

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE INFORMÁTICA
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

THIAGO STEIN MOTTA

**uiGloves - Uma Ferramenta para Interação
Natural Através de Gestos**

Trabalho de Graduação.

Prof. Dra. Luciana Nedel
Orientadora

Porto Alegre, dezembro de 2010.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Prof. Rui Vicente Oppermann

Pró-Reitora de Graduação: Profa. Valquiria Link Bassani

Diretor do Instituto de Informática: Prof. Flávio Rech Wagner

Coordenador do CIC: Prof. João César Netto

Bibliotecária-Chefe do Instituto de Informática: Beatriz Regina Bastos Haro

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que direta ou indiretamente ajudaram no desenvolvimento dessa monografia: à professora Luciana Nedel, orientadora desse trabalho, por ceder seu tempo e boa vontade para as reuniões e sempre colaborar com ideias e sugestões pertinentes; aos meus familiares e amigos e, especialmente, à minha namorada, que não puderam usufruir da minha agradável companhia por muito tempo ou – pior ainda – tiveram que aguentar reclamações sobre tudo o que não dava certo nos programas, sem ao menos entender o que estava sendo falado; e aos professores Carla Freitas e Marcelo Pimenta, que aceitaram compor a banca para a defesa desse trabalho mesmo com um convite confuso e feito às pressas.

Um agradecimento especial a todas as pessoas que se arriscaram a vestir um par de luvas cheias de fios e passaram uns quantos minutos de suas vidas carregando cubos coloridos de um lado para o outro, em uma tarefa aparentemente sem objetivo nenhum, e ainda gastarem mais algum tempinho no preenchimento de um questionário chato, cheio perguntas confusas, tendo que ouvir que tudo isso era em prol da Ciência. Pela sua incomparável gentileza – mesmo que se saiba que alguns só queriam o bombom da recompensa – todos merecem ter seus nomes citados aqui: Alexandre, Alice, Aline, André, Andreia, Augusto, Bárbara, Beth, Chara, Daniel, Devanir, Filipe, Gabriel, Gabriella, Helier, Ivana, Juliana, Manuela, Marcio, Nanashara, Nara, Rafael, Rogério, Sandra, Tales, Théo e Vera.

Também acho conveniente agradecer ao guarda do aeroporto, que, na viagem do Rio de Janeiro a Porto Alegre – sim, as uiGloves já passearam por terras cariocas – permitiu que as luvas pudessem ser trazidas de volta, depois de ser assegurado veementemente que elas não serviriam para dar choque em nenhum passageiro e nem no piloto do avião e que eu não planejava nenhum atentado terrorista no momento.

