

Laboratórios Remotos com Sistemas Hápticos para Educação à Distância

Thais Pereira¹, Bruno Sales¹, Daniel Souza¹, Liliane Machado¹, Joaquim Gabriel²,
Maria Teresa Restivo², Antonio Lopes², Ronei Moraes¹

¹ LabTEVE – Universidade Federal da Paraíba (Brasil)

tata_burity@gmail.com, brunorasales@gmail.com, liliane@di.ufpb.br, ronei@de.ufpb.br

² Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (Portugal)
{ jgabriel, trestivo, aml}@fe.up.pt

Resumo

Laboratórios são um importante recurso educacional cujo objetivo é oferecer experimentação e auxiliar na construção e fixação de conhecimentos. Os laboratórios remotos permitem experimentação a distância e oferecem acesso à recursos educacionais. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma aplicação que integra sistemas hápticos a laboratórios remotos para enriquecer a realização de experimentos cuja compreensão envolve a caracterização de materiais mecânicos.

Abstract

Laboratories are an important educational resource to provide experimentation and help in the knowledge construction. Remote laboratories allow experimentation at distance and offer access to education. This work presents the development of an application that integrates haptics to remote laboratories to improve experiments whose comprehension involves mechanical material characterization.

1. Introdução

Um dispositivo háptico é uma interface homem-máquina, capaz de estimular o sentido do tato do operador. Tal dispositivo pode ser utilizado para interagir com ambientes reais ou virtuais. Em geral, no primeiro caso, o ser humano utiliza o dispositivo háptico como *master*, numa aplicação do tipo *master/slave* com *feedback* de força (ex. telemanipulação ou teleoperação). No segundo caso, a

interação ocorre com uma aplicação computacional (ex. jogos, simuladores) [1]. O uso de tais dispositivos permite aumentar o grau de imersão e envolvimento dos usuários na execução de diferentes tarefas.

Laboratórios remotos são laboratórios reais cujos experimentos podem ser realizados à distância através da *web*, permitindo a alunos interagir com equipamentos e objetos reais. Em geral, laboratórios remotos não oferecem meios para os alunos sentirem o resultado de suas ações e apenas imagens permitem perceber tais resultados [2].

Apesar da existência de diversos cursos na *web* com experimentos em laboratório, várias são as discussões a respeito do uso da tecnologia neste contexto. Atualmente, muitos trabalhos discutem esta questão e defendem mesmo um grau idêntico de efetividade no uso dos três tipos de laboratório (real, remoto e virtual) [2,3]. No entanto é muito escassa a literatura que aborda o uso de sistemas hápticos em laboratórios remotos para fins educacionais. Entretanto, sabe-se que na telemedicina, por exemplo, o uso de sistemas hápticos pode melhorar a segurança e efetividade da prática médica [4].

Este trabalho apresenta o uso de sistemas hápticos em laboratórios remotos como recurso para enriquecer experimentos cuja compreensão é facilitada pela percepção de propriedades táteis.

2. Laboratórios Remotos

Os laboratórios remotos são espaços reais que podem ser utilizados remotamente pelos usuários. Neles os alunos podem ver o que ocorre no ambiente real, através de imagens fornecidas por câmeras, e modificá-lo utilizando dispositivos de interação. Em

um laboratório remoto a comunicação com os equipamentos reais é estabelecida por sistemas computacionais e componentes elétricos e eletrônicos [5]. As câmeras capturam o ambiente em tempo-real e permitem observar as modificações realizadas à distância. Neste caso, valores medidos pelos componentes eletrônicos também são transmitidos ao aluno.

A Figura 1 representa a interface de usuário de um experimento remoto em que o dispositivo está visível através das suas imagens real (vídeo) e virtual. No experimento, uma barra encastrada em um dos extremos, com sensores de deformação de resistência elétrica colados em uma zona da sua superfície, é atuada por um motor linear em um ponto bem definido do seu outro extremo livre. Esta experiência foi desenvolvida para possibilitar a alunos das engenharias, particularmente a mecânica, testar remotamente um sistema que permite verificar a Lei de Hooke, adquirir familiaridade com a metodologia usada em laboratório para medição do Módulo de Young de um material e, finalmente, adquirir algum treino de cálculo a partir dos resultados do experimento.

