesso aos recursos existentes em um laboratório presencial e nota-se que práticas de laboratório são muito importantes no processo ensino/aprendizagem, particularmente nas áreas tecnológicas. Com elas, os alunos têm a possibilidade de não apenas aprender ouvindo, falando, lendo ou vendo, mas principalmente fazendo. Certamente,

é quando pode ocorrer um maior nível de interação entre os estudantes e o assunto a ser aprendido. Tal paradigma é denominado Aprender Fazendo (AF). A partir dele, é possível aos alunos projetarem seus próprios experimentos.

Com a tecnologia de redes de computadores, em particular a Internet, uma nova alternativa surgiu para a prática do AF. Hoje, é possível realizá-la, dentro de certas limitações, sem que haja a necessidade da presença física do aluno no laboratório onde se encontram os equipamentos, usando a Internet como link de comunicação. Este paradigma denomina-se de Experimentação Remota (ER), (CMU, 1999), e possui um vasto campo de aplicações (Sabbatini, 2000; UnB, 1999), muitas das quais encontram-se disponíveis na Internet. Sua aplicação neste trabalho é voltada para a Educação a Distância.

A experimentação remota possibilita a utilização das ferramentas de um laboratório presencial, ou seja, permitem interações com o mundo físico, obtendo os mesmos resultados que seriam adquiridos localmente. Um laboratório de experimentação remota consiste em um agrupamento de instrumentos de propósito geral, conectado a um conjunto de sistemas de computadores pessoais, tendo como meio de comunicação a internet. Além de acesso a componentes de hardware (protótipos didáticos reais), a experimentação remota permite também acesso a componentes de software (simuladores). Em conseqüência, tem-se um custo reduzido para realização de experimentos reais.

O objetivo deste trabalho consiste na realização de alguns experimentos usando um laboratório de experimentação remota visando avaliar o seu



## III SEMINÁRIO NACIONAL DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

INDUSTRIAL, ELÉTRICA E DE TELECOMUNICAÇÕES

A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO,  
EMPREGABILIDADE E EMPREENDEDORISMO

potencial de uso como uma ferramenta auxiliar no ensino/aprendizagem de disciplinas de sistemas de controle.

### APLICAÇÃO E/OU DESENVOLVIMENTO

#### Experimentação Remota

O Laboratório de Experimentação Remota utilizado neste trabalho, denominado RexLab Control, encontra-se instalado no Laboratório de Engenharia Elétrica da UFPA, sob supervisão do Laboratório de Controle e Sistemas LACOS. O RexLab Control foi modelado sob uma perspectiva de ensino/aprendizagem em sistemas de controle, sendo seus principais objetivos a possibilidade de realização de um vasto conjunto de experiências por usuários remotos, bem como, sua interação com usuários presenciais pela inclusão de novos experimentos. Sua implementação foi feita na forma de um sistema distribuído baseado na arquitetura duplo Cliente-Servidor, onde, requisições de usuários remotos são submetidas a um servidor central, que as repassa a servidores auxiliares responsáveis pela realização do experimento em si. Os resultados são retornados ao usuário perfazendo-se o caminho inverso.

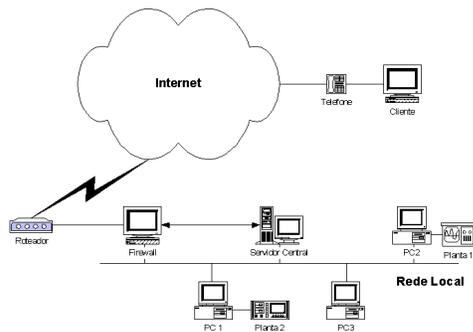


Figura 1: Arquitetura de rede do laboratório remoto

#### PC1:

- 1 - Compilador (linguagem C);
- 2 - Placa de aquisição PCL 812PG Advantech conectada a um servomotor real;
- 3 - Programa executável para o problema de identificação (do servomotor) em malha aberta;
- 4 - Programa executável para o problema de teste de controlador PID (no servomotor). Neste caso o usuário deve informar os valores dos ganhos do PID;
- 5 - Programa fonte para o problema de teste de controlador definido pelo usuário (no servomotor). Neste caso o usuário deve criar uma function com o algoritmo de controle que deseja testar;

