

IMPLEMENTAÇÃO DE UM WEBLAB PARA ENSINO DE CONTROLE EM CURSOS DE ENGENHARIA

Thiago Fernandes ¹; Wânderson de Oliveira Assis ²; Alessandra Dutra Coelho ²

¹ Aluno de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM-CEUN-IMT);

² Professor(a) da Escola de Engenharia Mauá (EEM-CEUN-IMT).

Resumo. *Este projeto propõe o desenvolvimento de um laboratório de acesso remoto, um WebLab, constituído de equipamentos e sistemas reais que podem ser controlados à distância através da internet. Na proposta, será desenvolvido um aplicativo que permita a comunicação de um computador central com uma planta de controle de velocidade de motor de corrente contínua (motor CC) a partir da medição de sinais provenientes de um sensor de velocidade por meio de sistema de aquisição de dados. A planta poderá ser acessada remotamente utilizando a internet e por meio da rede será possível controlar a movimentação do motor e realizar experimentos que incluem o ensaio em malha aberta e a sintonia de controladores PID.*

Introdução

A crescente evolução da tecnologia da informação e o surgimento de novas ferramentas computacionais propiciam consideráveis avanços no ensino e pesquisa à distância. Os laboratórios de acesso remoto, os WebLabs, são exemplos claros da utilização da computação na educação, mas com um grande diferencial pois propiciam a possibilidade de aprendizagem real com controle à distância. Isto é possível porque os WebLabs proporcionam a possibilidade de desenvolver experimentos práticos, acessando remotamente pela internet equipamentos em laboratórios reais, permitindo seu controle e aquisição de dados em tempo real.

Os laboratórios remotos representam uma grande evolução no conceito de inclusão digital pois podem permitir que estudantes e pesquisadores, independente do seu nível econômico, possam acessar equipamentos, alguns deles complexos e relativamente caros, instalados em laboratórios de diversas instituições de ensino. Adicionalmente os WebLabs podem oferecer aos estudantes treinamento em equipamentos similares aos encontrados no mercado de trabalho, além de permitir a integração entre estudantes e instituições podendo impulsionar o desenvolvimento de outras pesquisas e estimular a implantação de projetos em parceria.

Os WebLabs veem sendo implantados em diversas instituições desde os anos 90 apresentando soluções para operação remota geralmente utilizando software disponível comercialmente e em algumas delas utilizando redes dedicadas. Vários trabalhos reportam sua experiência na utilização de WebLabs para o ensino de física, química [1], engenharia elétrica [2] e controle [3], [4]. Em [5] são discutidas as principais características de um laboratório remoto, analisando tecnologias de software utilizadas para implantar os lados de cliente e servidor e a correlação entre estas tecnologias.

Dentro deste contexto, este projeto de pesquisa propõe a implantação de um laboratório remoto voltado para a área de controle de processos.

Objetivos

Um dos diferenciais dos cursos de engenharia do IMT – Instituto Mauá de Tecnologia é a excelência dos laboratórios disponíveis, modernos e atualizados com as mais recentes tecnologias tipicamente utilizadas na indústria. Indo nesta direção, este projeto propõe a

utilização de novas tecnologias de forma a implantar um laboratório remoto que possa ser controlados à distância através da internet. O principal objetivo do WebLab proposto é tornar-se uma ferramenta interativa didática destinada ao ensino com aplicação voltada para a área de engenharia de controles. O tempo necessário para o desenvolvimento deste projeto completo é relativamente longo e envolve várias etapas. Para este trabalho as etapas que serão desenvolvidas estão listadas abaixo.

- 1^a Etapa – Desenvolvimento de sistema de aquisição de dados para controle de motor de corrente contínua.

- 2^a Etapa – Desenvolvimento de aplicativo via Web que permita o acesso remoto.

A descrição da planta utilizada bem como o desenvolvimento das etapas listadas acima serão apresentados a seguir.

Descrição da Planta

Um esboço da planta utilizada é apresentada na Figura 1. A aplicação consiste no controle de velocidade de motor de corrente contínua (motor CC) ilustrado na Figura 1 constituído de motor de corrente contínua, fonte de alimentação e circuito de acionamento. Para efetuar o controle de velocidade, um tacogerador é acoplado ao eixo do motor CC e um freio magnético permite verificar o efeito da introdução de carga no eixo. Em operação a vazio o motor trabalha com tensão nominal de 10 V e velocidade de 6300 rpm, produzindo tensão no tacogerador de 16,95 V. Contudo no laboratório utilizaremos tensões de entrada mais reduzidas para limitar a tensão de saída do tacogerador em 10 V, respectivamente quando a velocidade é 3717 rpm.

