



MELHORIAS NO KIT EDUCACIONAL PÊNDULO INVERTIDO MONTADO COM REE

Ricardo Teixeira da Silva – ricardoteix@gmail.com

Escola Politécnica de Pernambuco - Universidade de Pernambuco
Rua José Cavaleira, 392 Apto 1001
52051-060 – Recife - PE

Sérgio Campello Oliveira – scampello@ecomp.poli.br

Escola Politécnica de Pernambuco - Universidade de Pernambuco
Rua Benfica, 455 POLI - UPE
50720-001 – Recife - PE

Resumo: A utilização de artefatos didáticos criados a partir de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REE) foi considerada viável e eficaz pelo trabalho de Andrade (2012), o qual criou e utilizou kits de treinamento utilizando sucatas de equipamentos de eletrônicos, entre eles o Kit Pêndulo Invertido. Por meio de uma análise deste artefato, este trabalho implementou melhorias no Kit Pêndulo Invertido a fim de prover um artefato didático mais robusto e funcional para treinamento de estudantes de Engenharia de Computação. Neste trabalho será apresentada a análise do Kit Pêndulo Invertido bem como a realização das melhorias propostas em hardware e software. Serão apresentados testes realizados com o kit original e então apresentados os impactos que as melhorias propostas representaram para a utilização do kit definitivo.

Palavras-chave: Pêndulo Invertido, REE, Recursos Didáticos, Sistemas de Controle, Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos.

1. INTRODUÇÃO

Há um consenso entre os docentes de disciplinas de informática de que são necessários trabalhos práticos para que os alunos assimilem mais facilmente o conhecimento transferido (SILVA et al., 2004). Nos cursos de Engenharia Elétrica, Mecatrônica e de Computação, que têm como disciplinas cálculo diferencial, eletrônica, controle de processos, entre outras, existe a necessidade de recursos didáticos para uso em laboratório e aulas práticas. Esses recursos, muitas vezes, têm um custo relativamente alto e, por isso, nem sempre as universidades podem adquiri-los.

Como alternativa para obtenção desses recursos, Andrade (2012) propôs a montagem de kits de treinamento com sucatas de dispositivos de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC). Essa proposta teve como objetivo a produção de artefatos para treinamento de estudantes de Engenharia de Computação e Mestrado em Sistemas, visando aproveitar a maior quantidade de componentes. No trabalho, o autor produziu três kits de treinamento para aplicações distintas, sendo um deles o Pêndulo Invertido – de maior complexidade quando comparado aos demais –, que pode ser aplicado em disciplinas relacionadas às áreas da Eletrônica, Controle de Processos e



Inteligência Computacional. O Pêndulo Invertido tem seu princípio de funcionamento semelhante ao problema de se tentar equilibrar um bastão na ponta dos dedos ou na palma da mão. Quando o bastão tende a cair em uma determinada direção, este movimento é compensado movendo-se a mão para o sentido da inclinação, fazendo com que o bastão volte a ficar ereto (ANDRADE, 2012).

O princípio do Pêndulo Invertido pode ser encontrado em diversos exemplos reais como: o equilíbrio de um foguete durante o lançamento e o controle de estabilização do veículo de transporte humano Segway (LIMA, 2006).

Neste trabalho são apresentadas as modificações no *software* embarcado, visando melhorias estruturais no código fonte e no protocolo de comunicação do sistema com o controlador externo; e no *hardware* do Kit Pêndulo Invertido desenvolvido por Andrade (2012), a fim adicionar outra interface de comunicação. Entre as metas específicas para este trabalho, estão:

- implementar uma etapa de calibração para que o carro possa inicializar automaticamente no ponto central do sistema;
- adicionar sensores de fim de curso para detecção do ponto de partida e desligamento do motor, corrigindo comandos indevidos;
- ampliar compatibilidade com maior variedade de dispositivos de controle através da criação de uma interface serial compatível com RS-232 e TTL;
- adaptar o código fonte proposto por Andrade (2012) para que o estado dos sensores seja enviado por requisição e não continuamente;
- definir uma tabela de códigos de comandos para melhorar o tratamento das informações e eventos ocorridos no *hardware*.