6 - Um programa Gerenciador de Experiências associado a cada um dos programas dos itens 3, 4 e 5. Cada Gerenciador viabiliza a comunicação com o servidor central e executa um programa (item 3 ou 4), ou chama o compilador para compilação, linkagem e execução de um programa (item 5), para a realização do experimento solicitado.[3]

Observando-se que os programas mencionados em 3, 4 e 5 incorporam aspectos de segurança e autonomia para preservação do servomotor real e estabelecimento de condições iniciais.

PC2 e PC3. Atualmente não foram incorporados.

Servidor Central:

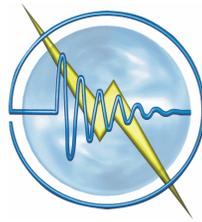
- 1 - O aplicativo para o gerenciamento de informações com os clientes e de informações com os programas Gerenciadores de Experiência instalados no PC1;
- 2 - Um servidor Web para fornecimento de páginas html com roteiros das experiências, características de equipamentos e alguns resumos sobre teoria de controle;
- 3 - Um servidor de Chat para troca de mensagens entre usuários;

#### Descrição do Laboratório de Experimentação Remota RexLab Control

O laboratório remoto é constituído de uma placa que contém um microcontrolador 8051 e permite que programas em *assembly* sejam executados no 8051.[2]

O laboratório é um ambiente de trabalho amigável, semelhante aos navegadores convencionais (ex: internet explorer, netscape etc). São disponibilizadas sessões de apresentação, experimentação e análise de resultados.

A sessão de apresentação contém além de roteiros de experimentos e textos sobre teoria de controle, descrição de equipamentos, ajuda sobre os aplicativos e menciona os modos de operação: laboratório remoto, que realiza experiências e visualiza os resultados; modo browser, que acessa os conteúdos didáticos do laboratório e modo chat, que ajuda a interagir com outros usuários conectados ao laboratório.



# III SEMINÁRIO NACIONAL DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

INDUSTRIAL, ELÉTRICA E DE TELECOMUNICAÇÕES

A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO,  
EMPREGABILIDADE E EMPREENDEDORISMO

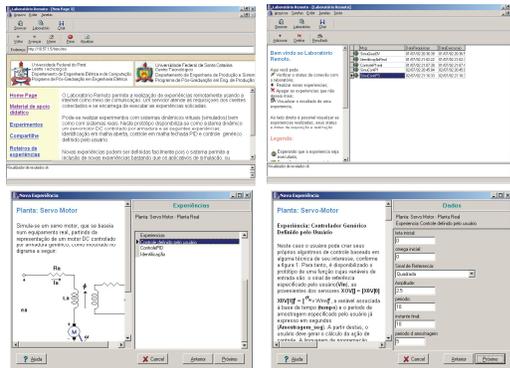


Figura 2: Ambiente de trabalho do laboratório remoto Já a sessão de experimentação direciona para telas específicas de simulação ou teste em modelo real. Atualmente contamos apenas com experiências relacionadas a um servoposicionador DC da FeedBack Instruments, tendo os modelos matemáticos da simulação sido desenvolvidos por alunos da PPGEE (Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica da UFPA) e motor propriamente dito localizado na sala a 50 metros do local de estudo.

Existente ainda uma terceira sessão onde é possível analisar os resultados obtidos nos dois modos de operação do laboratório. Quer seja simulação, quer seja implementação real, dados importantes a respeito da planta (posição angular e velocidade) são disponibilizados nos diferentes intervalos de tempo na forma de tabela e gráficos. São esses dados que permitem a condução de experiências como a de “identificação” (mais adiante).

Realizaram-se as experiências visando a identificação de parâmetros da planta e controle (PID e alternativo “definido pelo usuário”), nesta ordem, primeiramente relacionados à simulação.