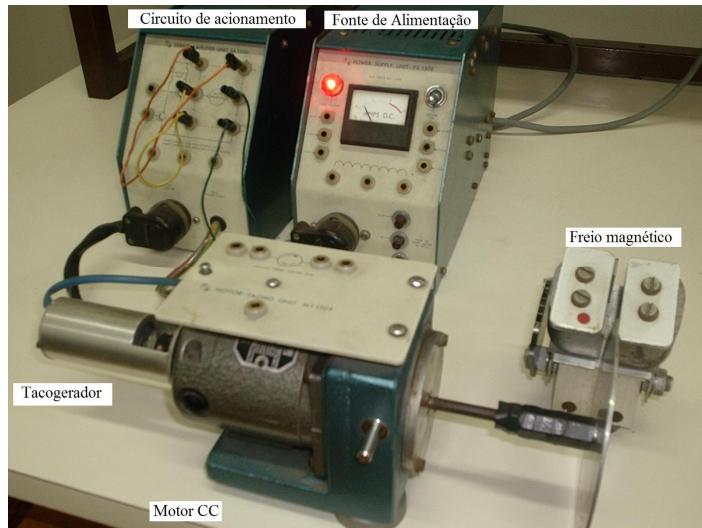


Figura 1 – Sistema de Controle de Velocidade de Motor CC

O sistema pode ser representado pelo diagrama de blocos da Figura 2 apresentado em [6] onde V_t é a tensão de alimentação de armadura (V); E_a é a força eletromotriz (V); T é o torque no eixo do motor ($N \times m$); I_a é a corrente de armadura (A); E_f é a tensão de excitação (campo) (V); I_f é a corrente de campo (A); ω é a velocidade angular (rad/s); R_a é a resistência do enrolamento de armadura (Ω); L_a é a indutância do enrolamento de armadura (H); J é o momento de inércia do motor ($N \times m \times s^2$); B é o coeficiente de atrito viscoso equivalente do motor ($N \times m / rad / s$); K é a constante de torque do motor ($N \times m / A$); R_f é a resistência do enrolamento de campo (Ω); e L_f é a indutância do enrolamento de campo (H).

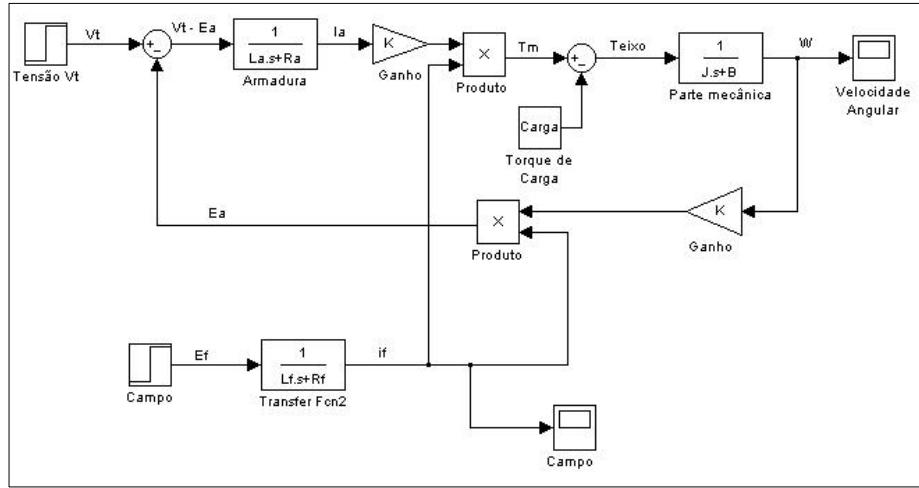


Figura 2 – Diagrama de Blocos do Motor CC com Excitação Independente

O sistema apresenta duas entradas (V_t e E_f), uma saída (ω) além de uma entrada de perturbação referente à variação de carga. A representação matemática do sistema em função de transferência resulta em um modelo não-linear e com múltiplas entradas. Sistemas de controle de velocidade de motor CC convencionais utilizam o circuito de campo alimentado separadamente, onde a tensão de campo é mantida constante no valor nominal, permitindo, pelo diagrama de blocos da Figura 2, obter uma função de transferência linear que relaciona ω e V_t . Contudo, no protótipo do laboratório, o acionamento é efetuado conforme o circuito ilustrado na Figura 3 [6]. A principal vantagem desta configuração é que permite não somente controlar a velocidade do motor conforme a tensão aplicada, mas também inverter o sentido de rotação por meio da inversão da polaridade dos terminais do enrolamento de campo. Isto é conseguido fazendo com que a entrada de controle do motor (V_t) seja conectada em V_{t1} ou V_{t2} conforme se deseje respectivamente acionar o motor no sentido horário ou anti-horário.