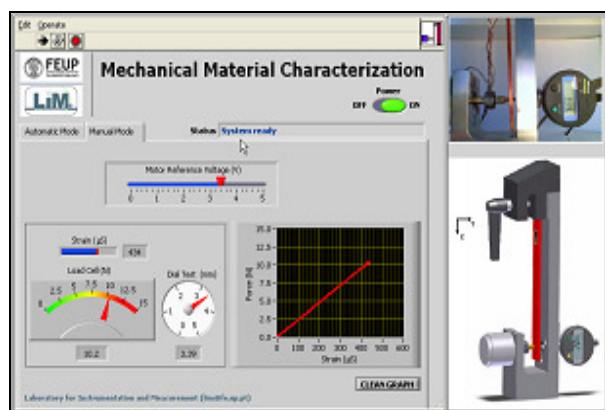


Figura 1 – Interface do usuário para atuação remota em um laboratório real.

3. Laboratórios Remotos com Sistemas Hápticos

A utilização de sistemas hápticos em laboratórios remotos visa melhorar a qualidade da interação, pois permitem ao usuário observar sensações relacionadas à força e às propriedades dos objetos manipulados. O usuário pode manipular remotamente um equipamento através do uso de um dispositivo háptico. Tal qual ocorre em um laboratório presencial, apenas um usuário por vez interage com o experimento. Todo

sistema de comunicação ocorre a partir de uma estrutura cliente-servidor na qual o servidor está conectado ao equipamento real e o cliente é executado no computador do usuário.

Com o objetivo de ampliar o realismo em experimentos conduzidos em laboratórios remotos, a aplicação apresentada na Figura 1 foi utilizada para testes iniciais com sistemas hápticos. Nesta aplicação é disponibilizada uma interface bidimensional para atuação de uma barra. A interface apresenta três áreas principais: de dados, de imagem real e de imagem virtual. A imagem virtual representa a imagem de um modelo do equipamento real que está sendo utilizado. A área com a imagem real apresenta a captura em tempo-real do equipamento e permite ao usuário observar os resultados das suas ações. A área de dados, entretanto, é a única região que permitirá a ação do usuário para a realização do experimento. Nesta região o usuário pode aplicar valores variáveis de força sobre a barra (cursor horizontal – entrada de dados) e verificar informações sobre o real valor de carga aplicada, sobre a deformação da barra na zona sensorizada bem como obter o valor da flecha no ponto de aplicação da carga (saídas de dados). Nesta mesma área da interface o usuário pode também observar gráficos com dados da deformação e flecha gerados com a força aplicada (saída gráfica de dados).

Pela natureza deste experimento, apenas um usuário de cada vez pode realizá-lo, tal qual ocorre no experimento real. Entretanto, os resultados podem ser observados e discutidos em grupo.

A nova concepção desta aplicação abordou a integração de modos de interação mais realistas, que permitissem ao usuário explorar mais detalhadamente e utilizar mais intuitivamente o experimento. Nesta nova abordagem, a interface foi concebida para abordar três aspectos:

- a) interação intuitiva;
- b) exploração detalhada;
- c) visualização.

4. Desenvolvimento

Para o desenvolvimento da aplicação utilizando sistemas hápticos, observou-se a necessidade de modificação na aplicação cliente, executada localmente na máquina do usuário. Esta aplicação precisou ser adicionada de rotinas próprias de comunicação com um sistema háptico, definição de pacotes de entrada e saída na comunicação cliente/servidor, modificações da interface e modelagem tridimensional do equipamento real (Figura 2).

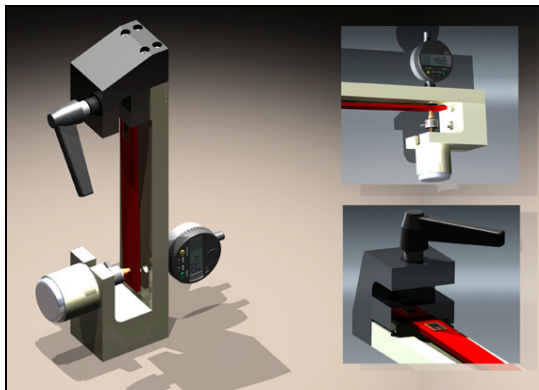


Figura 2 – Modelo virtual do equipamento real.

