

Um Estudo de Caso sobre a Construção e a Integração de Dispositivos Hápticos com Aplicações Interativas

Thiago Farias Daliton Silva Guilherme Moura João Marcelo Teixeira

Luiz Henrique Costa* Guilherme Dias Veronica Teichrieb Judith Kelner

Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Informática, Brasil



Figura 1: O dispositivo háptico HapticCycle: a) alguns componentes eletrônicos usados na construção do controle háptico; b) versão final do dispositivo; c) aplicação desenvolvida para validação do dispositivo.

Resumo

Este artigo apresenta o HapticCycle, um dispositivo de interação háptico construído e integrado com um jogo 3D que fornece retorno de força para o usuário. O HapticCycle é uma bicicleta adaptada que funciona como um *joystick* USB com vibração. O retorno háptico fornecido pela aplicação ocorre pela simulação de resistência de acordo com o relevo de um terreno, percebida no ato de pedalar a bicicleta. A integração do dispositivo com a aplicação foi implementada usando a plataforma de abstração CIDA, que permite a comunicação em tempo real entre dispositivo de controle e jogo. Comprovou-se através de uma avaliação que a interação com dispositivos hápticos aumenta o nível de imersão do usuário na aplicação. O HapticCycle, o jogo e sua integração, bem como a avaliação, são detalhadamente descritos.

Palavras-chave: interação, dispositivos hápticos, jogos, CIDA, HapticCycle.

Contato dos autores:

{tsmcf, ds2, gsm, jmxnt, gds, vt, jk}@cin.ufpe.br

*lhcostap@gprt.ufpe.br

1. Introdução

Cada vez mais, aplicações de Realidade Virtual (RV) utilizam dispositivos de interação com o intuito de melhorar a imersão nos ambientes criados. Merecem destaque exemplos em diferentes áreas, como na medicina, manutenção preventiva, educação, entretenimento, entre outras [Rizzo et al. 2005; Borro et al. 2004; Richard et al. 1997; Kühnapfel et al. 2004].

Os dispositivos hápticos, detalhados na Seção 4, surgem como uma alternativa para simplificar a interação do usuário com as aplicações e aumentar a sensação de realismo através do seu uso, fornecendo resposta tátil, restrição de movimentos ou aplicação de forças em vários graus de liberdade [Burdea 2000; Burdea e Coiffet 2003].

Artefatos como o DreamEye (Figura 2a) [EyeToy 2006] e o controle do Nintendo Wii (Figura 2b) [Nintendo Wii 2006], capazes de capturar gestos do usuário e simular objetos virtuais, respectivamente, estão sendo inseridos de forma gradual no contexto dos jogos. Dessa maneira, equipamentos capazes de aprimorar a interação com o ambiente entram pela primeira vez no cotidiano das pessoas.



Figura 2: Dispositivos de interação para consoles: a) DreamEye; b) Wii control.

Todavia, dois principais fatores ainda inibem o uso de dispositivos hápticos nessa área. O primeiro é a falta de popularidade, consequência direta do seu alto custo. O segundo é a falta de padronização de acesso aos mesmos, que nem sempre funcionam como *joysticks* comuns. Geralmente o acesso a esses dispositivos não-convencionais é realizado através de uma interface de comunicação com o DirectInput (a plataforma padrão

para aquisição de entradas em jogos), implementada pelos seus respectivos *drivers*.

Este artigo tem como objetivo demonstrar o processo de construção de um dispositivo háptico, denominado HapticCycle, e sua integração com uma aplicação interativa. A aplicação escolhida representa um jogo de corrida de triciclos e o controle é realizado através de uma bicicleta adaptada, que fornece informações de velocidade e controle para o jogo, além de retornar para o usuário a sensação de resistência, de acordo com o relevo de um terreno.

Uma das vantagens do novo controle desenvolvido é seu baixo valor agregado, uma vez que utiliza apenas materiais de baixo custo. Por exemplo, um *joypad* com vibração foi usado como base do controle. Dessa forma, obteve-se como resultado final um dispositivo USB que é reconhecido automaticamente pelo sistema operacional como um controlador de jogo.

Na Seção 2 são apresentados alguns pontos acerca da forma como as pessoas vivenciam experiências físicas e algumas teorias sobre como amplificar estas experiências, de forma a potencializar a realização de tarefas em ambientes virtuais. Na Seção 3 são apresentados alguns trabalhos relacionados ao proposto neste artigo. Na Seção 4, os conceitos relacionados com dispositivos hápticos são abordados mais profundamente. A integração entre dispositivos hápticos e aplicações é explicada na Seção 5, enfatizando a comunicação entre *hardware* e *software*. A Seção 6 fornece um detalhamento acerca do dispositivo de interação construído, o HapticCycle. Na Seção 7, todo o processo de construção, adaptação e testes do estudo de caso escolhido é detalhado. Por fim, na Seção 8, têm-se a conclusão do trabalho desenvolvido e alguns trabalhos futuros são propostos.

2. Experiências Amplificadas

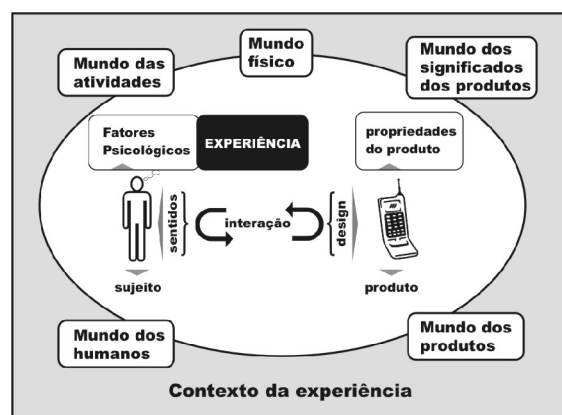


Figura 3: Contexto de interação com um dispositivo.

Nos últimos anos, o estudo da relação Homem-máquina tem lançado novas luzes sobre a forma como diferentes usuários compreendem e vivenciam de forma distinta as mesmas situações. Estudos recentes

indicam quais são os fatores que definem os níveis de imersão e aceitação por parte dos usuários na realização de tarefas em seus cotidianos. Na Figura 3 é mostrado um quadro de organização do contexto de interação com um dispositivo. O esquema apresentado foi adaptado de Jääskö [2003] por Buccini e Padovani [2006].