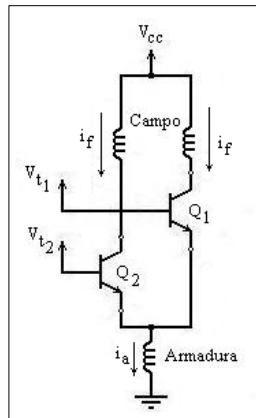


Figura 3 – Circuito de Acionamento de Motor CC com Sentido Bidirecional

O estudo do comportamento do sistema de controle e a sintonia de controladores apropriados para o sistema foi avaliada em [10] e não é o objetivo deste trabalho. Portanto apenas utilizaremos controladores já projetados para avaliar o desempenho do sistema. O controlador que apresentou melhor desempenho no sistema é o controle PI (Proporcional Integral) dado por:

$$G_C(s) = K_p \left(1 + \frac{K_I}{s}\right) = 10 \frac{(s + 0.134)}{s} = 10 \left(1 + \frac{1}{7.463s}\right) \quad (1)$$

Sistema de Aquisição de Dados

O controle da planta é desenvolvido utilizando sistema de aquisição de dados com kit educacional ELVIS® (*Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite*) e algoritmo introduzido em linguagem gráfica LabVIEW® com interface gráfica visível para o usuário. O kit é ilustrado na Figura 4 sendo constituído de uma placa de aquisição de dados (DAQ – *Data Aquisition*) multifuncional e uma estação de trabalho com *protoboard* onde o projetista pode desenvolver as aplicações.

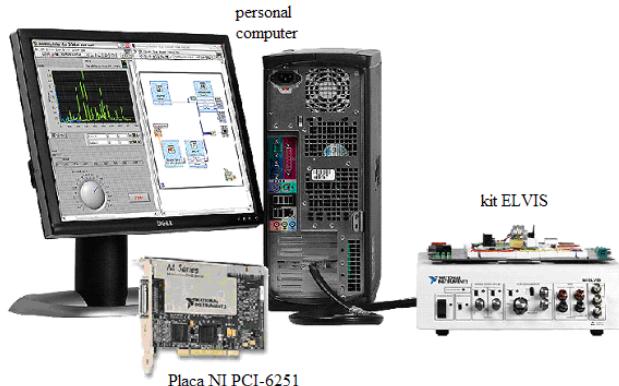


Figura 4 – Aplicação de Aquisição de Dados com kit ELVIS®

A placa de aquisição de dados disponível no kit ELVIS (*DAQ – Data Aquisition*) é o modelo NI PCI-6251, sendo desenvolvido para permitir compartilhar sinais com computadores. Possui oito canais de entrada analógica diferencial (ou 16 entradas *single-end*) com conversor A/D com 16 bits de resolução e taxa de amostragem de 1.25 MS/s (*single-channel*) a 1 MS/s (*multi-channel*). Estes canais de entrada apresentam acoplamento DC e faixas de tensão configuráveis de ± 10 V, ± 5 V, ± 2 V, ± 1 V, 0.5 V, ± 0.2 V e ± 0.1 V. Possui dois canais de saída analógica com conversor D/A com 16 bits de resolução e taxa de amostragem de 2.86 MS/s (*single-channel*) a 2 MS/s (dois canais). Estes canais de saída apresentam acoplamento DC, impedância de $0.5\ \Omega$ e faixas de tensão de configuráveis de ± 10 V e ± 5 V.

Desenvolvimento do WebLab

Para realizar o controle do motor CC será necessário monitorar os sinais enviados pelo sensor de velocidade por um sistema que inclui placa de aquisição de dados e software LabVIEW® permitindo o desenvolvimento do controle em malha aberta ou fechada. Uma ferramenta do software LabVIEW® permite aos usuários a geração remota dos sinais de controle. Isto significa que, utilizando navegadores Web que suportam o protocolo HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) o próprio usuário poderá controlar as variáveis do sistema real. Para realizar esta tarefa é necessário possuir a instalação dos softwares LabVIEW® Full Development System ou LabVIEW® Professional Development System além dos aplicativos IMAQ Vision, Vision Development Module e IMAQdx.

