



METODOLOGIA PARA PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE LABORATÓRIOS DE CURSOS DE ENGENHARIA

Fransergio Leite da Cunha – fransergio@ucl.br

UCL – Faculdade do Centro Leste, Coordenação do Curso de Engenharia de Automação e Controle.

Rodovia ES-010, km 06, Manguinhos.

CEP 29173-087, Serra/ES

Roger Alex de Castro Freitas – rogerfreitas@ucl.br

UCL – Faculdade do Centro Leste, Coordenação Geral de Cursos de Graduação.

Rodovia ES-010, km 06, Manguinhos.

CEP 29173-087, Serra/ES

Resumo: *Este artigo apresenta uma abordagem utilizada na UCL - Faculdade do Centro Leste para a obtenção de uma boa relação entre qualidade e custo dos equipamentos didáticos empregados em práticas de laboratório. A idéia central passa pelo compartilhamento das instalações de uma forma planejada e integrada entre os experimentos de uma mesma disciplina e até entre diferentes disciplinas. A portabilidade dos equipamentos torna-se essencial para a aplicação deste conceito e é uma das variáveis principais no projeto de tais equipamentos. Além da integração entre os experimentos, e as conseqüentes vantagens para o ensino, obtém-se também uma redução dos custos de instalação e manutenção dos laboratórios. Este artigo apresenta os projetos conceituais de quatro equipamentos: uma ponte rolante; um elevador duplo com quatro andares; um conjunto de correias transportadoras e um robô manipulador didático. Todos estes equipamentos em escalas reduzidas, seguindo o princípio da portabilidade. Uma atenção especial é dedicada à participação de professores e alunos no desenvolvimento de tais equipamentos.*

Palavras-chave: Laboratório, Experimentos, Engenharia, Ensino

1 INTRODUÇÃO

Um dos principais problemas encontrados pelos gestores acadêmicos ao implantar um curso de engenharia em sua Instituição está em como fazer para que os melhores laboratórios sejam disponibilizados aos alunos, mantendo o custo dentro do orçamento proposto para os gastos com equipamentos didáticos.

Uma forma de obter uma boa relação entre qualidade e custo dos equipamentos didáticos é fazer com que os equipamentos sejam compartilhados com o maior número possível de disciplinas e, idealmente, até mesmo com disciplinas de outros cursos. Outra



imposição para melhorar esta relação é fazer com que estes equipamentos didáticos sejam portáteis, sendo possível adotar um conceito de laboratório livre das quatro paredes, onde qualquer ambiente, até mesmo a sala de aula, pode ser encarado como um laboratório. Porém, equipamentos didáticos disponíveis no mercado muitas vezes não atendem a esta demanda, pois são projetados para experimentos específicos de uma, ou no máximo, de duas disciplinas. Além disso, muitas vezes têm grandes dimensões, são fixos e/ou pesados, dificultando seu transporte para outros ambientes.

Uma possível solução para este problema é o desenvolvimento próprio (projeto e construção) de tais equipamentos (SPONG & TSAO, 1998; SPONG & BLOCK & ÅSTRÖM, 2001), seguindo as especificações que cada disciplina exige para suas práticas, e tentando agrupar o máximo de características e imposições que cada experimento necessita, tornando então este equipamento um dispositivo flexível, capaz de ser utilizado em vários experimentos, de várias disciplinas.

Para o desenvolvimento dos laboratórios e equipamentos didáticos do Curso de Engenharia de Automação e Controle (Engenharia Mecatrônica) da UCL – Faculdade do Centro Leste foram seguidas algumas premissas para atender às características expostas:

1. O equipamento deve atender as demandas da disciplina, e não o contrário;
2. O equipamento deve ser o mais flexível possível, de forma que possa ser utilizado em vários experimentos e, idealmente, em várias disciplinas;
3. O equipamento deve poder ser transportado facilmente e, se possível, deve ser leve;
4. O equipamento deve ter a capacidade de ser combinado com outros equipamentos, multiplicando sua flexibilidade e, conseqüentemente, a quantidade de experimentos que podem ser realizados;
5. O equipamento deve ser capaz de ter sua estrutura facilmente adaptável para novas tecnologias e/ou topologias;
6. O equipamento deve ter um baixo custo de aquisição, ou de fabricação e projeto, para atender às outras premissas;
7. O projeto do equipamento deve ter a participação dos professores, com a proposta discutida em reuniões de Colegiado e, sempre que possível, sua construção e melhorias devem ser realizadas por estagiários e/ou monitores das disciplinas envolvidas.