O conceito de experiência do usuário ainda está sendo moldado por vários pesquisadores em diversas áreas do conhecimento. O termo experiência é utilizado como sinônimo de prazer ou de emoção. Ou, ainda, pode ser utilizado para descrever o resultado da usabilidade de um produto, sem considerar fatores emocionais.

Schmitt [2000] define experiência como sendo “acontecimentos individuais que ocorrem como resposta a algum estímulo”. Estes acontecimentos ocorrem, em geral, como consequência da observação ou participação em acontecimentos reais, imaginários ou virtuais. As experiências não são fenômenos espontâneos, mas induzidos. Possuem referencial (partem de algum lugar) e intencionalidade (objetivam algo). São basicamente todos os aspectos encontrados na interação do sujeito com o objeto.

Estas definições são ideais para nortear o estudo de caso realizado neste trabalho (ver Seção 7), uma vez que a utilização de dispositivos hápticos amplia o número de estímulos aos quais o usuário estará sujeito, aproximando a experiência em um ambiente virtual a sua equivalente real. Este fato amplia o nível de imersão do indivíduo na realização da tarefa e/ou utilização do dispositivo [Lécuyer et al. 2004].

Jordan [2002] propõe a existência de uma relação entre funcionalidade, usabilidade e prazer na hierarquia da necessidade dos consumidores, como pode ser visto na Figura 4, abaixo.

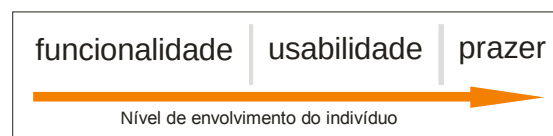


Figura 4: Níveis de hierarquia da necessidade do usuário.

Sem o primeiro nível, a funcionalidade, o produto não terá utilidade, pois não realizará as atividades necessárias para desempenhar sua função, perdendo assim, o seu motivo projetual. O segundo nível, a usabilidade, trata da facilidade com que um produto consegue ser utilizado de maneira satisfatória. No terceiro nível, de posse de um equipamento que funcione e seja fácil de usar, os usuários procuram atributos de diferenciação nos produtos. Produtos que se diferenciem por trazer boas lembranças, satisfação física ou mental ou que representem *status* social ou econômico. A customização passa a fazer parte vital na escolha de um produto. Desta forma, os produtos “não podem ser meras ferramentas, mas ‘objetos com vida’

com os quais as pessoas podem se relacionar” [Jordan 2002].

Os dispositivos hápticos ampliam o nível de usabilidade de determinada ferramenta, oferecem uma forma mais eficiente de controle e trazem melhores resultados na realização da atividade, forçando ao usuário uma imersão mais profunda [Lécuyer et al. 2004]. Através do fornecimento de respostas próximas às reais, permitem uma maior precisão e controle das ferramentas, o que traz indicações diretas de uso como em controles a distância ou para testes e simulações nos campos médico, automotivo ou de estudos em ambientes hostis.

3. Trabalhos Relacionados

Os dispositivos hápticos têm sido objeto de diversos trabalhos. Burdea [2000] realizou um estudo sobre o uso de dispositivos hápticos aplicados em RV. A complexidade e os benefícios que esse tipo de interface traz são ressaltadas, além da necessidade de dispositivos não obstrutivos (que não interfiram nas ações do cotidiano do usuário).

O processo de construção de dispositivos é abordado em [Regenbrecht et al. 2005; Choi et al. 2004]. No primeiro trabalho, um dispositivo genérico com características vibratórias é criado baseado em motores de vibração de celulares. No segundo, um dispositivo é construído com o objetivo de ser utilizado em jogos com retorno também vibratório.

A plataforma VisHap [Ye 2003] busca resolver a necessidade constante do usuário de estar em contato com o dispositivo que adquire a entrada háptica para a aplicação. Através do uso de visão computacional, utilizando técnicas de rastreamento de dedo, o usuário apenas recebe o retorno háptico quando este é necessário, o que gera uma experiência háptica “por completo”.

Bloomfield e Badler [2003] apresentaram um exemplo de uso de *arrays* táteis, de forma a conseguir um retorno mais fiel para colisões que ocorrem no mundo virtual. Kim et al. [2004] listam uma série de fatores que dificultam o desenvolvimento de retorno háptico colaborativo, para usuários presentes no mesmo mundo virtual e fisicamente distantes.

A aplicação de dispositivos hápticos não se limita aos exemplos citados anteriormente. O uso conjunto desses dispositivos com aplicações de RV permite que se utilize sensores, atuadores e interfaces em um ambiente simulado para manipular nanoelementos, como usado em [Sharma et al. 2005].

4. Dispositivos Hápticos e seu Uso em Jogos

O termo *haptic* é utilizado para nomear dispositivos que oferecem algum tipo de resposta capaz de

sensibilizar o sentido tátil do usuário [Burdea e Coiffet 2003]. Podem ser citados diferentes tipos de retorno encontrados nesses dispositivos, como por exemplo: retorno de apertar (*grip feedback*), retorno de segurar (*grasp feedback*), retorno de força (*force feedback*) e retorno tátil (*tactile feedback*). A Figura 5 ilustra exemplos de dispositivos para cada tipo de retorno citado.