Por último – e, sim, menos importante – agradeço a mim mesmo, por ter sido persistente e não ter desistido ante as dificuldades, tanto as que se relacionavam diretamente com esse trabalho quanto as que se originaram de outras fontes, mas acabaram por influenciá-lo também. Por conseguir desenvolver esse trabalho concomitantemente com os mais diversos tipos de outros compromissos, que incluíram até mesmo a demolição de uma casa.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	3
LISTA DE FIGURAS	5
RESUMO	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO	9
2 TRABALHOS RELACIONADOS	12
2.1 Interação Natural Por Gestos	12
2.2 Interação Em Grafos	13
3 AS UIGLOVES	15
3.1 A Estrutura Física.....	16
3.2 A Estrutura Lógica	19
3.2.1 Versão inicial	20
3.2.2 Versão final.....	25
4 AS APLICAÇÕES DE TESTE	28
4.1 A Primeira Aplicação de Teste	28
4.1.2 Uma versão para comparação	29
4.2 A Segunda Aplicação de Teste	29
4.2.1 Uma nova versão para comparação	30
5 INTEGRAÇÃO DAS UIGLOVES COM O MAGNETVIZ	31
6 TESTES COM USUÁRIOS	34
6.1 Primeira Fase de Testes.....	35
6.2 Segunda Fase de Testes	36
7 RESULTADOS	38
7.1 Primeiros Resultados.....	38
7.2 Resultados Finais	40
8 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	43
REFERÊNCIAS	45
APÊNDICE A: QUESTIONÁRIOS DE AVALIAÇÃO	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Cena do filme Minority Report mostrando um, ao menos por enquanto, surreal método de interação humano-computador (Folha.com).....	10
Figura 2.1: Os 25 gestos reconhecíveis ao utilizar o Wiimote e o Wii Motion Plus como ferramenta interativa (HOFFMAN, 2010).....	13
Figura 2.2: Gestos manuais para navegação em grafos, em técnica que utiliza sensores magnéticos para captar a posição da mão (OSAWA, 2000).	14
Figura 3.1: a uiGlove direita – palma da mão abriga os dois LEDs e as costas da mão carregam as pilhas em seu suporte e a ligação de fios.	16
Figura 3.2: Esquema de comunicação das uiGloves com o computador.	16
Figura 3.3: O desenho do projeto da luva.....	17
Figura 3.4: Processo de costura das luvas: moldes de pano costurados à máquina (esq.) e componentes eletrônicos costurados à mão (dir.).....	18
Figura 3.5: Esquema de ligação entre os componentes que formam as uiGloves.....	18
Figura 3.5: Pontos lidos pela câmera geram ponto de translação do objeto.....	21
Figura 3.6: Rotação calculada em função da posição inicial da mão, definida pelo tamanho médio do raio dos LEDs captados pela câmera.	22
Figura 3.8: A representação de cada uma das uiGloves e do objeto sendo manipulado através de segmentos de reta.	25
Figura 3.9: Determinação da rotação no eixo Y, com o uso simultâneo das duas uiGloves.....	27
Figura 4.5: A primeira aplicação de teste, na qual o usuário precisa levar os cubos até os seus respectivos quadros, mantendo a seta voltada para cima.	28
Figura 4.6: A tela inicial da segunda aplicação de teste, com o primeiro cubo a ser manipulado e o modelo no canto superior direito.	30
Figura 5.1: Um grafo no MagnetViz que foi manipulado com o auxílio das uiGloves.	33
Figura 6.1: O suporte construído para manter o Wiimote em uma posição fixa.....	34
Figura 6.2: Disposição dos usuários, computador e suporte do Wiimote na execução dos testes. À esquerda, usuário realizando testes na tela do computador e, à direita, usuário realizando testes sobre uma tela projetada através de um projetor fixo no teto da sala.	35
Figura 6.3: Execução da primeira fase de testes: um usuário utilizando as uiGloves, à esquerda, e outro o mouse, à direita.	36
Figura 6.4: Segunda fase de testes: usuário utilizando as uiGloves em uma tela projetada (topo à esquerda); usuário utilizando as uiGloves em um notebook (topo à direita); usuário utilizando o mouse em uma tela projetada; e usuário utilizando as uiGloves para navegar em um grafo no MagnetViz.	37
Figura 7.1: Curvas de tempo do posicionamento dos quatro cubos (numerados de 1 a 4) pelos testadores, na primeira fase de testes.	39
Figura 7.2: Grau de dificuldade da execução dos testes, de acordo com os testadores..	39

Figura 7.3: Gráfico dos tempos levados por cada usuário para alocar cada um dos cubos (numerados de 1 a 5) à posição desejada.....	41
Figura 7.4: Gráfico da evolução de tempos médios para a alocação de cada cubo (numerados de 1 a 5) na segunda aplicação de teste.	41
Figura 7.5: Cubo que devia ser rotacionado no eixo Y: em sua posição de origem (esq.) e na posição para a qual ele deveria ser movido.....	41
Figura 7.6: Grau de dificuldade de execução da aplicação com as duas ferramentas.	42
Figura 8.1: Criador e criatura – as uiGloves sendo utilizadas sobre uma projeção.....	43

RESUMO

Esse trabalho apresenta uma ferramenta interativa que foi construída visando obter um novo método de interação natural através de reconhecimento de gestos que pudesse ser utilizado para navegação em grafos. Trata-se de um par de luvas – chamadas uiGloves – que possuem, cada uma, dois LEDs infravermelhos na ponta dos dedos indicador e anelar, que se comunicam com um controle de Wii (Wiimote) afixado em um suporte, através de sua câmera. As luvas permitem que um usuário interaja livremente com um objeto virtual, podendo transladá-lo e girá-lo, em um total de cinco graus de liberdade.