2. O PÊNDULO INVERTIDO

O problema da estabilização de um pêndulo de forma invertida é bem conhecido na mecânica clássica. Essa possibilidade foi descrita primeiramente por Stephenson (1908), quando apontou um tipo de estabilidade dinâmica que define que um pêndulo comum, plano e rígido, cujo eixo é forçado a oscilar ao longo a linha vertical, torna-se estável na posição invertida se a amplitude e a frequência de condução estiverem em certos intervalos (BUTIKOV, 2011). A partir da abordagem proposta por Stephenson, Kapitza (1951) forneceu quase independentemente a solução para o mesmo problema e alavancou o surgimento de uma nova seção da Teoria das Oscilações Não-lineares para a mecânica vibratória (VASILKOV, 2007). Assim, o comportamento do pêndulo estava fisicamente explicado e comprovado experimentalmente em detalhes (BUTIKOV, 2011). O dispositivo físico correspondente é mencionado na literatura por Vasilkov (2007) como “Pêndulo Stephenson-Kapitza”.

Além do pêndulo de Stephenson-Kapitza, o qual tem o pivô sendo movimentado verticalmente, existem outras implementações do pêndulo invertido onde o controle deve ser efetuado horizontalmente, como é o caso do exemplo proposto por Poorhossein (2010), cujo objetivo é equilibrar um pêndulo montado em um carrinho móvel, mostrado na Figura 1. Brunauer (2007) propôs o mesmo arranjo e afirmou que, ajustando a velocidade e a direção do carrinho, um controlador consegue manter o pêndulo na posição vertical.

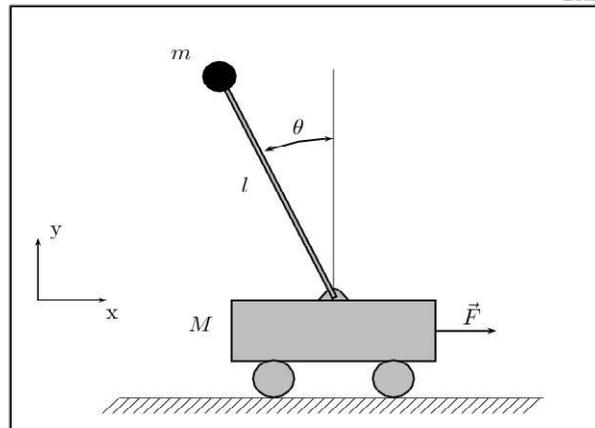


Figura 1 - Pêndulo montado sobre um carrinho. Fonte: POORHOSSEIN, 2010.

2.1. Contexto Educacional

Por ter características muito interessantes, sistemas com pêndulo invertido têm despertado o interesse de pesquisadores em expandir suas pesquisas desenvolvendo sistemas mais avançados. Tais sistemas têm sido ampliados para diversas aplicações, como sistemas de pêndulo móvel, sistemas sobre atuação, entre outros (AHN, 2008).

Segundo Felder (1988), há indicações de que os estudantes de engenharia são mais propensos a serem ativos do que reflexivos. Alunos ativos são aqueles que assimilam melhor o conhecimento que lhes é apresentado fazendo alguma coisa externa com a informação - discutindo, explicando ou testando de alguma forma. Um aluno ativo é alguém que se sente mais confortável ou é melhor em experimentações ativas do que em observações reflexivas (FELDER, 1988). A educação dos métodos de controle avançados é mais efetiva por meio de demonstrações experimentais (JUNG, 2011).

3. APRESENTAÇÃO DO KIT PÊNDULO INVERTIDO

O Kit Pêndulo Invertido foi concebido para reproduzir o experimento do pêndulo invertido como forma de reaproveitar as peças comumente presentes nas sucatas das impressoras jato de tinta. Este *kit* utiliza peças como disco codificado, sensor de quadratura, motor e outras, comumente usadas como base por diversos modelos de impressoras jato de tinta fabricados pela HP®; além de peças de discos rígidos, gabinete de computadores pessoais, entre outras. O kit foi construído baseado nos princípios de funcionamento dos modelos apresentados na Seção 2.1. O projeto do Kit Pêndulo Invertido pode ser visto na Figura 3.

