EXPERIMENTO REMOTO DE PÊNDULO INVERTIDO PARA APLICAÇÃO PRÁTICA DE SISTEMAS DE CONTROLE

Matheus Nothen de Medeiros
Acadêmico do curso de Engenharia de Controle e Automação UFSM
matheusnothen@yahoo.com.br
Vinícius Trentin
Acadêmico do curso de Engenharia de Controle e Automação UFSM
trentinvinicius@gmail.com
Rodrigo da Silva Guerra
Professor/Pesquisador do curso de Engenharia de Controle e Automação UFSM
rodrigo.guerra@ufsm.br
Frederico Menine Schaf
Professor/Pesquisador do curso de Engenharia de Controle e Automação UFSM
frederico.schaf@cead.ufsm.br

Resumo. *Este artigo descreve a criação de um experimento de pêndulo invertido na forma de um laboratório remoto, a estratégia de criação de sua interface remota e a forma de avaliação do experimento que será utilizado como um complemento ao conteúdo de disciplinas da área de controle do curso de Engenharia de Controle e Automação da UFSM. Embora ainda em fase inicial, este projeto já demonstra gerar um grande interesse por parte dos acadêmicos e alavanca grande difusão, mostrando seu potencial poder como ferramenta didática e motivacional.*

Palavras-chave: *Experimentação Remota, Sistemas de Controle e Automação, Pêndulo Invertido.*

1. INTRODUÇÃO

Experimentos remotos, como o próprio nome sugere, são instalações para aulas práticas controladas a distância através de técnicas computacionais geralmente utilizando a infraestrutura da Internet. Estes experimentos são uma ótima alternativa a experimentos de laboratórios reais, pois aumentam a disponibilidade e diminuem o custo de manutenção, oferecendo a possibilidade de acesso por uma grande variedade de dispositivos computacionais com acesso à Internet.

Muitas vezes em sala de aula, os conceitos de Sistemas de Controle são estudados somente de forma teórica, o que dificulta a assimilação dos conteúdos pelos alunos. Por este motivo, os experimentos remotos têm despertado o interesse de muitos educadores que buscam utilizá-los como ferramentas de ensino, pois estes permitem que os alunos vivenciem na prática, remotamente, os conceitos vistos em sala de aula, melhorando o aprendizado.

Localizados geralmente dentro de universidades, os laboratórios remotos, que podem conter um ou mais experimentos, são ambientes virtuais no qual um cliente pode acessar e efetuar experimentos em algum tipo de bancada e/ou equipamento real através da Internet. Estes entram em contraste com os laboratórios simulados, que também possibilitam acesso em qualquer lugar do mundo, mas são apenas representações simuladas de experimentos criados através de modelos computacionais.

O pêndulo invertido é um experimento largamente utilizado como *benchmark* e como ferramenta didática nas áreas de sistemas de controle e automação. Este artigo descreve o desenvolvimento de um laboratório remoto aplicado a um experimento de pêndulo.

O pêndulo invertido é um sistema físico dinâmico que consiste basicamente em um pêndulo comum instalado sobre uma

plataforma que pode mover-se horizontalmente. Diferencia-se de um pêndulo comum, pois o objetivo é inverter o pêndulo de tal forma que este se mantenha estável na posição vertical.

Consegue-se mantê-lo naquela posição utilizando-se um sistema de controle realimentado, que move a plataforma de tal forma a equilibrá-lo na posição desejada, analogamente pode-se pensar em uma pessoa tentando equilibrar uma vassoura invertida na ponta de um dos dedos da mão movendo a mão para equilibrá-la.

Este trabalho encontra-se disposto da seguinte forma: na seção 2 mostramos a importância do uso do laboratório remoto e suas principais vantagens; na seção 3 descreve-se o desenvolvimento do pêndulo utilizado no experimento; na seção 4 discute-se como será utilizado e montado o laboratório remoto; na seção 5 apresenta-se a forma de avaliação e na seção 6 expõem-se os resultados e o público envolvido.