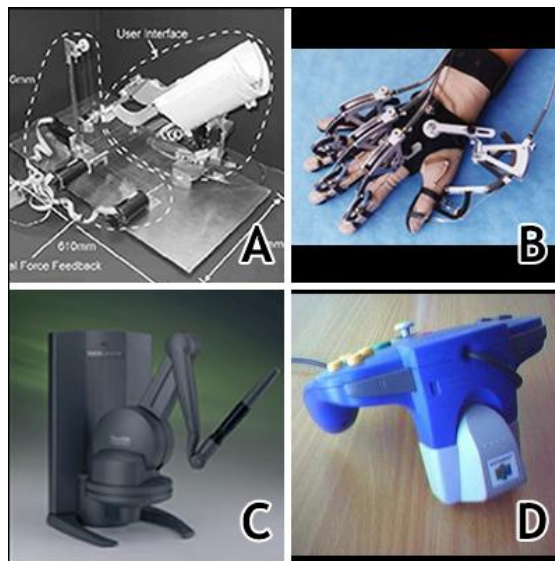


Figura 5: Exemplos de dispositivos hápticos de acordo com o retorno fornecido: a) retorno de apertar; b) retorno de segurar; c) retorno de força; d) retorno tátil.

Os dispositivos que apresentam retorno de apertar fornecem ao usuário sensação de pressão ou aperto. Como exemplo, pode ser citado um dispositivo que simula a crescente pressão causada em uma roupa de mergulho, à medida que a profundidade do mergulho aumenta.

A característica principal dos dispositivos que fornecem retorno de segurar é a limitação dos movimentos do usuário em algum grau de liberdade. Um exemplo bastante conhecido é o exoesqueleto existente em luvas de dados específicas, nas quais há simulação da sensação do agarrar e pensar de objetos.

O retorno de força, conforme indicado pelo próprio nome, engloba dispositivos capazes de criar forças direcionais de acordo com as características da aplicação na qual é utilizado. Como exemplo, podem ser citados os volantes hápticos, que funcionam como os de automóveis reais, adicionando resistência ao movimento de rotação.

Entre os dispositivos com a característica de retorno tátil, encontram-se aqueles capazes de produzir estímulos em forma de sensação de calor ou contato (toque e vibração). Como exemplo bastante comum, podem ser citados os *joypads* de baixo custo com motores de vibração. Esse tipo de resposta (vibração) geralmente é usado em jogos como um alerta cada vez

que o usuário usa uma de suas armas, quando atingido por um de seus inimigos ou quando o jogo requer sua atenção.

O retorno produzido por *joysticks* convencionais com retorno de força é muito genérico, e conseqüentemente não consegue caracterizar ações específicas do jogo, nem funcionar como metáfora a algum evento virtual. Além desse tipo de retorno faz-se necessário aplicar determinadas forças, com o objetivo de aumentar a imersão do jogador no cenário virtual. Movimentos próximos aos correspondentes no mundo real são de extrema importância, de forma a tornar a interação similar à realidade.

Um dos primeiros jogos de *arcade* a utilizar dispositivos com propriedades de retorno de força foi o “Hang-on” (mostrado na Figura 6), desenvolvido pela Sega, em 1985. Tratava-se de um jogo de corrida de motocicletas em que o *joystick* foi construído de forma similar a uma motocicleta, forçando o usuário a inclinar-se de acordo com o movimento pretendido ao seu avatar, e também vibrando todas as vezes que o veículo saía da pista.

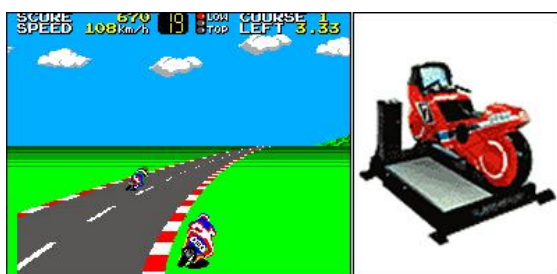


Figura 6: “Hang-on”: a) *screenshot* do jogo; b) dispositivo haptico utilizado.

Com o passar do tempo, estas idéias e tecnologias foram introduzidas de uma forma mais portátil em sistemas de entretenimento domésticos, como os *joysticks* de PC e os controles de consoles de jogos. Atualmente, existe um apelo dos usuários pelo uso de dispositivos com características de retorno de força, principalmente em jogos de corrida e simulação de voo. Neste contexto, pode-se citar os volantes portáteis para PC (Microsoft SideWinder Force Feedback Wheel) e os *joysticks* (Microsoft SideWinder Force Feedback 2). Alguns jogos recentes oferecem suporte para o uso destes periféricos (Microsoft Flight Simulator e Need for Speed, por exemplo), aproveitando-se das vantagens desse tipo de interação.

5. Integração de Dispositivos Hápticos com Jogos

A produtividade é uma das principais preocupações de toda empresa, inclusive as de jogos: como maximizar o número de jogos produzidos em um determinado intervalo de tempo sem perder qualidade nas aplicações criadas? Devido à crescente rapidez com a qual novos jogos e tecnologias chegam no mercado,

deve-se adotar um modelo de desenvolvimento rápido e eficiente.

Para ajudar a atingir esse objetivo, os motores de jogos (*game engines*) foram criados. Eles são responsáveis por realizar a maior parte do trabalho repetitivo e de mais baixo nível na programação de jogos: composição de cenário, animação de personagens (usando técnicas de inteligência artificial), iluminação e outros detalhes.

Um problema existente na utilização destes *engines* é que o desenvolvedor limita-se às mesmas formas de interação convencionais, não havendo a possibilidade de criar novas, uma vez que não existe um suporte genérico para integração da aplicação com dispositivos com características diferentes, como, por exemplo, os hápticos.

Tradicionalmente, o acesso a dispositivos de interação é realizado através de *drivers*, que funcionam como um nível de abstração entre a aplicação e o *hardware*. A implementação do *driver* pode ser realizada de diversas maneiras, mas sua principal tarefa é checar o estado do dispositivo correspondente e prover ao sistema operacional uma interface de acesso às funcionalidades do mesmo.

O DirectInput pode ser considerado uma plataforma de abstração que oferece acesso a dispositivos com um número reduzido de funcionalidades. Ele provê alguns recursos muito limitados para o manuseio de dispositivos hápticos, uma vez que a interface de acesso se restringe a funções de retorno de força, e apenas suporta alguns tipos de *joystick*. Conseqüentemente, diferentes alternativas para unificar a interface de acesso dos dispositivos hápticos vêm sendo estudadas e implementadas, à medida que o seu uso aumenta.