É descrito em detalhes todo o processo de construção das luvas, passando por seu projeto e levando até seu desenvolvimento, tanto físico – descrevendo os materiais utilizados para sua construção e ferramentas auxiliares utilizadas – quanto lógico – apresentando detalhes de implementação das classes desenvolvidas para interpretar os dados fornecidos pelas luvas.

Afim de avaliar a eficiência e o potencial de uso das luvas, foram desenvolvidas duas aplicações de teste, que também são descritas nesse trabalho. Foram realizadas, então, duas fases de testes – primeiramente com doze e, após, com vinte usuários – e cada uma delas é explicada, bem como os resultados obtidos em cada fase e as conclusões que tais testes permitiram alcançar.

Também é descrito como as uiGloves podem ser facilmente acopladas a qualquer aplicação, usando como exemplo prático o aplicativo de visualização de grafos MagnetViz, o qual foi utilizado para confirmar a possibilidade e a conveniência de usar o mecanismo para a navegação em grafos de fato.

Por fim, o trabalho destaca os resultados alcançados pelas luvas e aponta que a ferramenta construída tem grande potencial de uso e traria uma boa forma de interação com grafos, especialmente sobre uma grande área de visualização.

Palavras-Chave: Interação Humano-Computador, técnicas de manipulação 3D, grafos.

uiGloves – A Natural Interaction Method for Graph Navigation

ABSTRACT

This work presents an interactive tool that was built aiming the obtention of a new natural interaction method based on gesture recognition that could be used for graph navigation. Basically, it is a pair of gloves – entitled uiGloves – that have, on each of them, two infrared LEDs attached to the points of the pointer and the ring fingers, that communicates with a Wii controller (Wiimote) fixed on a support through its camera. The gloves allow a user to interact freely with a virtual object, having the possibility of translate and rotate it in Five degrees of freedom.

It is described all the process of construction of the gloves, passing trough its project and its development, both physic – describing the components used for its construction and supportive tools used – and logic – presenting implementation details of the classes developed for the interpretation of the data provided by the gloves.

For the evaluation of the effectiveness and potential of the use of the gloves, two test applications were developed, that are also described in this work. Then, it was performed two test phases – firstly with twelve and then with twenty users – and each of them are presented here, with the obtained results and the conclusions that were possible to obtain with these tests.

It is also described how the uiGloves can be easily coupled to any application, using as an example the applicative for graph visualization MagnetViz, which were used to confirm the possibility and the convenience of finally using the mechanism for graph navigation.

Finally, the work presents the results obtained by the gloves and concludes that the built tool has a large applicability and could bring a good way of interacting with graphs, especially if in a large visualization area.

Keywords: Human-Computer Interaction, 3D manipulation techniques, graphs.

1 INTRODUÇÃO

Ao pensar sobre o processo de interação, é possível concluir facilmente que nada do que é conhecido existiria sem ele. Uma autoanálise leva um indivíduo a rapidamente concluir que ele é – assim como os demais seres vivos – uma pessoa que necessita de interação com o universo ao seu redor para sobreviver. Nesse exato momento, milhões de células do organismo de cada ser humano estão interagindo em um nível menor para que ele possa interagir com a atmosfera e retirar dela o oxigênio que necessita. Ao mesmo tempo, seu corpo está interagindo com a ação gravitacional terrestre para mantê-lo no chão e, ainda, seus olhos, nariz, ouvidos e todos os demais órgãos sensitivos estão interagindo com o ambiente para que ele tenha certeza de que está em um lugar conhecido e confortável. Esses são apenas alguns exemplos das incontáveis interações que são feitas diariamente durante toda a vida humana.

Falando especificamente sobre a área de pesquisa deste trabalho, é bastante fácil constatar que, como não há vida sem interação, não é possível haver computação sem interação humano-computador. Mesmo que seja construída uma máquina autônoma, capaz de criar e controlar outras máquinas, foi inicialmente um ser humano que projetou e construiu a primeira máquina e lhe concedeu sua primeira base de “inteligência”. Partindo desse pressuposto, percebe-se que é essencial um amplo estudo sobre os métodos e mecanismos com os quais o ser humano interage com o computador, buscando a realização das mais diversificadas tarefas, pois é providencial que se obtenham os meios mais adequados para realizá-las, seja acerca de caracteres ergonômicos ou de eficácia.