2. EXPERIMENTAÇÃO REMOTA

O uso de experimentos e laboratórios remotos no mundo encontra-se em pleno crescimento. Atualmente, há uma enorme quantidade de experimentos remotos disponíveis em universidades e laboratórios de pesquisa de diversos países (CASINI et al., 2004), (RÖRING e JOCHHEIM, 1999). Tal fato, além de comprovar o crescimento da utilização das técnicas de experimentação remota, serve como ferramenta de apoio ao ensino dos mais diversos assuntos ao redor do mundo. Isto porque, em sua grande maioria, tais experimentos estão disponíveis para utilização por qualquer usuário conectado à Internet, independente de sua nacionalidade, de vínculos universitários e institucionais, ou mesmo de interesses no tópico abordado pelo experimento. Essa introdução tange as informações retiradas da Internet (FREITAS, BAUCHSPIESS e BORGES, 2004) as quais aumentam a nossa visão do que o laboratório é, e qual a sua funcionalidade.

No que tange as vantagens de se utilizar laboratórios remotos como ferramentas de aprendizado pode-se citar:

- Em contraste a um sistema simulado, o laboratório remoto expõe o usuário a um sistema real em funcionamento, gerando motivação adicional para realizar os experimentos desejados ou propostos;
- O laboratório remoto é mais conveniente do que o laboratório presencial, visto que o usuário pode acessá-lo de qualquer local com acesso à Internet, não necessitando deslocar-se ao laboratório físico;
- Permite-se o uso do ambiente virtual e dos recursos do laboratório 24 h/dia, podendo o usuário beneficiar-se do sistema a qualquer momento, e não somente no horário formal de aulas;
- Qualquer um pode visualizar o laboratório sendo utilizado, professores podem observar alunos estudando, alunos podem aprender com o experimento alheio e inclusive usuários leigos podem observar apenas por curiosidade;
- A não necessidade da presença de técnicos ou professores durante a execução (ensaio) nos experimentos.

A tabela 1 abaixo compara algumas vantagens e desvantagens de diferentes tipos de laboratórios conforme Nedic et al. (2003).

Tabela 1. Vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de laboratórios (NEDIC et al. 2003)

Tipo de Laboratório	*Vantagens*	*Desvantagens*
Real	Dados reais Presencial Interação com supervisor	Requer agendamento Requer supervisão Custo elevado

Simulado	Bom para conceitos Interação média Baixo custo	Dados idealizados Pouco trabalho em equipe Sem equipamentos reais
Remoto	Interação com o equipamento Dados reais Custo médio Sem restrição de tempo	Presença apenas virtual

3. DESENVOLVIMENTO DO PÊNDULO INVERTIDO

Para o desenvolvimento do pêndulo envolvido, foram necessários um fuso de esferas recirculantes com 1,5m de comprimento, dois trilhos e dois mancais, os quais foram usinados nas dimensões desejadas.

Foram adquiridos carros de esferas para movimentar o carro do fuso, o qual possui esferas e se move pelo fuso linearmente. As peças foram projetadas em CAD para a fixação nos carros de esferas e no carro do fuso. Após o desenvolvimento de todos os elementos foi feita uma montagem computacional (vide figura 1). Essas peças foram produzidas com o intuito de carregar o pêndulo (uma haste de alumínio de 80 cm de comprimento e 2 cm de diâmetro) fixado a um *encoder* de quadratura, da marca Hohner de resolução de 5000 pulsos, para que o movimento linear desenvolva um movimento angular no pêndulo e que esse possa ser lido pelo *encoder*, possibilitando assim controlar a posição do pêndulo através de software pela ação do carro. Para a geração do movimento linear é utilizado um conjunto *servo-drive* da Emerson Industrial Automation, modelo Epsilon EP 216, o qual executa a função programada. Este servo é acoplado à ponta do fuso para rotacioná-lo. O conjunto de todas estas peças formou-se o experimento de pêndulo invertido da UFSM (figura 2).

Figura 1. Montagem computacional do pêndulo invertido

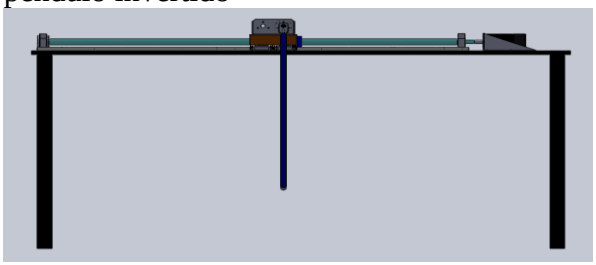

Figura 2. Pêndulo invertido utilizado

4. DESENVOLVIMENTO E UTILIZAÇÃO DO LABORATÓRIO REMOTO

A infraestrutura do laboratório remoto consiste em um ambiente virtual que monitora e controla o experimento e disponibiliza uma interface para manuseio via Internet através de um computador. Esta interface pode ainda possibilitar um *feedback* visual através do uso de uma câmera e um serviço de *streaming* de vídeo.