O processo de integração desses dispositivos com aplicações de RV e jogos é realizado usando APIs específicas (*Application Programming Interfaces*) fornecidas pelos fabricantes dos dispositivos, ou através de um método de acesso direto aos dados de entrada [Zadeh e Khorasani 2004]. Uma grande desvantagem do uso dessas APIs é a restrição imposta à aplicação sobre a utilização de diferentes dispositivos, que deve ser submetida a um processo de refatoração do código sempre que se desejar dar suporte a um novo dispositivo.

Nesse cenário, o uso de plataformas de abstração de dispositivos de interação minimizaria a quantidade de código reescrito, além de trazer algumas outras vantagens inerentes aos conceitos de abstração de dispositivos. Essas plataformas são capazes de trabalhar com muitos dispositivos simultaneamente, uma vez que conseguem adquirir os dados de entrada de forma assíncrona.

Comumente, cada dispositivo controlado pela plataforma é gerenciado e acessado por *plugins*

específicos, os quais são carregados dinamicamente e podem ser adicionados em tempo de execução. Também pode ser encontrada nessas plataformas uma abstração de conectividade, permitindo o uso de dispositivos localizados remotamente, distribuindo seu acesso pela rede. As plataformas de abstração de dispositivos podem prover acesso aos dispositivos de entrada através de *polling* ou *callback*.

Dentre as plataformas de abstração estudadas, a biblioteca Haptik [Pascale e Prattichizzo 2005], além das características de abstração previamente mencionadas, é portátil e funciona nos sistemas operacionais Windows e Linux. É implementada completamente em C++, mas também provê extensões para outras linguagens, dando suporte para Java, MatLab e Simulink. Um diferencial desta plataforma é o fato dela poder gravar as entradas e reações dos dispositivos em arquivos de texto para análise posterior, através do uso de um *plugin* chamado “Betamax”. Como desvantagem, Haptik fornece uma lista bastante limitada de funcionalidades suportadas, relacionada às características de alguns poucos dispositivos hápticos comerciais, como o PHANToM [PHANToM 2006], o Delta [Delta 2006], o Freedom [Freedom 2006] e o Spectre. A plataforma possui *plugins* implementados para essas quatro famílias de dispositivos suportados.

Com base nessa limitação, foi desenvolvida pelos autores uma plataforma de abstração denominada CIDA [Farias et al. 2006]. CIDA, assim como Haptik, implementa as principais funcionalidades descritas anteriormente e categoriza os dispositivos através do uso de famílias. Essas famílias agregam funcionalidades que tornam possível a execução de uma busca genérica por um dispositivo (usando sua família como parâmetro) ou buscas específicas (através das funcionalidades, como, por exemplo, número de botões, graus de liberdade, características de rastreamento, etc.). CIDA também implementa a característica de *Plug & Play* (PnP) através do uso do *plugin* DeviceIOMonitor. Esse componente notifica a plataforma quando um novo dispositivo é conectado ao sistema. CIDA fornece uma interface de programação em C++ e pode reinterpretar funcionalidades através de *plugins* utilizados para mapear dispositivos de uma família em outra (por exemplo, um teclado pode funcionar como dois *joysticks* distintos). Essa funcionalidade é útil quando se deseja transportar aplicações que fazem uso de dispositivos de interação sofisticados para ambientes menos equipados, como por exemplo, o uso de um computador doméstico apenas com *mouse* e teclado, ao invés de dispositivos como luvas e *trackers*.

Por se adequar melhor à aplicação escolhida como estudo de caso neste trabalho (apresentada na Seção 7), foi escolhida a plataforma CIDA. Na implementação do módulo de interação da aplicação as características de transportabilidade e reinterpretação de funcionalidades são aproveitadas, de forma que se

pode realizar a análise experiencial com o HapticCycle e um dispositivo de interação convencional. CIDA encapsula alguns conceitos que tornam o módulo genérico o suficiente para aceitar um dispositivo construído de forma diferente mas que forneça o mesmo tipo de retorno háptico ao usuário. Além disso, a plataforma torna transparente a aquisição dos sinais de entrada, funcionando como entradas de um *joypad* comum.

6. O Dispositivo HapticCycle

HapticCycle é um dispositivo de interação háptico, construído a partir de uma bicicleta comum adaptada. O dispositivo funciona como um *joystick*, permitindo ao usuário controlar uma aplicação, e fornece retorno háptico de força. Essa aplicação deve exigir entradas do tipo de um eixo (indica a rotação do guidão da bicicleta) e de um botão (indica a velocidade do movimento pela pedalada do usuário). A Figura 1b ilustra o HapticCycle.

6.1 Construção do Dispositivo Háptico

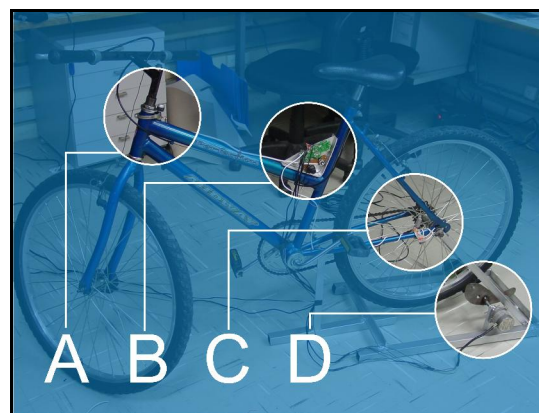


Figura 7: O dispositivo háptico HapticCycle: a) potenciômetro; b) componentes do *joypad*; c) sensores magnéticos; d) esquema de frenagem.

O dispositivo é composto por uma bicicleta, apoiada por um suporte construído sobre medida, permitindo que a roda traseira gire livremente ao comando do pedal. Os elementos de *hardware* necessários para a interação bicicleta-computador encontram-se afixados à estrutura de suporte, conforme ilustrado na Figura 7: uma placa de controle de um *joypad* USB com vibração (Figura 7b), adaptada para receber as entradas da bicicleta, assim como um motor de passo (Figura 7d), usado para frear a roda em situações específicas. Um potenciômetro (Figura 7a), usado para capturar a rotação do guidão, assim como um sensor magnético (Figura 7c), responsável por capturar as voltas dadas pela roda traseira, encontram-se afixados ao quadro da bicicleta. A junção de todos esses componentes dá origem a um controle interativo capaz de enviar entradas ao computador e fornecer retorno háptico para o usuário.