O ângulo de inclinação do pêndulo é obtido por meio do sensor construído a partir do sensor de tracionamento do papel da impressora, o qual foi fixado ao carro de impressão juntamente com o motor de um disco rígido, utilizado como pivô, que tem o papel unicamente de fixação do disco e da haste do pêndulo. Vale salientar que o motor do disco rígido não foi alimentado, estando livre para a haste balançar sem que haja qualquer força atuante por parte deste motor (ANDRADE, 2012). Para determinar a posição linear do carro foi utilizado o mecanismo da impressora composto de sensor e fita codificados. Para fazer o controle e receber os dados dos sensores foi utilizada a plataforma aberta de *hardware* e *software* Arduino, bastante utilizada em escolas e universidades. Os detalhes da montagem final do Kit Pêndulo Invertido podem ser visto na Figura 4.

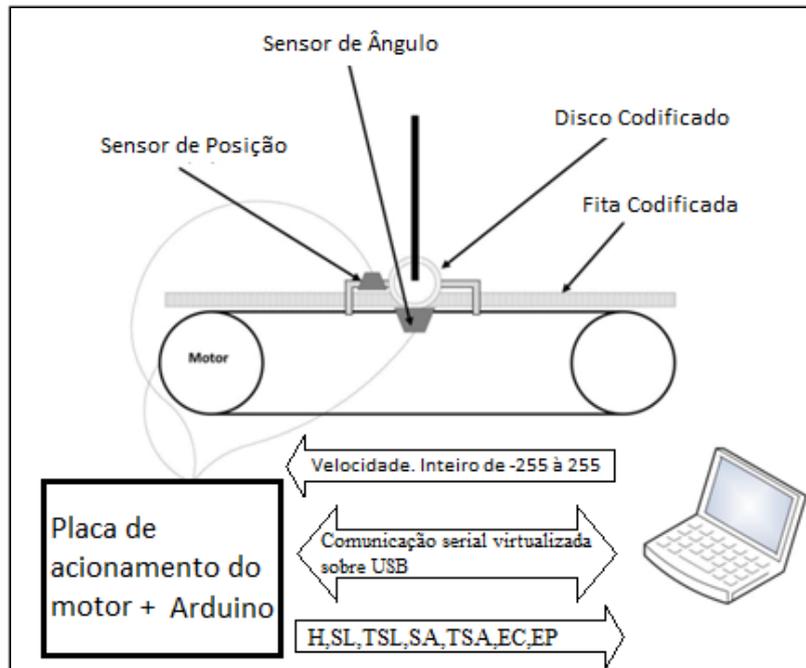


Figura 3 – Projeto do Kit Pêndulo Invertido proposto por Andrade (2012). Fonte: ANDRADE, 2012.

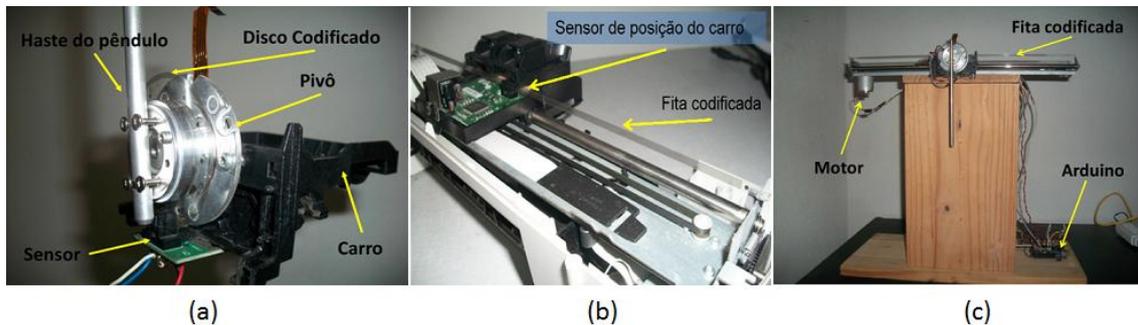


Figura 4 – Detalhes da montagem final do Kit Pêndulo Invertido. (a) Carro de suporte do Kit Pêndulo Invertido; (b) Sensor de deslocamento horizontal do kit; (c) Kit Pêndulo Invertido montado. Fonte: ANDRADE, 2012.

4. ANÁLISE DO KIT PÊNDULO INVERTIDO

Visando verificar as melhorias necessárias a fim de tornar o kit próprio para aplicação como recurso didático em disciplinas de Engenharia de Computação, uma análise do Kit do Pêndulo Invertido foi efetuada em termos de *hardware* e *software*.