Como qualquer ambiente virtual, diversos serviços podem ser implementados, como controle de usuários (login/senha), agendamento para uso de recursos, registros (*logs*) de ensaios, etc.

Para realizar o ensaio no experimento, o programa desenvolvido pelo usuário é primeiramente simulado em um software para verificar possíveis falhas que possam comprometer a estrutura e assim danificar o pêndulo. Somente após isso é executado no experimento e o cliente recebe

gráficos e dados em tempo real, bem como uma copia do vídeo ao final de seu trabalho.

O intuito é aprimorar o aprendizado na área de controle, aumentando o interesse dos alunos para esta área e, assim, melhorar os resultados finais das disciplinas.

5. PLANEJAMENTO DE AVALIAÇÃO DO EXPERIMENTO

Após a conclusão do desenvolvimento do laboratório remoto pretende-se testá-lo nas disciplinas de Controle do curso de Engenharia de Controle e Automação.

Para realizar a avaliação do impacto do uso deste laboratório remoto, a turma será dividida em três grupos, onde um grupo de controle trabalhará apenas a parte teórica, e os outros dois grupos trabalharam com laboratório clássico presencial e laboratório remoto, respectivamente. A avaliação de desempenho deste grupo será feita através de questionários, entrevistas, e resultados nos exames. Para não prejudicar o grupo de controle, após o término do estudo, os alunos poderão ainda utilizar o laboratório remoto e/ou presencial.

6. RESULTADOS ALCANÇADOS E PÚBLICO ENVOLVIDO

Como o projeto ainda está em execução, ainda não há resultados de aplicação. No momento, o público envolvido são membros do Grupo de Automação e Robótica Aplicada (GARRA) da Universidade Federal de Santa Maria, que estão desenvolvendo o projeto.

Futuramente deseja-se expandir o experimento para os alunos do curso de Engenharia de Controle e Automação desta mesma universidade e para qualquer usuário vinculado a alguma instituição parceira da UFSM com acesso à Internet que deseje realizar experimentos com o pêndulo invertido.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O propósito deste trabalho foi o de apresentar as vantagens do uso de um laboratório remoto, juntamente com um pêndulo invertido, como ferramenta de ensino nas disciplinas de Controle, para assim gerar um interesse maior na área.

Agradecimentos

Os autores são gratos ao CNPq que apoiou o desenvolvimento deste trabalho e também a recursos financiados pela UFSM para compra dos equipamentos. Também agradecemos pelo apoio do Grupo de Eletrônica de Potência e Controle (GEPOC), do Núcleo de Pesquisa e Desenvolvimento em Energia Elétrica (NUPEDEE) e ao Programa Multidisciplinar de Ações de Integradas para Soluções em Engenharia (PRO+E) por ceder seu espaço e infraestrutura.

REFERÊNCIAS

CASINI M.; PRATTICHIZZO D.; VICINO A. **The Automatic Control Telelab: A Webbased technology for Distance Learning.** IEEE Control Systems Magazine, [S. l.], v. 24, p. 36 – 44, Jun. 2004.

FREITAS, A. A.; BAUCHSPIESS, A.; BORGES, G. A. **Laboratório de ensino de automação remoto da UnB.** Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

NEDIC, Z.; MACHOTKA, J.; NAFALSKI, A. **Remote laboratories versus virtual and real laboratories**. In: FRONTIERS IN EDUCATION, 2003. FIE 2003 33rd Annual. [S.l.: s.n.], 2003. v. 1, p. T3E–1–T3E–6 Vol.1. ISSN 0190-5848.

RÖRING, C. e JOCHHEIM, A. **The Virtual Lab for Controlling Real Experiments via Internet**. IEEE International Symposium on Computer Aided Control System Design. Kohala Coast-Island of Hawai, USA, 1999.