Duas etapas foram necessárias neste processo:

- criar o aplicativo em LabVIEW® com interface apropriada para o usuário para permitir efetuar o controle de velocidade do motor CC.
- habilitar a função WebServer para permitir o acesso remoto.

Estas etapas estão detalhadas nesta seção.

a) Aplicativo de Controle em LabVIEW®

O aplicativo de controle, ilustrado na Figura 5, foi desenvolvido a partir de trabalhos anteriores [7], [8] e consiste basicamente num programa capaz de acessar o sistema de aquisição baseado no kit apresentado na Figura 4 além de algoritmo de controle programado em linguagem gráfica utilizando o pacote de programação *Control Design and Simulation* disponível no software LabVIEW®. O aplicativo apresenta uma interface apropriada para o usuário por meio da qual é possível visualizar o sinal produzido pelos sensores além de modificar o sinal de referência da malha de controle (*Set Point*) de forma a definir a velocidade desejada para o motor de corrente contínua. A interface para o usuário é apresentada na Figura 5. Na janela em branco, definida como Imagem do Sistema, será apresentada a imagem em tempo real do sistema em operação, sendo obtida por uma câmera.

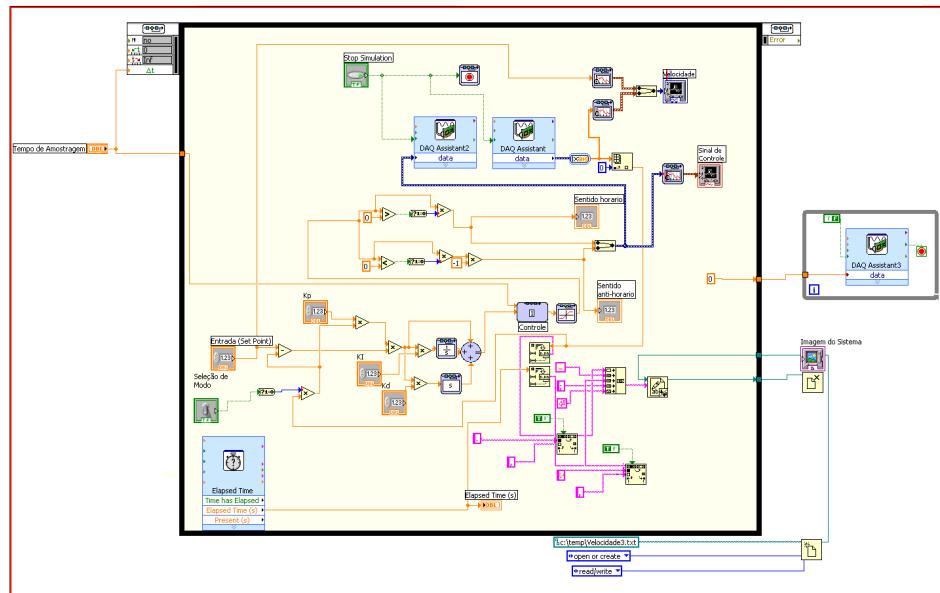


Figura 5 – Aplicativo em LabVIEW® para o Sistema de Controle

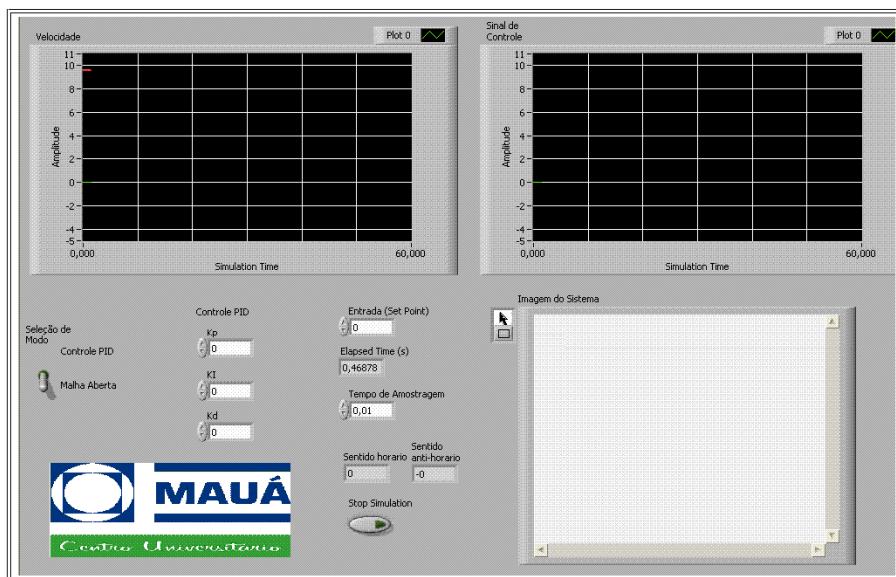


Figura 6 – Interface para o Usuário do Aplicativo em LabVIEW®

Por meio da interface o usuário poderá selecionar o modo de operação: malha aberta e malha fechada com controle PID. Após efetuada a seleção o usuário poderá realizar o ajuste dos parâmetros do controlador, ou seja, a sintonia do controlador PID, escolhendo valores para os parâmetros K_P , K_I e K_D , bem como a seleção do tempo de amostragem (ajustado inicialmente em $T = 0,01$ s). Obviamente, para fazer o ajuste adequado será necessário que o usuário tenha aprendido conceitos relacionados ao projeto de sistemas de controle. Com os parâmetros ajustados, o usuário pode ajustar o valor da entrada (*Set Point*) e verificar o desempenho do sistema de controle, ou seja, verificar se a velocidade do sistema é aumentada ou reduzida com o ajuste do valor de entrada.