É fato que nem sempre um equipamento pode ser utilizado em mais do que uma disciplina, mas sempre que isto for possível, esta característica é desejada.

Impondo tais premissas alguns antigos paradigmas foram quebrados, como por exemplo, o da Faculdade ter uma sala dedicada exclusivamente para o “Laboratório de Eletrônica”, outra sala para o “Laboratório de Microprocessadores” e assim por diante, onde cada disciplina com aulas práticas teria salas/laboratórios específicos, inteiramente dedicados para ela. Este conceito ainda é muito difundido entre as Instituições Públicas,



onde Departamentos competem entre si e não é incomum existirem laboratórios diferentes com equipamentos duplicados, que poderiam muito bem atender à demanda de dois ou mais departamentos/cursos. Este fato faz com que as Instituições Públicas tenham elevados custos de implantação, operação e manutenção de seus cursos, característica que inviabilizaria seu funcionamento em Instituições Privadas.

Sendo assim, o Curso de Engenharia de Automação e Controle propôs à UCL a construção de alguns equipamentos para comporem seus laboratórios, respeitando o fato de que um laboratório de uma disciplina profissional não tem a necessidade de ser criado com muita antecedência antes da primeira vez que a disciplina for oferecida. Como exemplo, este artigo mostrará a concepção de quatro equipamentos que atendem às premissas descritas anteriormente.

Ao analisar o Caderno de Experimentos (CE), documento proposto pela Direção da UCL que determina quais são as práticas que uma determinada disciplina demanda, os professores do curso em reunião do Colegiado determinaram que, para atender a maioria dos experimentos propostos no CE de cada disciplina, quatro equipamentos seriam necessários. Estes equipamentos deveriam reproduzir em escala o que alguns equipamentos industriais são capazes de executar, com as devidas limitações.

Além desta característica, os equipamentos deveriam ser projetados de tal forma que a interface de controle pudesse ser feita usando-se tecnologias diversas e, portanto, possibilitando a flexibilidade do equipamento, também respeitando a premissa que sugere que os equipamentos devem ter a possibilidade de serem combinados.

2 PROJETO DOS LABORATÓRIOS

Sendo assim, iniciou-se uma busca no mercado para verificar se algum fabricante dispunha de tais equipamentos com estas características. Apenas um tipo de equipamento foi encontrado, os robôs manipuladores didáticos, porém, os fabricantes não forneciam uma interface de controle flexível, impossibilitando a execução de vários métodos e tecnologias de controle e atuação. Sendo assim, foi proposto à Instituição que quatro equipamentos fossem projetados e construídos inicialmente: uma ponte rolante; um elevador duplo com quatro andares; um conjunto de correias transportadoras e um robô manipulador didático. Todos estes equipamentos em escalas reduzidas, conforme propõe a lista de premissas.

Nas próximas seções, cada um destes equipamentos será mostrado individualmente e posteriormente em conjunto, na forma de simulação de uma célula de transporte e estocagem de materiais.



2.1 A ponte rolante

Uma ponte rolante industrial é um equipamento de elevação e transporte de materiais, muito utilizado nas mais diversas indústrias, o que torna este equipamento um bom exemplo de dispositivo didático, já que os alunos terão uma probabilidade muito grande de encontrar este equipamento nas empresas onde trabalharão.

Essencialmente, este equipamento possui dois graus de liberdade¹ (DOF – *Degrees Of Freedom*), um para a translação do carro principal e outro para a elevação da carga. Portanto, dois motores foram utilizados como atuadores destes dois DOF. Foram escolhidos motores de corrente contínua de 12V acoplados a redutores, pois são motores comumente encontrados tanto no mercado, facilitando sua reposição, como na indústria, e seu controle é amplamente difundido na literatura (OGATA, 1993; ANDEEN, 1988; SPONG & VIDYASAGAR, 1989). Para medir a posição angular, e consequentemente a velocidade (dependendo da estratégia de controle), foram adotados potenciômetros de precisão, de n voltas, dada sua facilidade de operação e custo de aquisição, muito mais baratos do que os *encoders*, mais precisos, porém muito mais caros.