A integração eletrônica do dispositivo com o PC baseou-se na adaptação de um *joypad* com capacidade de vibração (ver Figura 1a). Ele foi desmontado, a fim de aproveitar as conexões de seus botões, as entradas analógicas e as interface de comunicação com os motores de atuação vibratória. Um dos circuitos responsáveis pela captura analógica de um dos *sticks* direcionais foi substituído por um potenciômetro. Essa modificação aproveita o conversor analógico-digital presente no *joypad*.

O sensor magnético é composto por duas peças imantadas que, ao se aproximarem, geram como saída um pulso responsável por ligar o circuito, tal qual um botão ao ser apertado. Uma das duas peças foi afixada na porção inferior traseira do quadro da bicicleta (Figura 8a), e a outra nos raios, na região mais próxima do eixo (Figura 8b), conforme ilustrado na Figura 8. Dessa forma, a cada giro da roda traseira, as peças encontram-se uma vez na posição de geração de pulso. Este sensor foi adaptado para assumir o papel de um dos botões do *joypad*, podendo assim ser acessado pela aplicação e utilizado no cálculo da velocidade linear do objeto virtual controlado na aplicação (por exemplo, o triciclo do jogo descrito na Seção 7). É válido ressaltar que o controle da velocidade é originado do mapeamento do comportamento da bicicleta, sendo suas estruturas de pedais e freios as responsáveis pelo aumento e redução desta velocidade, respectivamente.



Figura 8: Esquema magnético para captura da velocidade: a) ímã fixo; b) ímã de rotação.

O potenciômetro foi afixado na parte dianteira do quadro, próximo ao eixo frontal. A fixação foi possível através de uma braçadeira de metal. Utilizou-se uma cobertura de borracha para manter o atrito entre o potenciômetro e a parte da estrutura da bicicleta que proporciona o giro, conforme mostrado na Figura 9. Para a aplicação, o potenciômetro será visto como um eixo analógico (com valores reais entre -1 e 1), que pode ser acessado diretamente a partir do *joypad*.



Figura 9: Esquema do potenciômetro para aquisição da rotação do guidão.

Para proporcionar o retorno háptico ao usuário, foi anexado à estrutura um motor de passo, responsável pela frenagem passiva da bicicleta. No estudo de caso realizado neste trabalho, ela é causada pela inclinação do terreno virtual (ver Seção 7). O motor é ligado diretamente a um eixo rosqueado, que funciona como um parafuso. Presas a este eixo estão duas peças paralelas, ligadas a duas sapatas de freio, que se aproximam à medida que o motor gira o eixo em um dos sentidos. Este comportamento dá-se através do sistema de roscas inversas, localizadas na junção destas placas paralelas com o eixo rosqueado, como pode ser visto na Figura 10. Desta forma, com algumas rotações do motor, é possível posicionar as sapatas de freio para que se possa dar um efeito de resistência ao movimento da roda, através do atrito com as sapatas.

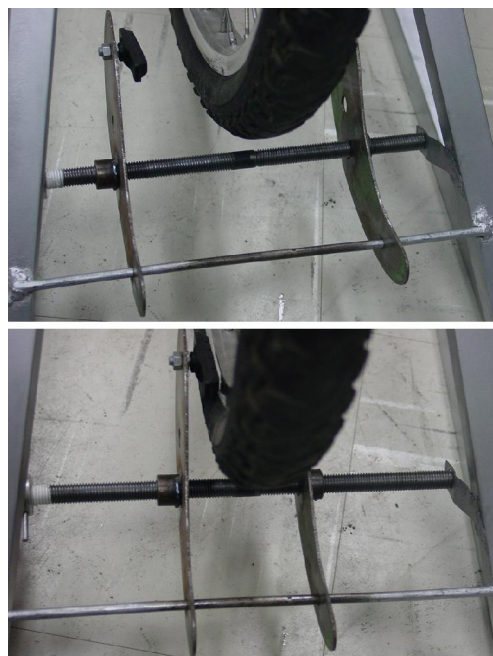


Figura 10: Esquema de frenagem.

O motor é controlado por um circuito que gerencia os passos enviados. As entradas deste circuito foram ligadas diretamente aos contatos de alimentação dos motores de vibração do *joypad*, que passam a enviar comandos para o motor de passo. Para controlar a resistência aplicada à roda, faz-se necessário apenas conhecer o protocolo de comunicação do circuito de controle do motor, mostrado na Figura 11.

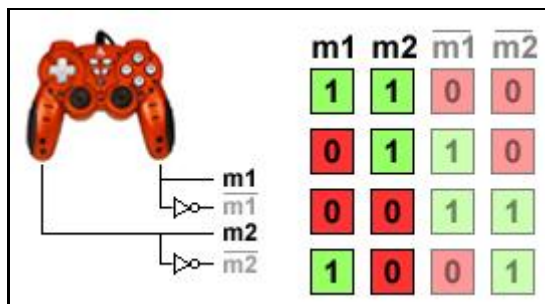


Figura 11: Protocolo de controle do motor de passo (rotacionando o motor no sentido horário).

Como consequência do aproveitamento total dos circuitos de comunicação do *joypad* com a porta USB, não é preciso criar um *driver* específico, tampouco um acesso direto à porta USB, já que o *driver* do dispositivo utilizado como base é PnP, e reconhecido pelo sistema operacional.

Um ponto importante para a utilização da parte háptica do dispositivo é a calibração. Devem-se deixar as sapatas de freio separadas o mínimo suficiente para não terem contato com a jante da bicicleta. Antes de usar o dispositivo deve ser realizada uma calibração para que a aplicação funcione corretamente, já que o *hardware* não guarda o estado de proximidade das placas paralelas.