Dado que o dispositivo háptico utilizado (Figura 3) possui três graus de liberdade em força e o sistema remoto permite apenas atuação segundo uma direção, foi necessário mapear o espaço de trabalho do dispositivo háptico no espaço de trabalho do sistema remoto (Figura 4). O círculo da direita representa o ponto inicial de atuação da barra. No ambiente do dispositivo háptico, tal corresponde a ter o ponto assinalado à esquerda coincidente com qualquer ponto do plano xy. Se o dispositivo háptico for movimentado para a direita do plano xy, isso corresponderá a uma deflexão da barra.



Figura 3. Dispositivo háptico utilizado pelo usuário.

Para a aplicação servidora ocorreu modificação na forma e no conteúdo do pacote de comunicação. Os pacotes de comunicação foram transmitidos por *sockets* e precisaram ser adaptados para conter as informações de manipulação ocorridas através do dispositivo háptico. Neste ponto, o volume de informação de manipulação gerado pelo sistema háptico foi de 1000Hz, taxa comum de amostragem para este tipo de dispositivo. Tal fato ocasionou uma sobrecarga na comunicação realizada sob protocolo TCP (*transmission control protocol*), cujo envio e recebimento de pacotes está associado a uma

confirmação de transmissão. Por esta razão, optou-se por utilizar comunicação pelo protocolo UDP (*user datagram protocol*). Apesar deste protocolo não realizar confirmações de envio e recebimento, o volume de pacotes enviados pela rede poderia compensar quaisquer perdas. Entretanto, as solicitações ao servidor chegavam em quantidade maior que a capacidade de resposta deste, pois acompanhavam a taxa de amostragem do dispositivo háptico. Assim, o número de pacotes enviados por segundo passou a ser controlado pela aplicação cliente, eliminando o acúmulo de solicitações no servidor e garantido a continuidade das respostas de força enviadas ao cliente.

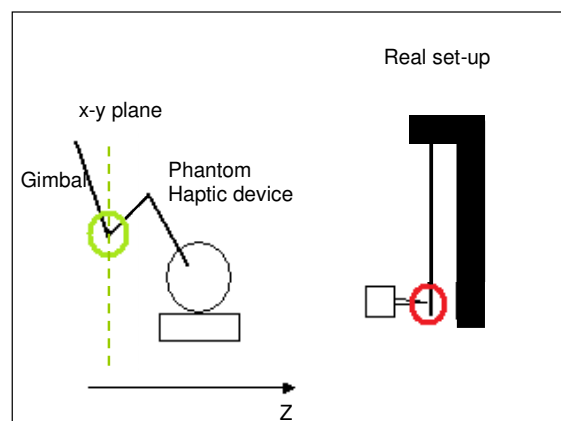


Figura 4 – Relação entre o mundo háptico e o sistema real.

As respostas do servidor ocorreram sempre que um pacote do cliente, contendo os deslocamentos do dispositivo, fosse recebido e corresponderam às forças reais medidas no equipamento remoto após a realização do deslocamento recebido. Essa força enviada ao cliente pode também ser visualizada no medidor do equipamento real, cuja imagem é transmitida através da câmera.

A interface da aplicação cliente também precisou ser modificada para conter novas informações e limitar algumas ações locais do usuário. Na nova interface as áreas anteriormente existentes foram mantidas, embora modificadas. A imagem da câmera permaneceu no topo direito da tela, mas a imagem virtual do equipamento é substituída pelo modelo tridimensional e interativo do mesmo (Figura 2). Por sua vez, a área de saída de dados apresenta os valores de flecha, de deformação e de força medidos remotamente no equipamento real.

Os testes da aplicação ocorreram entre uma universidade brasileira (cliente) e uma universidade portuguesa (servidor) utilizando a Internet. Durante os testes, a velocidade média da rede foi de

aproximadamente 60Kbps. A taxa média de perda de pacotes foi menor que 1% e o atraso médio entre envio e resposta foi de aproximadamente 0,014 segundos. A resposta visual apresentou atrasos, comuns na aplicação anterior que não utilizava sistemas hápticos. Estes atrasos de vídeo se mantiveram e não dependem do canal de comunicação UDP utilizado para o envio de informações de/para o dispositivo háptico. Apesar disso, o modelo virtual da barra permite que o usuário observe imediatamente a modificação ocorrida, diminuindo o inconveniente de eventuais atrasos na chegada da imagem da barra real.