4.1. Colisões do Carro com a Estrutura Metálica

Por meio de testes práticos controlados a partir do ambiente de desenvolvimento do Arduino, foi possível observar a existência de um grande problema de colisões com as laterais da estrutura metálica que sustenta todo o sistema. As colisões ocorrem devido a outro problema encontrado durante os testes que é a persistência do motor - que traciona



a correia para mover o carro - em se manter ligado indefinidamente até que haja um comando de um controlador cliente para seu desligamento. Esse problema pode causar diversos danos ao sistema, principalmente ao próprio motor, à correia e ao circuito driver do motor.

Esse problema pode ser observado no vídeo “Análise do Kit Pêndulo Invertido - Colisões” disponibilizado por Silva (2012), no qual o Kit Pêndulo Invertido está conectado ao computador por meio da porta USB. Os testes foram efetuados com valores de deslocamento do carro múltiplos de 51, sendo feitos então cinco testes, com os valores 51, 102, 153, 204 e 255, que é o valor máximo. Observou-se que para os valores 51 e 102 não houve grande intensidade de força aplicada ao carro, fazendo com que este se desloque com uma velocidade muito pequena. A partir do valor 153 o carro passa a se deslocar com uma velocidade bem maior e que a colisão passa a ter um impacto significativo. No valor máximo o carro fica preso na lateral direita e a correia passa a sofrer uma tração muito forte, podendo ser observado o deslize desta nas engrenagens que formam o conjunto de tração do carro.

4.2. Interface de Comunicação Serial

A comunicação serial do Arduino é feita através dos pinos digitais 0 e 1, que são o RX e TX, respectivamente. Para fazer a interface do kit com um PC, a placa Arduino utilizada dispõe de uma porta USB sendo esta, portanto, a única interface disponível inicialmente. Não sendo possível, inicialmente, efetuar o controle a partir de uma porta serial RS-232, pois não há o conector DB9.

Através de uma porta RS-232 é possível efetuar a comunicação serial por diversos dispositivos. No mercado há, por exemplo, conversores de LAN para RS-232, como é o caso dos adaptadores NETRS2321E da StarTech e do NA-4021 da MOXA© que permitem a comunicação com o dispositivo dotado de RS-232 por uma rede local.

4.3. Inicialização do Sistema

Foi possível observar que o sistema de controle não tem uma rotina de inicialização, passando a enviar os dados dos sensores através da serial logo que o sistema é ligado. A posição de referência, ou seja, a origem do sistema na horizontal é aquela onde se encontra o carro. Como esta posição é arbitrária, o controlador cliente não tem conhecimento do espaço possível de se percorrer com o carro até que haja uma colisão com algum dos lados, mesmo que este receba o valor da posição atual do carro. Apesar de ser possível determinar uma posição inicial, movendo-se o carro manualmente, esta posição seria difícil de determinar.

4.4. Transmissão dos Dados

A placa Arduino utilizada contém um chip FT232RL, que é responsável por fazer a interface USB para serial na placa (FTDI™ Chip). Sendo assim, o controle do Kit Pêndulo Invertido é controlado por uma porta COMX, onde X é o número da porta instalada no PC pelo reconhecimento do chip mencionado. Então, a rotina de configuração é a mesma quando o controle ocorre pela USB ou pelos pinos de comunicação serial, sendo necessário apenas executar a função “Serial.begin(speed)”, onde “speed” é a taxa de transmissão serial.



Assim que o sistema é ligado, os dados começam a ser transmitidos pelo sistema embarcado em um laço infinito na velocidade da taxa de comunicação serial. Este envio de informação indefinidamente, sem um controle específico, não deixa o sistema flexível para que um controlador cliente possa obter essas informações à medida que necessite, deixando o canal de comunicação sempre congestionado. Além disso, em dispositivos como microcontroladores o hardware de transmissão serial é comumente desligado quando o buffer recebe uma sequência de tamanho pré-determinado sem que nenhum dado seja removido do buffer de recepção.

4.5. Códigos de Comando

Não existe qualquer comando, além do valor de controle da direção e intensidade do movimento do carro, que o cliente possa enviar para o sistema a fim gerenciar melhor seu funcionamento geral. Comandos como reinicialização do sistema, requisição dos dados e reposicionamento do carro no estado inicial não foram implementados.