Há ainda outra funcionalidade neste equipamento: o ato de transladar o carro da ponte promove intrinsecamente um movimento pendular da carga, que não é desejável nas aplicações corriqueiras deste equipamento nas indústrias. Aproveitando este comportamento do sistema, uma boa prática seria o controle do movimento pendular da carga, fazendo com que o ângulo entre o cabo de içamento da carga e o eixo vertical se aproxime a zero. Para isso, um sensor que mede este ângulo teve que ser acoplado ao equipamento.

Para fazer o içamento da carga, foi adotado um eletroímã, visto que eletricamente pode-se acionar ou não o acoplamento à carga, o que facilitaria o controle de tal recurso. Todas as entradas (acionamento elétrico dos motores e eletroímã) e saídas (sinais obtidos dos sensores de posição angular acoplados nos motores e de detecção do movimento pendular) culminaram em conexões do tipo “banana” ou DB 9 ou 32, que facilmente podem ser ligados através de cabos livres a outros dispositivos, como por exemplo CLP (Controladores Lógico-Programáveis), placas de aquisição de dados conectadas a Computadores Pessoais (PC), circuitos dedicados ou que usam a porta paralela ou serial de PC e placas com microprocessadores e/ou microcontroladores.

Na grade do curso de Engenharia de Automação e Controle da UCL, este equipamento, individualmente, pode ser utilizado nas seguintes áreas: Estruturas Metálicas; Medidas Elétricas e Magnéticas; Instrumentação Eletromecânica e Eletrônica; Sistemas Eletrônicos de Medida e de Controle; Circuitos Elétricos, Magnéticos e Eletrônicos; Circuitos Eletrônicos; Circuitos Magnéticos, Magnetismos, Eletromagnetismo; Máquinas Elétricas e Dispositivos de Potência; Eletrônica Industrial, Sistemas e Controles Eletrônicos; Sistemas Eletrônicos de Medida e de Controle; Automação

¹ É o termo usado para descrever o número mínimo de coordenadas independentes requerido para especificar um movimento ou as posições de todos os elementos de um sistema.



Eletrônica de Processos Elétricos e Industriais; Controle de Processos Eletrônicos, Retroalimentação; Projetos de Máquinas; Elementos de Máquinas; Máquinas, Motores e Equipamentos; Controle de Sistemas Mecânicos e Controle Numérico.

Pode-se observar que este equipamento, individualmente, também pode ser aproveitado no Curso de Engenharia Mecânica e também nas disciplinas do ciclo básico da Engenharia, como por exemplo em algumas disciplinas da Física, onde os alunos podem realizar medidas de velocidade, aceleração e elaborar gráficos e relatórios sobre o movimento das partes do equipamento.

Após a adequação às premissas básicas aqui expostas, o equipamento didático que simula uma ponte rolante resultante do projeto inicial pode ser visto na figura 1.



Figura 1. Equipamento didático que simula uma ponte rolante, desenvolvido pela equipe da UCL.

2.2 O elevador

Ainda relacionado ao tema elevação de cargas, o elevador é um equipamento não só muito utilizado na indústria como também em instalações prediais e residenciais, e portanto, um ótimo exemplo de equipamento a ser abordado em um curso de controle e automação. Um exemplo de aplicação industrial de um elevador é, por exemplo, a elevação, em segurança, de cargas e operários. Todos os alunos já tiveram contato com um elevador e sua lógica de funcionamento é bem intuitiva.