7. Estudo de Caso: Jogo do Triciclo e sua Integração com o HapticCycle

Este estudo de caso foi realizado com o objetivo de demonstrar o processo de adaptação de uma aplicação para oferecer suporte a dispositivos de interação hápticos, incluindo resposta háptica na mesma. Além disso, com o estudo de caso foi possível avaliar o HapticCycle, a fim de confirmar o aumento da imersão do usuário quando usando dispositivos hápticos.

Inicialmente, foi desenvolvido um jogo de corrida 3D, onde os competidores são representados por triciclos infantis e os jogadores devem realizar o maior número de voltas em uma pista de corrida no menor intervalo de tempo possível (ver Figura 1c e Figura 12). O estudo de caso foi realizado baseado neste jogo e no HapticCycle, descrito anteriormente.

O jogo foi implementado utilizando o *engine* gráfico 3D OGRE (*Object-Oriented Graphics Rendering Engine*) [OGRE 2006] e o *engine* de simulação física PhysX [PhysX 2006]. O OGRE é um

engine orientado a objetos de código aberto, e o PhysX é um *engine* proprietário da empresa Ageia, porém livre para uso não comercial. Ambos foram desenvolvidos em C++.



Figura 12: O jogo do triciclo.

Originalmente, os comandos do jogo eram fornecidos a partir do teclado, e nenhuma resposta háptica estava prevista. A fim de realizar a interação com o jogo através de um dispositivo háptico, como o HapticCycle, fez-se necessário modificar o código fonte do jogo para dar suporte ao retorno háptico desejado, assim como ao dispositivo háptico em substituição ao teclado.

7.1 Procedimento

O estudo de caso foi composto por duas tarefas, sendo estas a adaptação da aplicação para fornecer suporte a dispositivos hápticos, e a integração do jogo com o dispositivo de interação háptico HapticCycle. Ao longo desta subseção estas tarefas são detalhadas.

7.1.1 Adaptação da Aplicação

Com o objetivo de evitar a necessidade de futuras modificações na aplicação, caso se desejasse oferecer suporte para diferentes tipos de controle, estabeleceu-se uma interface de acesso ao dispositivo háptico. Para isto, foi utilizada a plataforma de gerenciamento de dispositivos CIDA, introduzida na Seção 5. Além de facilitar o acesso ao dispositivo que controlará a aplicação, esta plataforma ainda torna a aplicação independente do tipo de dispositivo que será utilizado, podendo se alternar entre um *joystick* comum ou a bicicleta háptica construída. O uso da plataforma CIDA justifica-se por ela possuir características que simplificam a construção do módulo de interação da aplicação, e também por já disponibilizar *plugins* para acesso a *joysticks*, que serão utilizados como base para a construção do *plugin* para acesso ao dispositivo da bicicleta. Esse procedimento será descrito na Subseção 7.1.2.

Antes da adaptação, o usuário costumava interagir com a aplicação através do teclado, com o qual era

possível regular a velocidade do triciclo e girar o guidão a partir de teclas diferentes. A versão original da aplicação não apresentava nenhuma característica de retorno háptico.

Dentre as modificações que foram realizadas na aplicação, podem ser listadas: a troca do módulo de interação, para que a nova versão pudesse trabalhar com a plataforma CIDA, instruções para habilitar ou desabilitar a resposta háptica e o módulo de controle da resposta háptica, construído a partir dos dados fornecidos pelo *engine* físico utilizado e pela interface de comunicação com o dispositivo e disponibilizado pela plataforma de interação.

O módulo de controle de resposta háptica é responsável por mapear a informação de relevo do terreno em resistência de frenagem para a bicicleta, fornecendo uma saída que controle adequadamente a posição das placas de freio. Estes dados relativos ao posicionamento serão tratados pelo *plugin* construído (ver próxima subseção) como um retorno de força de 1 DOF (*Degree Of Freedom*). A partir do acionamento desta força, o trabalho é feito pelo *plugin*, enviando passos ao circuito de controle do motor, que realizará o trabalho necessário para posicionar as sapatas de freio, dando ao usuário uma sensação de peso nos pedais equivalente ao peso induzido pela inclinação de um terreno real.

7.1.2 Desenvolvimento do *Plugin* de Acesso ao HapticCycle

O processo de integração do HapticCycle com a aplicação é possível através da construção de um módulo responsável pelo gerenciamento das entradas provenientes da bicicleta e do retorno háptico. Este gerenciamento é todo encapsulado dentro de um *plugin* para a plataforma CIDA, que internamente utiliza o DirectInput.

O *joypad* original possuía 2 motores de vibração que podem ser ativados separadamente. Esta característica foi aproveitada para controlar o motor de passo, que precisa de 2 bits (4 estados) como entradas, as quais indicarão o próximo passo. Sendo assim, para enviar comandos ao motor, o *plugin* deve simular vibrações em uma determinada sequência, que indicará os passos a serem dados e sua direção.

O *plugin* deve obedecer às interfaces Joystick e Haptic, disponibilizadas por CIDA. Dessa forma, o dispositivo construído pode ser utilizado pela aplicação como um *joystick* com características hápticas, eliminando qualquer restrição específica de acesso, assim como a necessidade de conhecimento do protocolo de comunicação existente.

7.2 Método de Avaliação

Uma vez que tanto o dispositivo quanto a aplicação foram concluídos, teve início o processo de avaliação e validação das considerações propostas. Para isso,

optou-se por uma avaliação de ordem qualitativa com pequenos grupos, comparando o uso de um dispositivo de controle convencional (teclado) com o uso do dispositivo háptico desenvolvido.

Esta avaliação foi dividida em dois momentos. O primeiro, uma observação de uso realizada pelo grupo de desenvolvimento com usuários não familiarizados com a aplicação. Foram estabelecidos dois grupos, sendo cada composto por 3 participantes, com idades entre 20 e 35 anos, com experiência no uso de computadores e familiarizados com a atividade de andar de bicicleta.

O primeiro grupo foi definido como grupo de controle e submetido à utilização de um dispositivo de controle convencional para a aplicação (PPTI *keyboard* modelo KB 2001). O segundo grupo, ou grupo relativo, foi submetido ao uso do dispositivo háptico de controle.