4.6. Eventos e Exceções

Por fim, não existe envio de informações a cerca de eventos e exceções, para que o controlador cliente saiba de possíveis problemas ocorridos, como colisões, o não recebimento de informações e o recebimento de dados inválidos.

5. ADAPTAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DAS MELHORIAS

A seguir serão apresentadas as adaptações e implementações necessárias no *hardware* e no *software* para as propostas de melhorias já citadas na seção introdutória.

5.1. Sensores de Fim de Curso

Para determinar qual o melhor sensor a ser utilizado foram analisados três tipos: um sensor mecânico, um sensor óptico e um sensor magnético. O sensor mecânico utilizado foi uma chave de pressão normalmente aberta, conhecida como micro switch. O sensor óptico foi retirado de uma impressora HP[®] que fazia parte do sensor de papel. Este mesmo tipo de sensor é utilizado também nas impressoras com o propósito de identificar se a tampa estaria levantada ou não. O sensor magnético utilizado foi o reed switch.

Os critérios para a determinação de qual tipo de sensor seria utilizado foram o esforço necessário nas modificações no circuito original; a facilidade na obtenção do sensor em REE; e, por fim, a complexidade de acoplamento do sensor ao sistema físico.

Após as análises foi percebido que o reed switch seria a melhor opção para a utilização no projeto, visto que não seria necessário montá-lo em nenhum tipo de base para depois acoplar na estrutura. Dois sensores do tipo reed switch foram fixados no carro utilizando apenas cola quente, um de cada lado do carro. Para ativar os sensores foram utilizados dois ímãs retirados de um disco rígido. Os ímãs foram facilmente posicionados nas laterais da estrutura metálica do trilho fazendo os sensores fecharem seus contatos quando o carro se aproxima das laterais. Para que os sensores fossem controlados pela placa Arduino foram necessários apenas dois resistores e fios para fazer a ligação do sensor que se encontram no carro até a placa Arduino.



5.2. Interface de Comunicação RS-232

Uma placa conversora de RS-232 - TTL foi utilizada para esta adaptação. Esta placa permite que o Arduino se comunique com PCs ou outros dispositivos que operem com o padrão serial RS-232. A conexão entre os dispositivos é estabelecida através do conector DB9.

5.3. Inicialização do Sistema

Para determinar automaticamente uma posição ótima para o carro foram criadas rotinas de inicialização do *software* embarcado. Essas rotinas estão contempladas em três estados iniciais, denominados neste trabalho de INICIALIZAÇÃO, CALIBRAÇÃO e CENTRALIZAÇÃO.

Quando o sistema é alimentado e o Arduino inicia o processamento o estado é INICIALIZAÇÃO. Neste ponto o *loop* do *software* embarcado verifica se o carro já se encontra na extrema esquerda do sistema físico. Esta verificação é feita verificando o estado do sensor de fim de curso esquerdo. Se o carro estiver na extrema esquerda então este já se encontra na posição inicial ideal e passa ao estado CENTRALIZAÇÃO, caso contrário muda para o estado CALIBRAÇÃO. No estado CALIBRAÇÃO o carro é comandado a se deslocar para a esquerda; ainda na mesma rotina, é verificado quando este chega ao fim de curso esquerdo. Quando isto ocorre o estado é alterado novamente, desta vez para CENTRALIZAÇÃO, que comanda o carro para a direita. O carro para de se movimentar quando o centro do sistema é alcançado, concluindo a inicialização e então passando para o estado ESPERA, no qual aguarda por comandos do controlador cliente.

5.4. Requisição de Dados por Demanda

Para que seja possível controlar o carro de forma flexível ao sistema cliente foi implementado um protocolo de requisição de dados por demanda. Diferente da implementação proposta por Andrade (2012), que transmitia os dados continuamente, esta implementação só envia as informações necessárias para o controle do Kit Pêndulo Invertido quando o cliente as requisita. Esta requisição é feita através de um comando enviado ao sistema embarcado do kit.

O envio de dados sob demanda permite ao sistema cliente definir o intervalo de obtenção das informações, uma vez que implementações diferentes para o controle podem necessitar de dados em diferentes intervalos de tempo. Utilizando esta abordagem é possível deixar o canal de comunicação livre para que novos comandos possam ser enviados, sem deixá-lo congestionado com possíveis redundâncias.