Para que o equipamento didático se mostrasse mais interessante do ponto de vista pedagógico, a proposta inicial foi que este dispositivo tivesse dois elevadores e quatro andares. A inserção de mais um elevador, aumenta a possibilidade de quantidade de experimentos que este equipamento pode realizar, como por exemplo, a implementação de uma lógica mais inteligente de chamada por andar, onde o elevador mais próximo do andar onde houve a chamada chegaria primeiro. Para isso, dois motores de corrente contínua, de 12V, semelhantes aos usados no equipamento didático de simulação da



ponte rolante, foram utilizados para realizar a movimentação dos elevadores em si, como atuadores do sistema. Para a medição da velocidade, também foram utilizados potenciômetros de precisão com n voltas, para que houvesse também a possibilidade de controlar a velocidade dos elevadores. Sensores do tipo *reed switch* foram utilizados para informar se os elevadores estão presentes ou não nos andares e botões de chamada, juntamente com LED's (*Light Emitter Diodes* - Diodos Emissores de Luz) indicativos em cada andar, para aumentar a complexidade do sistema. Estes sensores podem ou não ser utilizados, dependendo do propósito do experimento e do conteúdo da disciplina.

Este equipamento também contou com conexões semelhantes às da ponte rolante para obter os dados do processo e para atuar nos motores. As áreas de atuação que podem utilizar este equipamento também são idênticas às da ponte rolante. Após o processo de montagem, o equipamento proposto resultou no dispositivo mostrado na Figura 2.



Figura 2. Equipamento didático que simula um conjunto de dois elevadores com quatro andares, desenvolvido pela equipe da UCL.

2.3 As correias transportadoras

Como foram desenvolvidos dois equipamentos destinados à elevação de cargas, seria conveniente também projetar e construir um equipamento para o transporte horizontal de cargas, já prevendo uma futura integração destes dispositivos. Então o equipamento escolhido foi uma correia transportadora, que é também um dispositivo muito utilizado nas instalações fabris e pode ser usado tanto para o transporte de peças como também para o transporte de granulados, o que é muito interessante, uma vez que a região em que a UCL está inserida é rodeada de grandes indústrias do setor de mineração e siderúrgico, como a Vale e a ArcelorMittal Tubarão, por exemplo. Para que o experimento utilizando este equipamento fosse o mais próximo à realidade, foi incluída no CE a demanda de duas correias transportadoras, para que houvesse a transferência do



material de uma para outra. Sendo assim, duas correias transportadoras quase idênticas foram projetadas e montadas.

Era necessário que houvesse uma equalização do modo de controle dos atuadores, desta forma, os motores e os sensores de velocidade usados nestes equipamentos foram idênticos aos da ponte rolante e do elevador, com o objetivo que o professor poderia realizar um rodízio entre quatro grupos, usando a mesma técnica de acionamento e controle, por exemplo, porém com equipamentos aparentemente diferentes.

Foram incluídos sensores óticos para determinar a presença de objetos em determinadas partes da correia transportadora, e um sensor ótico para indicar o tamanho de objetos, todos eles do tipo “emissor/receptor”. Com estes sensores, além dos potenciômetros, o aluno é capaz de medir a velocidade de operação das correias, por exemplo, e selecionar o descarte ou não de peças com tamanhos diferentes. O conjunto com as duas correias transportadoras pode ser visto na figura 3. As áreas de aplicação deste equipamento são as mesmas das diversas áreas contempladas a exemplo do elevador e da ponte rolante. As conexões são as mesmas utilizadas nos dois outros equipamentos aqui mostrados até o momento.

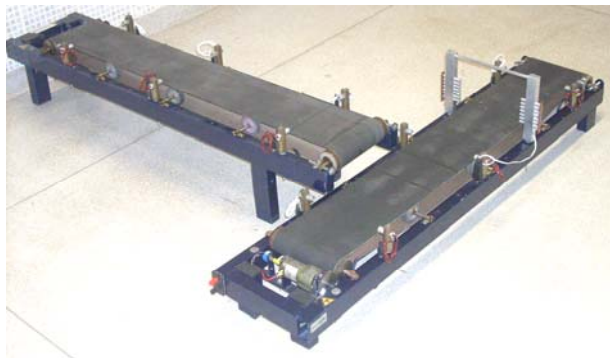


Figura 3. Equipamento didático que simula um conjunto de duas correias transportadoras, desenvolvido pela equipe da UCL.