Retornando ao universo não computacional, o homem vive há milhões de anos na Terra, aprendendo as melhores formas de interagir com os demais seres ao seu redor, enquanto a computação apareceu cotidianamente há menos de um século. Se for feita a análise dos métodos com que os antigos entusiastas da computação interagiam com os computadores da época, é possível constatar que houve uma clara evolução nesse quesito em relação aos dias atuais. Afinal, é saber comum que é muito mais usável bater os dedos sobre alguns botões com letras e números do que conectar fios em determinados locais ou perfurar cartões de papel, seja em termos ergonômicos ou em termos de eficiência. Entretanto, no dia a dia, o ser humano não se utiliza de nenhum instrumento para conversar com o próximo nem para sentir o cheiro da comida pronta nos momentos de fome, mas, sim, de seus próprios sentidos básicos para realizar tais atividades.

Traçando um novo paralelo com a tecnologia de informação, percebe-se, especialmente ao observar o que tem sido feito nas últimas duas décadas, que o homem se encaminha para uma “naturalização” dos métodos de interação que utiliza para se comunicar com as máquinas em seu cotidiano. Basta, para isso, observar o grande

sucesso de centenas de aparelhos eletrônicos que utilizam tecnologia *touch-screen*, como celulares, computadores, reprodutores de áudio, etc. Isso se deve ao fato de ser muito mais natural ao ser humano encostar no ícone do aplicativo que quer utilizar ou realizar determinada função arrastando os dedos sobre uma tela (e.g. passar uma imagem de um local para outro) do que utilizar-se de botões e alavancas para realizar as mesmas tarefas. Até mesmo a forma de jogar videogame está se tornando mais natural, como é possível ver no surgimento do *Nintendo Wii* (<http://www.nintendo.com/wii/>) e o grande sucesso de vendas que ele obteve – o que acabou fazendo com que empresas concorrentes logo anunciassem projetos semelhantes, como o *PlayStation Move*, da Sony, (<http://us.playstation.com/ps3/playstation-move/>) e, mais recentemente, o Kinect, da Microsoft (<http://www.xbox.com/pt-br/kinect>).

Reconhecendo a imensa importância das áreas que envolvem a interação humano-computador e buscando contribuir cientificamente com a transição evolutiva dos métodos interativos digitais, aliado ao desejo de explorar novas técnicas de interação – especialmente aquelas baseadas em interação natural –, esse trabalho trata da construção de uma ferramenta interativa na forma de luvas, que permite a seu usuário manipular elementos digitais a partir de movimentos com as mãos.

As mãos foram escolhidas como instrumentos interativos virtuais tomando como base o simples fato de que são elas as principais ferramentas de interação diária do ser humano. Além disso, parece bastante claro que o futuro da interação humano-computador estará, de alguma forma, relacionado ao reconhecimento de gestos naturais com as mãos, a exemplo do que pode ser visto em filmes de ficção-científica consagrados, como *Matrix* e *Minority Report*.



Figura 1.1: Cena do filme *Minority Report* mostrando um, ao menos por enquanto, surreal método de interação humano-computador (Folha.com).

As luvas descritas nesse trabalho – denominadas *uiGloves* – se intercomunicam com o computador através do *Nintendo Wii Remote Controller* (doravante denominado apenas *Wiimote*), que é utilizado em uma plataforma fixa, com a câmera voltada para o usuário, que usa as mãos vestidas com as luvas em posição vertical, a exemplo da Figura 1.1. Nas pontas de dois dedos, existem LEDs infravermelhos, que são acesos a critério do usuário a partir de um botão de pressão.

O potencial interativo da ferramenta é bastante grande, mas deu-se ênfase ao processo de seleção e, mais especificamente, manipulação de objetos virtuais. Considerando que a atividade de manipulação é utilizada amplamente em uma série de áreas de aplicação, a ferramenta é bastante promissora, e a perspectiva de contar com um mecanismo de interação natural de baixo custo para tal atividade é bastante entusiasmante.