Quando o sistema se encontra no estado ESPERA é possível enviar uma série de códigos de comando, sendo um deles a requisição dos dados. Estes comandos serão abordados da seção seguinte.

5.5. Definição de Códigos de Comandos e Eventos

Para flexibilizar este controle do Kit Pêndulo Invertido foi criada uma série de códigos que possibilitam controlar e configurar o sistema através da comunicação serial (RS-232 ou USB). Os códigos podem ser vistos no Manual do Kit Pêndulo Invertido (SILVA, 2013), que contém diversas tabelas onde são apresentados a descrição dos

códigos, o valor que é recebido pelo sistema embarcado e o valor enviado pelo sistema embarcado como resposta ou quando algum evento ocorre.

Pelo Manual do Kit Pêndulo Invertido podemos observar que o código 300 deve ser recebido pelo sistema para que este possa enviar de volta os dados que o cliente poderá utilizar para efetuar o controle. Existem dois modelos para os dados que podem ser configurados: o novo padrão de dados, com o envio do comando 302, e o padrão original definido por Andrade (2012), com o envio do comando 303. Para obter os valores de configuração o código 305 deve ser enviado ao controlador (SILVA, 2013).

Quando o sistema finaliza a inicialização e fica no estado ESPERA, é enviado para o controlador cliente o comando 400, informando que o evento da chegada ao estado ESPERA ocorreu e que é possível receber os códigos de comandos citados anteriormente. Além deste evento também é informado ao controlador cliente, através do código 401, da parada do carro por fim de curso, que ocorre quando o carro chega a uma das laterais. Por fim, quando um código inválido é enviado o controle embarcado responde esta exceção com o código 402 (SILVA, 2013).

5.6. Testes com Controlador Externo via Porta serial RS-232

Para validar as melhorias alguns testes foram feitos utilizando o monitor serial da IDE do Arduino onde é possível enviar os comandos e observar o resultado.

Um *software* foi desenvolvido com o objetivo de validar a comunicação serial através da interface RS-232 implementada bem como para executar testes dos diversos comandos em outra plataforma que não a do Arduino. Na Figura 5 podemos observar que a janela do aplicativo mostra o relatório dos comandos enviados ao *kit* e recebidos dele. Nesta figura verificamos que o código 301 foi enviado ao clicar no botão “Reiniciar” e em seguida vemos que o pêndulo chegou em seu estado de Espera através do código 400. Na Figura 6 vemos que ao clicar no botão “Obter Dados” o comando 300 é enviado do kit e em seguida observamos o retorno dos dados no padrão descrito no Manual do Kit Pêndulo Invertido (SILVA, 2013).

O teste completo pode ser visto no vídeo “Análise do Kit Pêndulo Invertido - Códigos de Comando via RS-232”, disponibilizado por Silva (2012).

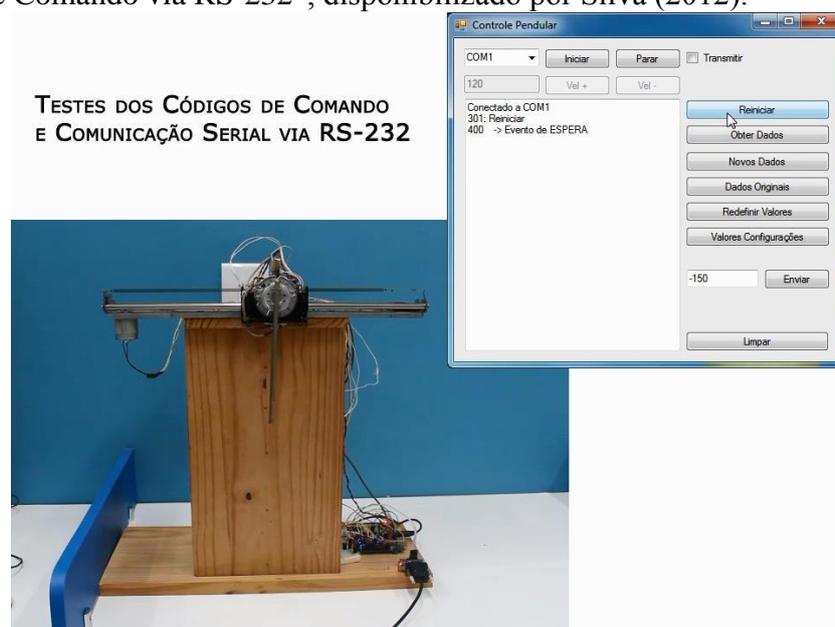


Figura 5 – Códigos de Comando e Comunicação Serial. Reiniciar e evento de Espera.