Nesta etapa foram estabelecidos parâmetros de avaliação para checagem de nível de controle. Foram definidas tarefas a serem cumpridas pelo usuário e observadas características de controle, número de erros, tempo da volta, número de voltas e número de pausas, além de observações livres sobre o desempenho de cada grupo.

No segundo momento foi requisitado que os usuários expressassem suas opiniões a respeito de seu desempenho e avaliassem a aplicação utilizada com o dispositivo de controle háptico ou convencional. Além disso, eles indicaram possíveis melhorias, dificuldades encontradas, pontos fortes e fracos.

Após a realização dos testes e organização dos dados coletados, cada etapa foi avaliada isoladamente para cruzamento dos dados referentes a cada dispositivo, e em seguida os resultados foram comparados entre os dois momentos para validação das observações.

7.3 Resultados da Avaliação

Com os resultados da primeira etapa das avaliações (Tabela 1), foi possível estabelecer um desvio no desempenho do dispositivo háptico, comparado com o uso do dispositivo convencional.

Tabela 1: Resultados da primeira etapa da avaliação.

Nº total de voltas	 6 5
Nº total de erros	 7 1
Nº total de pausas	 1 1
tempo médio para 1ª volta	 3,7 3,5

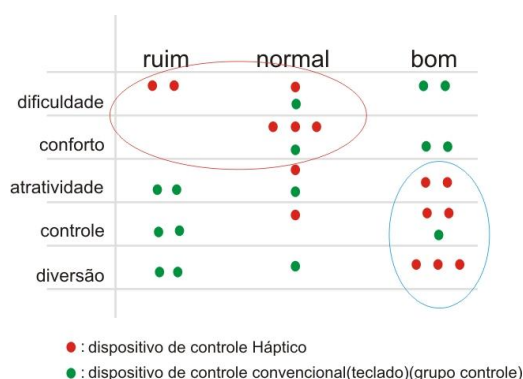
 : dispositivo de controle Háptico
 : dispositivo de controle convencional(teclado)(grupo controle)

Em ambos os dispositivos o número de erros e de pausas foi igual, o que indica uma proximidade no grau de controle da aplicação. O dispositivo convencional obteve um melhor resultado no número de voltas completas, revelando um melhor desempenho geral. Todavia, o dispositivo háptico obteve melhores resultados no tempo da primeira volta, o que revela que a adaptação ao dispositivo ocorre mais rapidamente em seu caso.

Foi observado ainda que o aspecto inovador do dispositivo afetava diretamente o interesse dos usuários, que tendiam a explorar mais o ambiente da aplicação a fim de testar melhor o dispositivo.

A segunda etapa da avaliação apresentou os resultados mostrados na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados da segunda etapa da avaliação (avaliação dos usuários).



O dispositivo HapticCycle apresentou, se comparado com o dispositivo convencional, melhores índices nos fatores atratividade, controle e diversão, o que confirma as afirmações a respeito do maior interesse em equipamentos mais interativos e maior nível de imersão.

Os níveis de dificuldade e controle apresentaram menor desempenho, entretanto estes resultados eram esperados, uma vez que os usuários deveriam se adaptar a uma nova forma de se relacionar com a aplicação e o assento da bicicleta não apresenta o mesmo conforto de uma *stationwork chair*.

8. Conclusões e Trabalhos Futuros

Este artigo apresentou um estudo sobre dispositivos hápticos, mostrando o ganho de interatividade quando estes são utilizados em conjunto com aplicações de RV. Adicionalmente, foram apresentados conceitos e exemplos de aplicação de dispositivos hápticos em jogos, e como pode ser feita a comunicação entre programa e dispositivo de controle.

Um estudo de caso foi apresentado para avaliar o trabalho realizado. O estudo consistiu na construção de uma bicicleta háptica, chamada HapticCycle, que foi inserida no contexto de um jogo de triciclos. A

bicicleta serviu como controlador do aplicativo e fornece uma resposta háptica para o usuário no formato de resistência ao ato de pedalar. Cabe ressaltar que o HapticCycle é um dispositivo de baixo custo, tendo sido gastos aproximadamente R\$ 250,00 para sua construção; dispositivos comerciais, como volantes com retorno de força, chegam a custar aproximadamente R\$ 700,00. O desenvolvimento de um *plugin*, necessário para a comunicação entre a aplicação e o dispositivo, usando a plataforma de abstração CIDA, foi também mencionado, concluindo o processo de integração.

Através dos resultados da avaliação, pode-se concluir que a inclusão de uma resposta háptica na aplicação 3D de corrida de triciclos contribuiu de forma significativa para um aumento no nível de atratividade e diversão do jogador, ampliando sua imersão na aplicação.

Adicionalmente, foi observado que ferramentas de abstração aceleram o desenvolvimento e provém flexibilidade às aplicações. Além de fornecer ao desenvolvedor a possibilidade de uso de interfaces de programação de alto nível, possibilitam ao usuário uma interação final aprimorada.

Como trabalhos futuros, formas diferentes de retorno háptico poderiam ser implementadas e integradas ao projeto. Por exemplo, a simulação de inclinação lateral e irregularidades no terreno, vibração. A aplicação poderia ser distribuída em rede, para permitir que mais de um usuário se conecte ao servidor do jogo e interaja no mesmo ambiente virtual. Para melhorar a qualidade da imersão do jogador no ambiente, também poderia ser incluído suporte à movimentação da câmera através de um *tracker* de cabeça.

Baseado nos resultados das avaliações, percebeu-se que se faz necessário ainda realizar aprimoramentos no dispositivo háptico criado, a fim de melhorar seu desempenho com relação às características de conforto e dificuldade de uso.

Os resultados obtidos foram satisfatórios e comprovaram o aumento da imersão e conseqüente aumento do estímulo experiencial ao usuário. Apesar disso, pretende-se validar o HapticCycle de maneira quantitativa, através de uma maior amostragem de usuários de teste, uma vez que a avaliação realizada foi de caráter qualitativo.