Dado o grande volume de estudos sendo realizados sobre grafos, especialmente aplicando-os na visualização de redes sociais, pensou-se na possibilidade de se utilizar as uiGloves como método de interação sobre eles, especialmente porque os estudos são muito mais direcionados para as técnicas de visualização dos grafos em si, deixando o processo interativo um pouco aquém do esperado. Afim de verificar a aplicabilidade e conveniência do uso das luvas nessa tarefa, elas foram utilizadas nesse trabalho sobre o *MagnetViz* (SPRITZER, 2009-a), ferramenta para visualização e manipulação de grafos desenvolvida a título de dissertação de mestrado por Andre Spritzer, atual doutorando do PPGC-UFRGS.

O restante do texto está organizado como segue: no capítulo 2 é apresentada uma visão do estado da arte da navegação em grafos, bem como uma análise superficial de alguns métodos de interação natural; no capítulo 3, as uiGloves são apresentadas, juntamente com seu processo de construção; o capítulo 4 discorre sobre as aplicações que foram construídas para testar a ferramenta com usuários; o quinto capítulo descreve como as uiGloves foram integradas ao MagnetViz; no capítulo 6 são apresentados os resultados dos testes e uma avaliação da ferramenta tendo estes como base; e, por fim, o trabalho é concluído no capítulo 8.

2 TRABALHOS RELACIONADOS

Apesar de grafos serem ferramentas matemáticas amplamente utilizadas em diversas áreas da Ciência da Computação, não há muito pesquisa sendo feita para se descobrir métodos interativos convenientes para manipulá-los. Talvez isso se deva ao fato de que as próprias técnicas de visualização de grafos não estão muito amadurecidas, sendo esta, por sua vez, uma área que atrai bastantes pesquisadores. Por outro lado, o estudo de interação por gestos naturais é bastante intenso, havendo um grande volume de pesquisas realizadas na área, muitas delas envolvendo o Wiimote.

2.1 Interação Natural Por Gestos

Conforme é possível perceber claramente, cada vez mais são lançados no mercado produtos que empregam mecanismos de interação natural, como o *iPhone*, que utiliza um ou dois dedos para selecionar objetos, abrir menus, fazer rotação, aplicar zoom em cenas etc. e o *Nintendo Wii*, que levou o universo dos videogames a um novo patamar, no qual o mecanismo de interação passa a ser de igual ou maior relevância que os sistema gráfico, que era o principal fator de competição anteriormente. No entanto, essas técnicas que estão sendo apresentadas hoje ao público em geral já há muito tempo vinham sendo pesquisadas e experimentadas no meio acadêmico (LAVIOLA, 2010).

Uma pesquisa aprofundada sobre o reconhecimento de gestos foi feita no início desse ano, na qual usuários foram convidados a utilizar o Wiimote acoplado ao *Nintendo Wii MotionPlus* e realizar uma série de gestos diferentes, que foram armazenados numa base de dados para serem verificados posteriormente (HOFFMAN, 2010). Ao contrário do que vinha sendo feito em trabalhos anteriores, quando eram capturados e interpretados de quatro a dez gestos, esse trabalho definiu uma série de 25 gestos e cada um deles foi executado 20 vezes por cada um dos 17 usuários utilizados para testar o mecanismo, formando uma grande base de dados.

A pesquisa concluiu que os 25 gestos poderiam ser captados com 99% de precisão com cerca de 15 práticas para cada um deles, o que é um resultado extremamente positivo. De acordo com a conclusão apresentada, muito embora o trabalho tenha se focado no Wiimote unido ao *Wii MotionPlus*, os resultados da pesquisa devem ser aplicáveis a qualquer outro dispositivo que utilize acelerômetros e giroscópios para fazer a interpretação de movimentos.