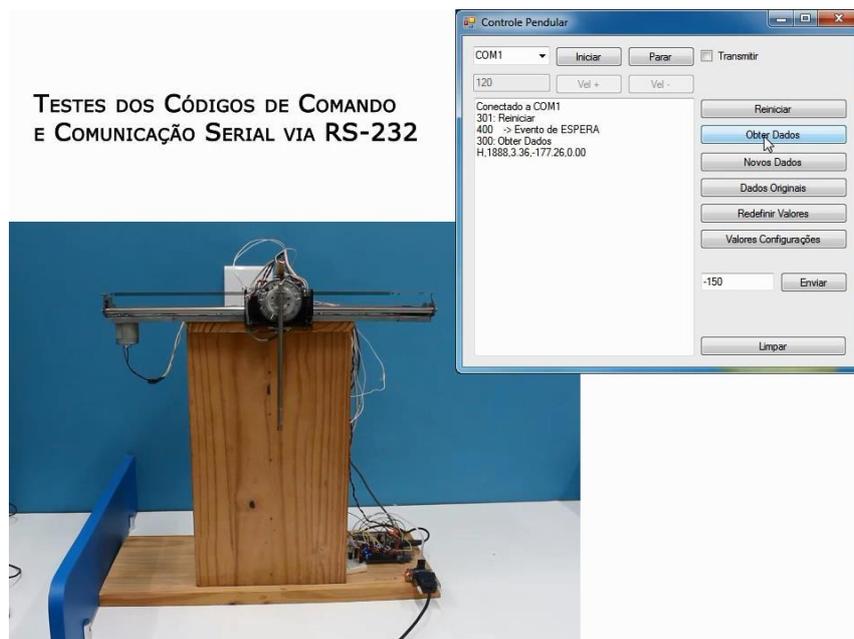


Figura 6 – Códigos de Comando e Comunicação Serial. Dados dos sensores.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a implementação das melhorias propostas neste trabalho, pôde-se observar que o Kit Pêndulo Invertido tornou-se um recurso didático mais robusto. A adição de novos sensores e a modificação do código embarcado para melhorar o controle, além da criação de códigos de comando permitiram que o kit se comunicasse com o controlador cliente de forma mais clara, enviado códigos que informam a ocorrência de erros ou eventos. Ainda, a criação da rotina de inicialização do sistema proporcionou a determinação do ponto de partida do sistema no limite esquerdo do sistema físico, não sendo preciso fazer o posicionamento manual do carro a fim de encontrar uma posição ótima para iniciar o controle.

É observado com este trabalho que é possível viabilizar o uso de recursos de REE, nas universidades de engenharia, para equipar laboratórios através da construção de kits, ampliando, desta forma, o contato dos alunos com ferramentas didáticas mais próximas do mercado, visto que o kit foi montado com recursos que já estão sendo utilizados por produtos comercializados.

O Kit Pêndulo Invertido está sendo utilizado como ferramenta didática na disciplina de Controle de Processos no curso de Engenharia de Computação da UPE e os resultados poderão ser observados em breve.

7. TRABALHOS FUTUROS

No decorrer das análises e implementações feitas neste trabalho, foi observado um forte atrito do carro com o eixo pelo qual este desliza, necessitando de uma análise neste ponto a fim de tornar o controle possível com valores de atuação menores no carro.

Há também a necessidade da fixação do conjunto completo do Kit Pêndulo Invertido em uma estrutura mais pesada, pois devido à inércia o conjunto tende a se deslocar quando o carro inverte o sentido do movimento com valores muito altos.



8. REFERÊNCIAS / CITAÇÕES

AHN, J.; JUNG, S. **Swing-up Fuzzy Control of an Inverted Pendulum System for Control Education with an Experimental Kit**, International Conference on Control, Automation and Systems, COEX, Seoul, Korea, 2008.