b) Acesso Remoto Utilizando WebServer

Para disponibilizarmos o acesso remoto ao experimento, devemos primeiramente habilitar a função *Web Server* do software. Após habilitada a função *Web Server* devemos utilizar a ferramenta *Web Publishing Tools*. Esta ferramenta se encarrega de transmitir à tela do usuário, quando este está conectado à página do WebLab na Internet, o painel frontal (*Front Panel*) do programa em LabVIEW®. O painel frontal é a interface do LabVIEW® por onde o usuário pode interagir com o programa desenvolvido. O próximo passo é configurar o *Web Publishing Tool* (Figura 7) que permite escolher o programa em LabVIEW® que será utilizado, bem como definir o modo de visualização.

No modo *Embedded* o painel frontal da aplicação é incorporado para que o usuário possa visualizar e controlar as variáveis de entrada (controles) remotamente usando o *Browser*. O programa em LabVIEW® deve estar na memória do computador servidor, o qual deve estar continuamente ligado, para que os usuários possam visualizar e controlar o painel frontal. No modo *Snapshot* a imagem estática do painel frontal é exibida no *Browser*. Contudo esta opção não permite que o usuário interaja com os controles do programa através do *Browser*. No modo *Monitor* exibe-se uma fotografia da aplicação, a qual é atualizada constantemente. Neste caso podemos escolher o tempo de atualização. Esta opção também não permite que o usuário interaja com os controles através do *Browser*.

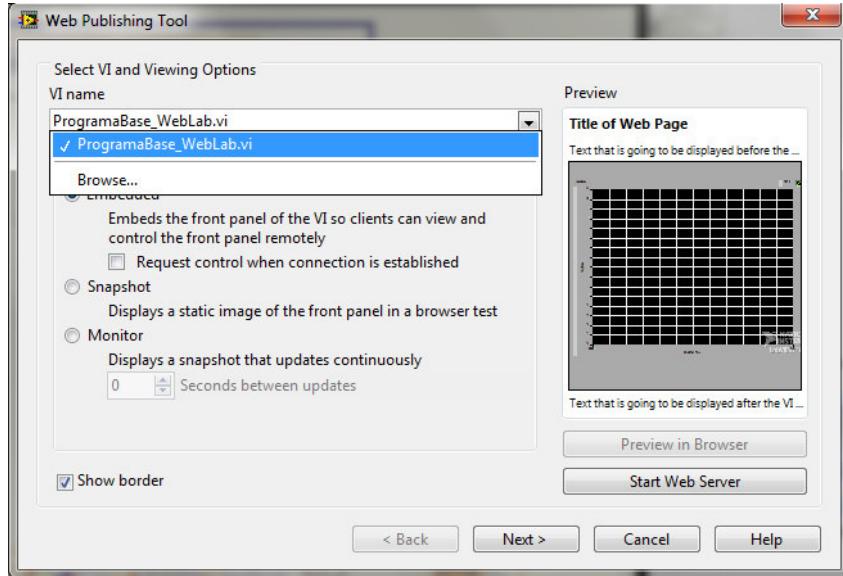


Figura 7 – Janela da Ferramenta *Web Publishing Tool*

Além destas opções, outras configurações podem ser realizadas no *Web Publishing Tool*. São exemplos:

- *Preview* — Exibe uma previsão da página da internet que será gerada.

- *Preview in Browser* — Previsão da página da internet no Browser padrão. Esta opção é desabilitada se o *LabVIEW Web Server* não está ativo.