### Descrição da Identificação

As experiências de identificação visam determinar: constante do motor ( $K_m$ ), constante do tacômetro ( $K_t$ ), constante do potenciômetro ( $K_o$ ) e a constante de Tempo ( $T_m$ ). Para isso injetou-se um sinal do tipo trem de pulsos, identificado pelos seguintes argumentos: amplitude = 3 V, período = 10 s. A experiência consistiria em iniciar o motor na posição 0, com velocidade inicial nula, sendo o tempo de duração da experiência de dez segundos. Como o sistema coleta dados em intervalos de tempo discretos, foi preciso especificar o tempo de amostragem, que neste caso, foi de 5 ms.[2]

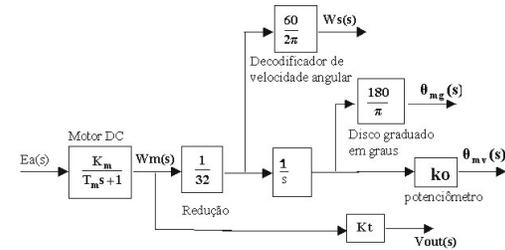


Figura 3: Diagrama de blocos do servoposicionador As constantes procuradas são calculadas com o auxílio de um diagrama de blocos simples disponibilizado pelo laboratório, que mostra o percurso dos sinais de velocidade, e posição para os blocos onde a leitura de valores de regime está disponível para o usuário na forma de tabela ou gráfico na sessão de análise de resultados do laboratório. Tendo em vista a necessidade de precisão dos valores numéricos dos resultados, optou-se pela investigação da tabela. Parte dos dados em regime permanente são ilustrados abaixo. (finalzinho do transitório, entrando em regime).

### Descrição do Controle Proporcional

Prosseguindo com a seqüência de experiências, realizou-se um controle PID simples, onde as variáveis de simulação foram: tempo de experiência de 10 s, período de amostragem de 5 ms, sinal de referência idêntico ao anterior (onda quadrada de período 10 s, amplitude 3 V). Como anteriormente, o motor partiu do marco zero e do repouso.

O laboratório remoto disponibiliza um ambiente individualizado para controle PID, onde o usuário simplesmente define as constantes (de integração, derivação e de proporcionalidade) de cada componente do seu controlador. Para a nossa experimentação, que consistiu no controle de posição usando apenas realimentação da posição angular no eixo do motor (mv) a um controlador proporcional, as constantes de integração (Ti) e de derivação (Td) foram zeradas e a de proporcionalidade iguais a um e em seguida a três ( $K_p=1$ ;  $K_p=3$ ).[2]

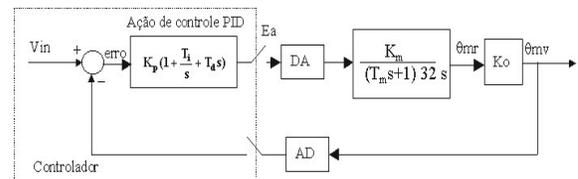
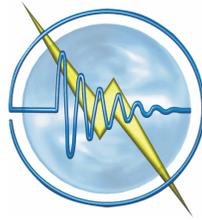


Figura 4: Controle de posição com ação de compensador PID

### Descrição do Controle pelo Usuário



### III SEMINÁRIO NACIONAL DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

INDUSTRIAL, ELÉTRICA E DE TELECOMUNICAÇÕES

A CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO,  
EMPREGABILIDADE E EMPREENDEDORISMO

Na utilização de um controle alternativo, definido pelo usuário, é usada uma estrutura de controle do tipo relé com zona morta e a realimentação agora, é da posição e da velocidade angular, ou seja, uma determinada função permite a implementação de um controlador qualquer, mas não vamos nos aprofundar muito.