ANDRADE, M. A. O. **Mitigação Do Impacto Ambiental Causado Pelo REEE : Confecção De Kits De Treinamento a Partir De Equipamentos Descartados Como Estratégia Para Tratamento Do Lixo Digital**, XL Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, COBENGE, Belém, 2012.

BRUNAUER, L.; KREIL, W. **Inverted Pendulum**, Scientific Literature Digital Library and Search, 2007.

BUTIKOV, E. I. **An Improved Criterion for Kapitza's Pendulum Stability**, Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical, 44, 2011.

FELDER, R. M., SILVERMAN, L. K. **Learning and Teaching Styles**, Journal of Engineering Education, 1988. v. 78, pp. 674–681.

FTDI™ Chip, **FT232R USB UART I.C.** Disponível em: < <http://www.ftdichip.com> >. Acesso em: 15 nov. 2012.

JUNG, S.; AHN, J. **Remote Control of an Inverted Pendulum System for Intelligent Control Education**, International Institute of Informatics and Cybernetics, 2011, 9, pp. 49–54.

LEE, G. H.; JUNG, S. **Control of Inverted Pendulum System Using a Neuro-fuzzy Controller for Intelligent Control Education**, 2008 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, 2008.

LIMA, J. L., COSTA, P. G., MOREIRA, A. P. **Inverted Pendulum Virtual Control Laboratory**, 7th Portuguese Conference on Automatic Control, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2006.

MOXA , **NA-4020/4021, NA-4010 and NA-4020/4021 Series**. Disponível em: <<http://www.moxa.com>>. Acesso em: 14 nov. 2012.

POORHOSSEIN, A., VAHIDIAN-KAMYAD, A., **Design and Implementation of Sugeno Controller for Inverted Pendulum on a Cart System**, IEEE 8th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics, 2010, 641–646.

SILVA, L.F.; LEITE, J.C.S.P.; BREITMAN, K.K.. **Ensino de Engenharia de Software: Relato de Experiências**, XII WEI - Workshop de Educação em Informática (XXIV SBC), Salvador-BA, 2004.



SILVA, R. T., **Análise do Kit Pêndulo Invertido - Colisões**. Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=OW7SZzdnhdg>>. Acesso em: 14 jun. 2013.

SILVA, R. T., **Análise do Kit Pêndulo Invertido - Comandos**. Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=BXTdcJjX6rQ>>. Acesso em: 14 jun. 2013.

SILVA, R. T., **Análise do Kit Pêndulo Invertido - Códigos de Comando via RS-232**. Disponível em: <http://www.youtube.com/watch?v=qHdgr_f1AEM>. Acesso em: 15 jun. 2013.

SILVA, R. T. **Manual do Kit Pêndulo Invertido**. Disponível em: <http://wikilixodigital.ecomp.poli.br/wiki/index.php/Manual_do_Kit_Pêndulo_Invertido> Acesso em: 14 jun. 2013.

STARTECH, **NETRS2321E 1 Port RS-232/422/485 Serial over IP Ethernet Device Server**. Disponível em: <<http://intrl.startech.com/>>. Acesso em: 14 nov. 2012.

VASILKOV, V. ; CHUBINSKY, A.; YAKIMOVA, K., **The Stephenson - Kapitza Pendulum: Area of the Attraction of the Upper Positions of the Balance**, 2007, 61–66.

IMPLEMENTATION OF IMPROVEMENTS IN INVERTED PENDULUM KIT ASSEMBLED WITH WEEE

***Abstract:** The use of educational artifacts created from waste of electrical and electronic equipment (WEEE) was considered practicable and effective by a research conducted by Andrade (2012), in which he created and used training kits using WEEE including Inverted pendulum Kit. Through an analysis of this artifact, this work proposes the implementation of improvements in the Inverted Pendulum Kit to provide a didactic device for training of Computer Engineering students. This work presents the analysis of the Inverted Pendulum Kit and performed the implementation of the proposed improvements in hardware and software. Tests are presented with the original kit, and then the impacts that the proposed improvements accounted for using the kit definitive are shown.*

***Key-words:** Inverted Pendulum, WEEE, Teaching Resources, Control Systems, Waste Electrical and Electronic Equipment.*