- *Start Web Server* — Ativa o *LabVIEW Web Server*. Esta opção é desabilitada se o *Web Server* já está ativo.

Também é possível adicionar título, cabeçalho e rodapé na página utilizando o *Web Publishing Tool*.

Após salvar a nova página o usuário poderá ter acesso ao experimento utilizando outro computador com acesso à Internet. Para isto é necessário antes de tudo digitar no *Browser* de internet o endereço do WebLab. Para ter acesso completo à janela de programação será necessário instalar uma ferramenta do LabVIEW® que é solicitada automaticamente. Trata-se da ferramenta *LabVIEW Run-Time Engine 2009* que pode ser baixada da internet pelo link <http://joule.ni.com/nidu/cds/view/p/id/1383/lang/en>. Trata-se de um software livre disponível para usuários, mesmo se o LabVIEW® não estiver instalado na máquina do usuário. Há também um passo-a-passo da instalação em <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/11024>.

O endereço que foi disponibilizado para acesso ao WebLab é:

<http://weblab1.maua.br>.

Atualmente o endereço ainda não está disponível pois o projeto ainda depende da liberação de pontos de rede e liberação de um IP para instalação do WebLab. Contudo o WebLab já está operando com sucesso em um laboratório da instituição, por enquanto, com acesso somente na rede intranet. A página completa disponível para o usuário é mostrada na Figura 8. Note que na própria página são apresentadas instruções para o usuário.

Captura de Imagem para o WebLab

Uma das principais características desejáveis para o WebLab é que a planta que será controlada possa ser visualizado pelo pesquisador ou estudante que está acessando a página do laboratório remoto. Assim ele poderá analisar o comportamento do sistema e interagir com o sistema verificar o efeito da modificação dos parâmetros acessíveis na interface para o usuário.

Para desenvolver esta etapa será utilizada uma WebCam, conectada diretamente na porta USB do computador. Um programa desenvolvido em LabVIEW® como ilustrado na Figura 9 foi desenvolvido em [9]. Este código está sendo incorporado na aplicação.

Para desenvolver este programa são necessários os aplicativos IMAQ Vision, Vision Development Module e IMAQdx.

Esta etapa não foi concluída até o momento devido problemas de incompatibilidade entre as versões do LabVIEW® onde foi desenvolvida a aplicação e a versão atualmente disponível na instituição.

Resultados

O laboratório remoto foi desenvolvido com eficiência utilizando o aplicativo WebServer no LabVIEW®. Por meio do WebLab é possível desenvolver a aplicação de forma remota e realizar experimentos didáticos em cursos de engenharia, como por exemplo, a modelagem não-paramétrica do sistema a partir de ensaios de resposta a degrau, sintonia de controladores PID, entre outros.

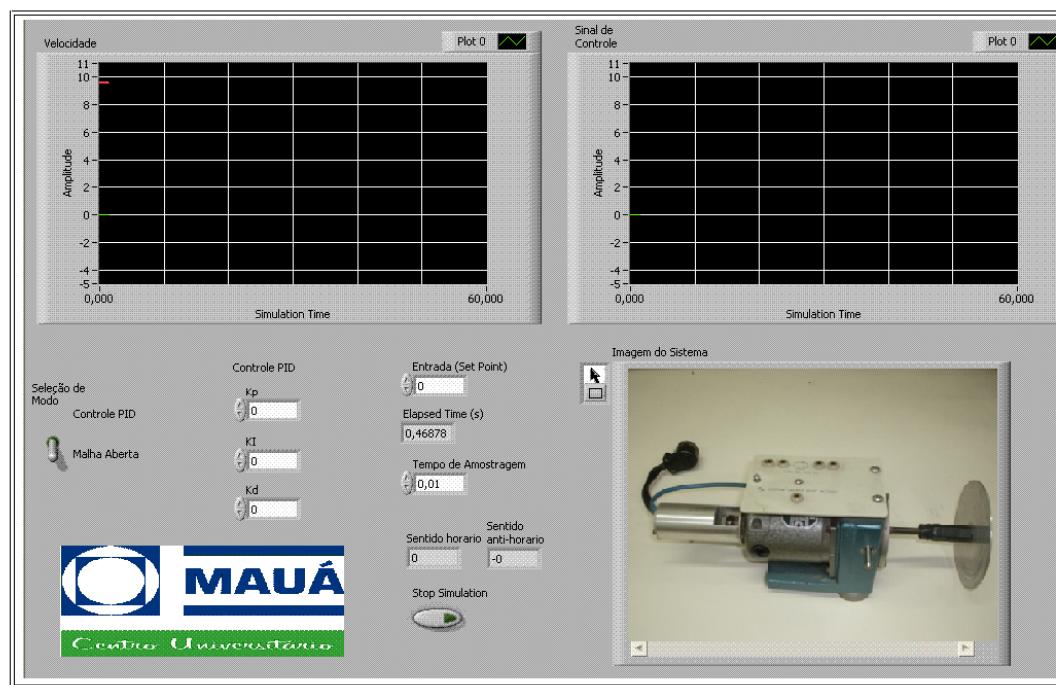
A aplicação com acesso remoto foi realizada utilizando o aplicativo WebServer do LabVIEW® que pode ser configurado para limitar tempo de acesso de cada usuário, bem como gerenciar as requisições de acesso, criando um sistema de filas onde cada usuário que solicita permissão para acessar o experimento fica aguardando a liberação do equipamento para sua utilização.