Outro trabalho de pesquisa realizado estudou o reconhecimento de posição e movimentos corporais por intermédio do sensor infravermelho e dos acelerômetros do Wiimote, com ou sem o acoplamento do *Wii Motion Plus* (WILLIAMSON, 2010). Para isso, o Wiimote foi afixado em um chapéu que seria utilizado pelo usuário do sistema, que simula uma partida de futebol americano. Dessa forma, a posição do usuário era

definida de acordo com os sensores infravermelhos e os movimentos típicos de uma jogada de futebol americano, como a corrida, o pulo e os desvios, eram identificados por intermédio dos acelerômetros e/ou giroscópios. Constatou-se, nessa pesquisa, que os movimentos foram interpretados com 93% de precisão quando utilizando dados providos pelo Wii Motion Plus em conjunto com a câmera sensitiva de infra-vermelho.

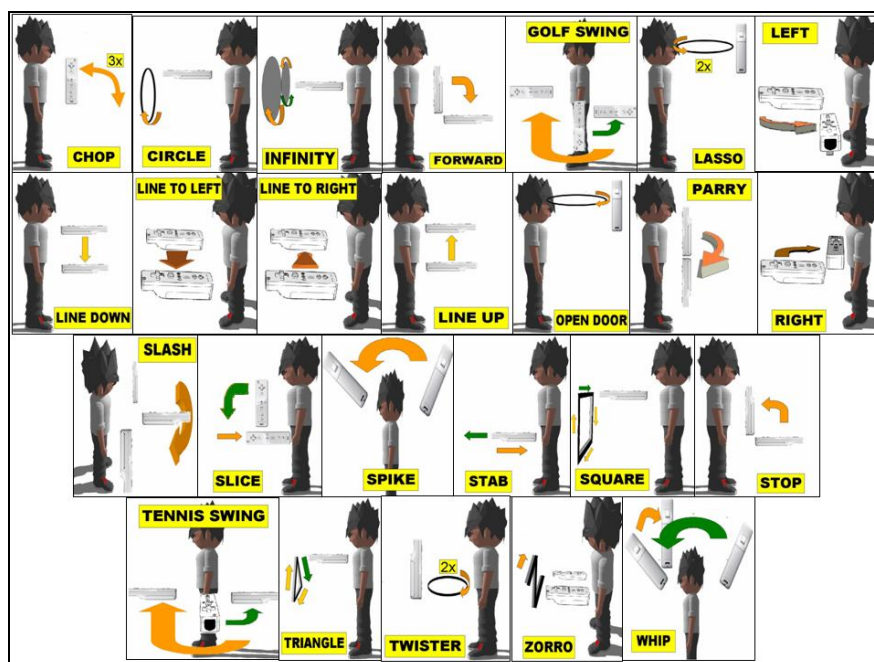


Figura 2.1: Os 25 gestos reconhecíveis ao utilizar o Wiimote e o Wii Motion Plus como ferramenta interativa (HOFFMAN, 2010).

2.2 Interação Em Grafos

A maioria dos trabalhos que tratam da interação sobre grafos trazem-na como uma característica secundária da pesquisa, concentrando os esforços nas técnicas para sua visualização. A forma de interação é, por vezes, apenas abordada para mostrar que o sistema provê ao usuário uma navegação mais suave ao se alterar as zonas do grafo sendo visualizadas, deixando de lado toda a metodologia que existe ao se realizar a interação de fato (EADES, 2000; HERMAN, 2000).

Apesar do pouco volume, ainda é possível encontrar métodos interativos interessantes em alguns trabalhos. Um deles é bastante semelhante àquele desenvolvido no presente trabalho, concentrando nas mãos a interação sobre um grafo tridimensional, visualizado um ambiente imersivo com o auxílio de *shutter glasses* (OSAWA, 2000).

Nessa pesquisa, foram utilizados sensores magnéticos nas mãos do usuário que interage com o grafo. Os sensores permitem que seja captada a posição espacial das mãos, bem como do ângulo de abertura do polegar em relação aos outros dedos. Dessa forma, o sistema possibilita que o usuário selecione os nodos do grafo individualmente ao apontá-lo com o dedo indicador, reposicione cada nodo ao segurá-lo entre os dedos indicador e polegar e mude atributos específicos do nodo girando a mão com o polegar em um ângulo de 90° em relação ao indicador, que se mantém apontando para o nodo. O método permite também a manipulação direta do grafo como um todo, quando o usuário usa a mão em punho, podendo, assim, mover o grafo em três graus de liberdade, transladando-o nos três eixos: X, Y e Z. O sistema não permite a rotação do grafo.