#### RESULTADOS E DISCUSSÃO

##### Resultados e Análise da Identificação

Sendo o modelo descrito por uma dinâmica de primeira ordem, sua resposta temporal a uma entrada degrau de amplitude R é dada pela equação:

$$\frac{w_s(s)}{w_m(s)} = \frac{1}{32} * \frac{60}{2\pi} \quad ; \quad \frac{V_{out}(s)}{w_m(s)} = k_t$$

$$\frac{\theta_{mg}(s)}{\theta_{mr}(s)} = \frac{180}{\pi} \quad ; \quad \frac{\theta_{mv}(s)}{\theta_{mr}(s)} = k_o$$

$$w_m(t) = Rk_m (1 - e^{-t/T_m})$$

Como é considerado o sistema em regime, então  $T_m \rightarrow 0$ , logo:

$$w_m(t) = Rk_m$$

Sendo  $K_m$  o intervalo de tempo necessário para que a resposta atinja 63% do valor do seu regime permanente.

##### Resultados e Análise do Controle Proporcional

Percebe-se claramente nos resultados, que quanto maior a constante de proporcionalidade ( $k_p$ ), maior o overshoot (pico de sinal) e conseqüentemente o transitório será maior. Ou seja, existirá um intervalo de tempo mais largo para que o sinal estabeleça o equilíbrio.

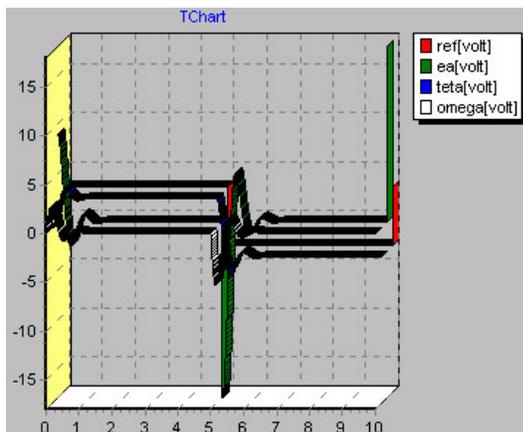


Figura 5: Resposta em malha fechada para compensador com  $K_p = 1$

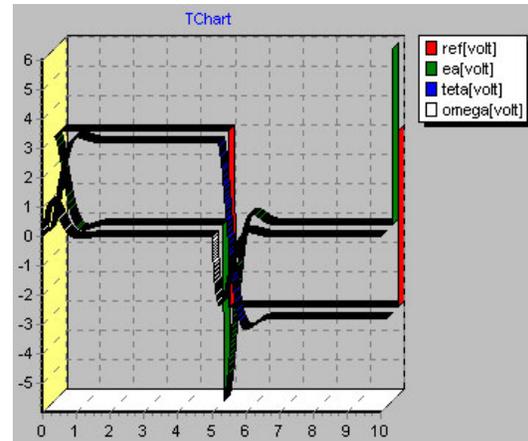


Figura 6: Resposta em malha fechada para compensador com  $K_p = 3$

#### CONCLUSÃO

De um modo geral, o uso do laboratório de experimentação remota foi considerado de fácil entendimento e permitiu a realização de todos os testes estabelecidos neste trabalho. Observou-se contudo: a necessidade de revisão de alguns textos de apoio didático disponibilizados pelo laboratório remoto e de algumas informações de sua interface gráfica. Quanto ao teste em malha aberta com a planta real observou-se a necessidade de propiciar mais recursos no modo gráfico de visualização de resultados, afim de que se possa extrair mais facilmente alguns dos parâmetros relativos ao experimento. Este conjunto de informações é de extrema importância para que o laboratório de experimentação remota possa ser aprimorado e venha ser uma ferramenta de uso comum no ensino/aprendizagem.

#### REFERÊNCIAS

- [1] OGATA, K. Engenharia de Controle Moderno. Rio de Janeiro: Prentice Hall do Brasil, 1982.
- [2] SILVA, O. F. Mídias e tecnologias para o ensino aprendizado de sistemas de controle. Florianópolis. 2001.
- [3] ABREU, M. O. S. Aplicação de Controle Fuzzy em um Ambiente de Experimentação Remota. Belém. 2002.