WebLab Mauá - Controle de Velocidade de Motor de Corrente Contínua

1 - Selecione o modo de operação: malha aberta ou controle PID.

1.1 - Malha aberta - Permite realizar o ensaio em malha aberta no motor CC. Para isto controle a tensão de entrada do motor (Set Point). É também possível alterar o tempo de amostragem. Sugestão: Utilize tempo de amostragem de 0,01 ou 0,001s.

1.2 - Controle PID - Permite realizar o controle PID com realimentação unitária. Para isto sintonize os parâmetros do controlador PID (K_p , K_i , K_d) e ajuste a tensão de entrada (Set Point). O controle PID é desenvolvido pelo seguinte algoritmo: $C(s) = K_p (1 + K_i/s + K_d s)$.



Contato:

Wânderson de Oliveira Assis (wanderson.assis@maua.br)

Thiago Fernandes (eumesmo.thiago@gmail.com)

Figura 8 – Interface com o usuário – WebLab

Por meio do WebLab é possível monitorar as informações produzidas pelo sensor de velocidade e interagir com o sistema modificando o valor da tensão aplicada no motor e verificando o aumento ou redução da velocidade do motor quando o sinal de entrada é aumentado ou reduzido. Também é possível efetuar a introdução e sintonia de controladores PID cujos parâmetros podem ser ajustados em tempo real utilizando a interface remota do WebLab.

Uma das vantagens de utilizar a planta de controle de velocidade mostrada na Figura 1 é permitir que vários usuários possam ter acesso à mesma planta e aos dados do experimento simultaneamente, considerando que há disponibilidade de somente uma planta como esta na instituição. Contudo a principal limitação é o fato de permitir somente o controle de velocidade do motor de corrente contínua. Por causa disto, numa próxima etapa, esta planta

será substituída pelo kit didático CtBoard, ilustrado na Figura 10, que apresenta como principal vantagem a possibilidade de efetuar o controle de velocidade ou posição, já que o sistema disponibiliza sinais relativos a estas duas variáveis. Além disso, o sistema pode ser acoplado diretamente sobre o kit ELVIS®, o que torna a planta mais versátil, compacta e de melhor aparência. Adicionalmente, pelo fato de haver disponível na instituição maior número de equipamentos, será mais fácil a substituição em caso de necessidade de manutenção.

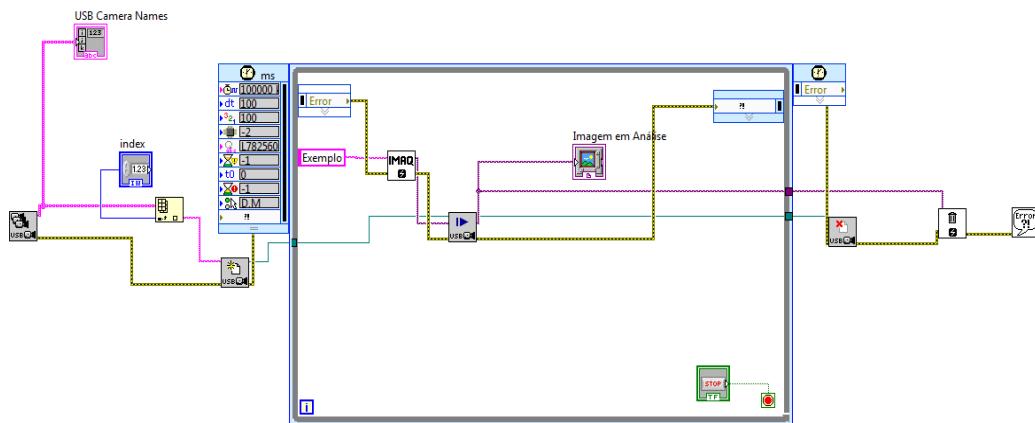


Figura 9 – Programa de Aquisição de Imagens Utilizando Câmera *USB*



Figura 10 – CtBoard e Montagem da Placa Sobre o Kit ELVIS®

Uma evolução do projeto consiste no desenvolvimento de outros sistemas de controle e automação. Espera-se que futuramente o WebLab tenha vários experimentos funcionamento paralelamente onde o usuário poderá optar pelo experimento que deseja controlar. Alguns experimentos previstos futuramente são:

- sistema de controle de nível e temperatura;
 - controle de movimentação de veículo aquático incluindo sistema de processamento de imagem embarcado para fazer a localização de objetos imersos na água.

Conclusões

O laboratório remoto foi desenvolvido com eficiência utilizando planta de controle de velocidade de motor de corrente contínua, sistema de aquisição de dados baseado em kit didático da National Instruments (ELVIS®) e um programa desenvolvido em LabVIEW®. A aplicação com acesso remoto foi realizada utilizando o aplicativo WebServer do LabVIEW® que pode ser configurado para limitar tempo de acesso de cada usuário, bem como gerenciar as requisições de acesso.

Por meio do WebLab é possível realizar ensaios em malha aberta modificando a entrada de controle (*Set Point*) para modificar a velocidade do motor. Também é possível efetuar a sintonia do controlador PID inserido em malha de controle por realimentação. A sintonia pode ser realizada em tempo real pelo usuário, utilizando a interface acessível na internet, onde é possível visualizar o comportamento dinâmico do sistema a partir de modificações dos parâmetros do controlador.

A aplicação desenvolvida poderá ser utilizada como ferramenta interativa didática para ensino à distância, permitindo que os alunos possam avaliar, na prática, o aprendizado na área de engenharia de controles. Além disso, pretende-se com este trabalho estimular o desenvolvimento de outros projetos de pesquisa e experimentos remotos relacionados à robótica, controle de processos industriais e processamento de imagem.

Referências Bibliográficas

- [1] SELMER, A., KRAFT, M., MOROS, R., COLTON, C. K., “**WebLabs in Chemical Engineering Education**”, Transactions IChemE, Part D, Vol. 2, p. 38-45, 2007.
- [2] KHALIL, A., HASNA, M., BENAMMAR, M. CHaabane, M., AMAR, C. B.“**Development of a Remote Lab for Electrical Engineering Program**”, International Conference on Signals, Circuits and Systems, Vol. 56, N. 12, December, 2009.
- [3] AKTAN, B., BOHUS, C. A., CROWL, L. A., SHOR, M. H., “**Distance Learning Applied to Control Engineering Laboratories**”, IEEE Transactions on Education, Vol. 93(3), p. 320-326, 1996.
- [4] HAHN, H. H., SPONG, M. W., “**Remote Laboratories for Control Education**”, Proceedings of the 39th IEEE Conference on Decision and Control, Sidney, Australia, p. 895-900, December, 2000.
- [5] ZUBIA, J. G., ORDUÑA, P., LÓPEZ-DE-IPIÑA, D., ALVES, G. R.“**Addressing Software Impact in The Design of Remote Laboratories**”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 56, N. 12, December, 2009.
- [6] ASSIS, W. O., COELHO, A. D., LIMA, F. R. G. “**Um Programa Didático para Ensino de Sistemas de Controle em Laboratório do Curso de Engenharia**”, COBENGE 2008 – XXXVI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, São Paulo, 2008.
- [7] ASSIS, W. O., COELHO, A. D., PATANÉ, E. J., LIMA, F. R. G. “**A Data Acquisition System Used in Didactic Experiences on Control System for Engineering Courses.**” Proceedings of the 9th WCCE – IFIP World Conference on Computers in Education, Bento Gonçalves, RS, Brasil, 2009.
- [8] ASSIS, W. O., COELHO, A. D., PATANÉ, E. J., LIMA, F. R. G. “**A Data Acquisition System Used in Didactic Experiences on Control System for Engineering Courses.**” Proceedings of the 9th WCCE – IFIP World Conference on Computers in Education, Bento Gonçalves, RS, Brasil, 2009.
- [9] ZANZARINI, D., FILHO, J. C. , COELHO, A. D., GOMES, M. M., ASSIS, W. O. “**Projeto de Iniciação Científica Desenvolvimento de Robôs Autônomos**”, Relatório Anual do Projeto de Iniciação Científica, IMT – Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, SP, 2009.