A Figura 5 apresenta informações da comunicação oferecidas pelo servidor, fornecidas pelo pacote proprietário LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench*). Este pacote permite conectar um sistema computacional a equipamentos reais e está sendo utilizado no experimento apresentado para conectar o servidor ao experimento.

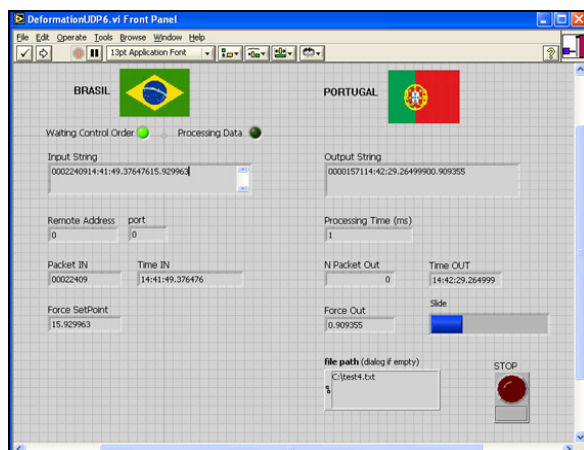


Figura 5 – Janela gráfica com informações sobre a comunicação entre a aplicação cliente (Brasil) e a aplicação servidora (Portugal).

A nova interface do cliente foi construída, seguindo a concepção estabelecida, com o auxílio de três bibliotecas gráficas: a API SDL (*Simple DirectMedia Layer*), responsável pelo gerenciamento do ambiente, eventos de mouse, teclado e o painel principal onde são mostradas as informações, imagens e objetos gráficos; a API OpenGL (*Open Graphics Library*), responsável pelo processamento gráfico da representação virtual do equipamento; e a biblioteca OpenCV (*Open Source Computer Vision Library*), utilizada para a captura das imagens de uma câmera IP (Axis 210) usando o protocolo http, e a exibição destas na interface. A

integração desta interface à aplicação de comunicação foi feita em C++ e utilizou a biblioteca OpenHaptics (www.sensable.com) para integração do sistema háptico. O dispositivo háptico utilizado pelo cliente foi um Phantom Omni.

9. Conclusões

Neste artigo foram apresentados os resultados da concepção e desenvolvimento de uma aplicação de sistemas hápticos para auxiliar o aprendizado através de laboratórios remotos. Os resultados obtidos permitiram verificar a viabilidade de utilização de ferramentas desta natureza no ensino à distância. Atualmente está sendo realizada a validação deste experimento provido de sensação tátil por alunos de engenharia. Tal validação visa também comparar os benefícios advindos da inclusão do retorno de força no experimento anterior.

Para os experimentos foi utilizado um dispositivo háptico 3DOF para retorno de força. Entretanto, para o experimento apresentado, é possível utilizar um dispositivo com apenas 1DOF de retorno de força.

Desenvolvimentos futuros incluem o uso de duas câmeras para captura das imagens para visualização estereoscópica do equipamento real, além da colaboração de vários usuários na realização do experimento.

10. Referências

- [1] Netto, A.V.; Machado, L.S.; Oliveira, M.C.F. *Realidade Virtual – Fundamentos e Aplicações*. Visual Books, 2003.
- [2] Ma, J. e Nickerson, J. V. “Hands-On, Simulated, and Remote Laboratories: A Comparative Literature Review”. *ACM Computing Surveys*, v. 38, n. 3, 2006.
- [3] Corter, J. E. et al. “Remote versus hands-on labs: A comparative study”. *Proc. 34th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*. Savannah, GA., 2004.
- [4] Dargahi, J. e Najarian, S.; “Advances in tactile sensors design/manufacturing and its impact on robotics applications – a review”. *Industrial Robot: An International Journal*, v.32, n.3, pp. 268 – 281, 2005.
- [5] Restivo, M. T.; Mendes, J.; Lopes, A.M.; Silva, C.M.; Magalhães, R. and Chouzal, M.F. “E-Teaching Mechanical Material Characteristics”. *Proceedings M2D’2006, 5th International Conference on Mechanics and Materials in Design*, INEGI, 2006.