Referências

- BLOOMFIELD, A. E BADLER, N.I., 2003. Enhanced collision perception using tactile feedback.
- BORRO, D., SAVALL, J., AMUNDARAIN, A., GIL, J.J., GARCIA-ALONSO, A. E MATEY, L., 2004. A large haptic device for aircraft engine maintainability. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 24(6), 70-74.

- BUCCINI, M. E PADOVANI, S., 2005. Uma introdução ao design experiencial. *Revista Estudos em Design*, 13(2), 9-29.
- BURDEA, G.C., 2000. Haptic feedback for virtual reality. *International Journal of Design and Innovation Research*, 2(1), 17-29.
- BURDEA, G.C. E COIFFET, P., 2003. Virtual reality technology. Second Edition. New Jersey: Wiley-Interscience.
- CARNEIRO, M.M., 2003. *Interfaces assistidas para deficientes visuais utilizando dispositivos reativos e transformadas de distância*. Tese de Doutorado, PUC-Rio.
- CHOI, S., CHANG, H. E KIM, K., 2004. Development of force-feedback device for PC-game using vibration. *Em: Proceedings of the ACE 3-5 Junho 2004 Singapore*.
- DELTA, 2006. *Citado em: Force Dimension* [online]. Disponível em: www.forcedimension.com/fd/avs/home/ [Acessado em 15 Maio 2006].
- EYETOY USB CAMERA, 2006. *Citado em: Sony Playstation* [online]. Disponível em: www.us.playstation.com [Acessado em 18 Maio 2006].
- FARIAS, T., TEIXEIRA, J.M., RODRIGUES, C.E., PESSOA, S., COSTA, N., TEICHRIEB, V. E KELNER, J., 2006. CIDA: an interaction devices management platform. *Em: Proceedings of the Symposium on Virtual Reality*, 2-6 Maio 2006 Belém. Porto Alegre: SBC, 271-284.
- FREEDOM, 2006. *Citado em: MPB Technologies Inc.* [online]. Disponível em: www.mpb-technologies.ca/ [Acessado em 15 Maio 2006].
- JÄÄSKÖ, V., MATTELMÄKI, T. E YLIRISKU, S., 2003. The scene of experiences. *Em: Proceedings of The Good, The Bad and The Irrelevant Conference*, 3-5 Setembro 2003 Helsinki.
- JORDAN, P.W., 2002. Designing Pleasurable Products: An Introduction to the New Human Factors. London: Taylor & Francis.
- KIM, J., KIM, H., TAY, B.K., MUNIYANDI, M., SRINIVASAN, M.A., JORDAN, J., MORTENSEN, J., OLIVEIRA, M. E SLATER, M., 2004. Transatlantic touch: a study of haptic collaboration over long distance. *Presence*, 13(3), 328-337.
- KÜHNAPFEL, U., ÇAKMAK, H., CHANRIER, B., MAASS, H., STRAUSS, G., TRANTAKIS, C., NOVATIUS, E., MEIXENSBERGER, J., LEHMANN, K., BUHR, H.J., LAWOW, M. E BRETTAUER, G., 2004. HapticIO: haptic interface-systems for virtual-reality training in minimally-invasive surgery. *Em: Proceedings of the Internationale Statustagung Virtuelle und Erweiterte Realität*, 19-20 Fevereiro 2004 Leipzig.
- LÉCUYER, A., VIDA, M., JOLY, O., MÉGARD, C. E BERTHOZ, A., 2004. Can haptic feedback improve the perception of self-motion in virtual reality? *Em: Proceedings of the International Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*. IEEE Computer Society, 208-215.
- NINTENDO WII, 2006. *Citado em: Nintendo* [online]. Disponível em: www.nintendo.com/home [Acessado 18 Maio 2006].
- OGRE 3D: OPEN SOURCE GRAPHICS ENGINE, 2006. *Citado em: The OGRE Team* [online]. Disponível em: www.ogre3d.org [Acessado 28 Janeiro 2006].
- PASCALE, M. E PRATTICIZZO, D., 2005. The haptik library: a component based architecture for uniform access to haptic devices. *IEEE Robotics and Automation Magazine*.
- PHANTOM, 2006. *Citado em: SensAble Technologies* [online]. Disponível em: www.sensable.com/ [Acessado 7 Maio 2006].
- PHYSX, 2006. *Citado em: PhysX* [online]. Disponível em: www.ageia.com/physx/ [Acessado 27 Julho 2006].
- REGENBRECHT, H., HAUBER, J., SCHOENFELDER, R. E MAEGERLEIN, A., 2005. Virtual reality aided assembly with directional vibro-tactile feedback. *Em: Proceedings of the GRAPHITE Conference*, Dunedin.
- RICHARD, C., OKAMURA, A.M. E CUTKOSKY, M.R., 1997. Getting a feel for dynamics: using haptic interface kits for teaching dynamics and controls. *Em: Proceedings of the ASME IMECE Annual Symposium on Haptic Interfaces*, 15-21 Novembro 1997 Dallas.
- RIZZO, A., MCLAUGHLIN, M., JUNG, Y., PENG, W., YEH, S., ZHU, W. E USC/UT CONSORTIUM FOR INTERDISCIPLINARY RESEARCH, 2005. Virtual therapeutic environments with haptics: an interdisciplinary approach for developing post-stroke rehabilitation systems. *CPSN*, 70-76.
- SCHMITT, B.H., 2000. Marketing experimental: sua empresa e suas marcas conquistando o sentir e o pensar, o agir e o identificar-se dos clientes. São Paulo: Nobel.
- SHARMA, G., MAVROIDIS, C. E FERREIRA, A., 2005. Virtual reality and haptics in nano- and bionanotechnology, Handbook of theoretical and computational nanotechnology. American Scientific Publishers.
- YE, G., CORSO, J.J., HAGER, G.D. E OKAMURA, A.M., 2003. VisHap: augmented reality combining haptics and vision. *Em: Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*. 3425-3431.
- ZADEH, M.H. E KHORASANI, K., 2004. Control strategies for a haptic device interfacing with virtual environment. *Em: Proceedings of the IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics*, 1-3 Dezembro 2004, Singapore. 181-185.