2.4 O robô manipulador

Robôs manipuladores são máquinas flexíveis por natureza, sendo empregados nas mais diversas áreas e setores industriais, seja montando, soldando, pintando ou manuseando peças e cargas, por exemplo. É inconcebível que um curso de Engenharia cujo tema seja Controle e Automação não possua em seus laboratórios pelo menos um robô manipulador. A aplicação imediata deste equipamento é, portanto, nos laboratórios da área de Robótica, mas também pode ser usado como experimento das áreas listadas anteriormente na Seção 2.1.

Entretanto, robôs manipuladores industriais ainda são máquinas caras, e muitas vezes são inacessíveis para a maioria das Instituições de Ensino Superior (IES). Uma opção



para que estas IES tenham um importante equipamento como este é adquirir um robô didático. Porém, estes robôs são limitados no que se refere a alguns parâmetros de construção mecânica e da flexibilidade para atuar nos motores e obter os sinais dos sensores internos, o que limitaria a flexibilidade e demais premissas aqui expostas. Outro fator decisivo foi o custo destes robôs que, mesmo sendo didáticos, ainda mostraram-se muito caros. Então a UCL optou pelo projeto e desenvolvimento de um robô manipulador didático próprio, com as características de construção e flexibilidade impostas nos CE's.

Este robô deveria ser construído de tal forma que permitisse ao aluno observar e verificar a dificuldade de controle e programação de robôs manipuladores com características construtivas diferentes, em um mesmo equipamento. Desta forma, o projeto contemplou a alocação de partes de atuadores nas juntas e parte na base do robô. Diferente dos outros equipamentos, o robô projetado previu o uso de *encoders* para medir os ângulos das juntas. Para diminuir também o custo deste equipamento, os *encoders* também foram construídos. Também o projeto impôs que a flange para acoplamento do *end effector* (ANDEEN, 1988; SPONG & VIDYASAGAR, 1989) fosse idêntica ao de robôs manipuladores industriais, seguindo o mesmo padrão de acoplamento, para que no futuro, outros *end effectors* comerciais pudessem ser comprados e usados neste robô. Para o uso imediato, projetou-se uma garra como *end effector*. Com a garra, o robô totaliza 5 DOF.

Além disso, os sinais de atuação e controle também deveriam estar disponíveis, independente de qualquer *driver* a ser utilizado para controlá-lo, aumentando sua flexibilidade. O robô didático da UCL pode ser visto na Figura 4.



Figura 4. Robô didático desenvolvido pela equipe da UCL.



3 INTEGRAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DIDÁTICOS

Como uma premissa do projeto, estes equipamentos devem ter a possibilidade de serem integrados, possibilitando assim que o leque de áreas abordadas aumente e que outros cursos possam utilizá-los. A proposta inicial é que os equipamentos ponte rolante, correias transportadoras, elevadores e o robô manipulador, juntos compusessem um processo de manufatura, onde haveria o transporte de peças, tanto verticalmente como horizontalmente, uma seleção de peças, através das correias; a manipulação das peças pelo robô e a simulação de um estoque vertical, usando-se o elevador. Esta primeira proposta pode ser vista no esquema mostrado na figura 5.a e a montagem real na figura 5.b.

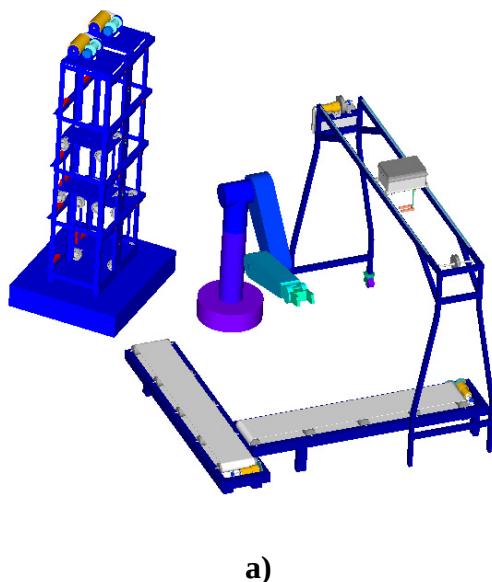


Figura 5. Esquema com a proposta de configuração de uma montagem de um processo produtivo usando-se os equipamentos propostos neste artigo (a) e a sua montagem real (b).

Com esta abordagem, as novas áreas que os equipamentos atendem podem ser: Engenharia de Produção; Lay Out de Processos Industriais; Planejamento de Instalações Industriais; Planejamento, Projeto e Controle de Sistemas de Produção; Processos Estocásticos e Teorias de Filas, por exemplo, além de todas as outras áreas listadas nos itens anteriores.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi fundamental a participação dos alunos e professores para a construção dos equipamentos aqui mostrados. Os professores no que se refere à criação do CE e detalhes dos equipamentos, de forma que pudessem ser utilizados em suas disciplinas de



maneira satisfatória e os alunos como monitores, estagiários, alunos de Iniciação Científica, voluntários, alunos finalistas que estão fazendo seus trabalhos de conclusão de curso e bolsistas que durante alguns períodos contribuíram para o projeto. Este foi um fator decisivo para o sucesso deste empreendimento, já que a UCL acreditou que esta contribuição era a forma mais adequada para conduzir a aquisição destes equipamentos. O sucesso pode ser comprovado de uma forma bem interessante: um grupo de alunos que participaram na construção de alguns equipamentos e, em especial, do robô manipulador, criou uma empresa cuja missão é fabricar e vender equipamentos didáticos, antes mesmo de se formarem. Esta empresa, a Intechno, está incubada no Núcleo Incubador do Campus Serra do Instituto Federal do Espírito Santo e já possui clientes que compraram seus produtos.

Os professores atualmente estão utilizando os equipamentos em suas aulas, de maneira satisfatória, e os alunos também os estão utilizando para compor a parte prática de seus Trabalhos de Conclusão de Curso, o que mostra a flexibilidade de um laboratório projetado com a abordagem sugerida neste artigo.

Em termos de comparação de custos, o único equipamento para o qual foi possível encontrar similar no mercado foi o robô manipulador. Neste caso, o equivalente no mercado custava R\$30.000,00. O projeto desenvolvido na faculdade teve um custo total de R\$8.000,00.

Agradecimentos

A UCL agradece a participação dos seus alunos e professores que contribuíram de alguma forma no projeto, desenvolvimento e construção dos equipamentos didáticos mostrados aqui e em todos aqueles que não puderam ser mostrados por falta de espaço. A UCL não ficaria satisfeita se fosse diferente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- SPONG, M.K.; TSAO, T.C. **Mechatronic Education at University of Illinois**, In Proceedings of IFAC'98 World Congress, Beijing, China, July 1998.
- SPONG, M.K.; BLOCK, D.J; ÅSTRÖM. **The Mechatronics Control Kit for Education and Research**, In Proceedings of the 2001 IEEE Conference on Control Applications, pp. 105–110, September 2001.
- OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**, 2 ed. Rio de Janeiro: Prentice/Hall, 1993.
- ANDEEN, G.B. **Robot Design Handbook**. New York: MacGraw-Hill, 1988.
- SPONG, M.W.; VIDYASAGAR, M. **Robot Dynamics and Control**. New York: John Wiley & Sons, 1989.



METHODOLOGY FOR DESIGN AND IMPLEMENTATION OF LABORATORIES FOR ENGINEERING COURSES

Abstract: *This paper presents an approach used in the UCL - Faculdade do Centro Leste to obtain a good relation between quality and cost of teaching equipment used in laboratory practice. The central idea is the sharing of facilities in a planned and integrated way, where experiments of the same discipline and even between different disciplines can coexist. The portability of equipment is essential to implement this concept and is one of the main variables in the design of such equipment. Besides the integration between experiments, and the consequent benefits to teaching, reducing costs of installation and maintenance of laboratories is also achieved. This article presents the conceptual designs of four devices: a crane, a double elevator with four floors, a set of conveyor belts and a manipulator robot. All these equipment were design at small scales, following the principle of portability. Special attention is devoted to the participation of teachers and students in developing such equipment.*

Key-words: Laboratory, Practices, Engineering, Teaching