O método fornece diversas opções de manipulação do grafo através de reconhecimento de gestos, no entanto, as ferramentas utilizadas são bastante específicas – dois sensores magnéticos Polhemus Fastrak, capazes de interpretar seis graus de liberdade, que são afixados nas mãos – e de custo bastante elevado, o que já vai de encontro ao proposto pelas uiGloves. Além disso, Osawa conclui que o sistema poderia interpretar melhor os gestos caso fossem utilizados mais sensores magnéticos, pois, da forma com que sua aplicação foi construída, não é possível reconhecer gestos com precisão suficiente para selecionar nodos menores do grafo, por exemplo. Contudo, como já os dois sensores por vezes escorregavam de suas posições específicas nas mãos, causando má interpretação dos gestos, adicionar mais sensores só aumentaria a possibilidade do problema ocorrer.



Figura 2.2: Gestos manuais para navegação em grafos, em técnica que utiliza sensores magnéticos para captar a posição da mão (OSAWA, 2000).

O próprio MagnetViz, sistema de visualização de grafos utilizado no presente trabalho, emprega o uso do mouse em suas tarefas de interação, que compreendem a manipulação de forças magnéticas através da criação e do posicionamento de ímãs para atrair e repelir os nodos do grafo (SPRITZER, 2009-b). Apesar de utilizar técnicas muito interessantes para visualização dos grafos, o sistema pode ser explorado com um enfoque maior nos métodos interativos, conforme foi constatado ao integrá-lo com as uiGloves.

De fato, até onde se tem conhecimento, não há nenhuma ferramenta original que tenha sido desenvolvida para essa atividade, muito embora muitas das ferramentas de interação 3D visando manipulação de objetos virtuais possam ser utilizadas para esse fim, assim como as ferramentas criadas para substituir o mouse, como as diversas implementações feitas para que o próprio Wiiote desempenhe esse papel. Mesmo assim, uma comparação direta não pode ser feita nesses casos, pois não é possível considerar o Wiiote como uma ferramenta para interação natural, já que o que se deseja fazer – manipular livremente um objeto – não é normalmente realizado com o auxílio de qualquer ferramenta.

3 AS UIGLOVES

Existem luvas interativas dos mais diversos tipos, com reconhecimento de movimentos e, mesmo, captação de posição no espaço, mas o preço de tais luvas não é muito convidativo. Além do mais, sempre houve o interesse de se criar ferramentas alternativas, condizentes com a realidade econômica brasileira, para resolver tarefas de cunho científico. Tendo em vista o estado da arte da interação e o grande número de pesquisas a seu respeito, o Wiimote foi uma ferramenta que despertou grande interesse, desde o primeiro contato. Tido como uma boa ferramenta interativa em termos custo-benefício (WINGRAVE, 2010), ele se encaixa exatamente no que estava sendo procurado.

O Wiimote é uma ferramenta que pode ser usada de diversas maneiras para realizar uma interação, pois agrupa uma série de componentes passíveis de serem utilizados nessa atividade. Além de possuir botões, como qualquer outro controle de videogame, o Wiimote possui acelerômetros que permitem a verificação da posição em que o controle está, um autofalante interno, capaz de fornecer *feedback* auditivo, mecanismos de vibração, que fornecem *feedback* tátil e, especialmente, uma câmera sensível a emissões de luz infravermelha. Além disso, o Wiimote se comunica com o Nintendo Wii através de *bluetooth*, o que é bastante conveniente, já que um adaptador bluetooth compatível com qualquer PC atual tem um preço bastante baixo, podendo ser conseguido por menos de R\$ 15,00. O próprio Wiimote tem um custo bastante baixo, sendo possível adquirir uma versão alternativa por cerca de US\$ 13,00.

No entanto, apesar da versatilidade trazida pelo controle, segurá-lo significa, basicamente, o mesmo que segurar um mouse ou um teclado, enquanto que o ideal para uma interação natural seja executada é que dedos fiquem livres. Observou-se, então, a abordagem utilizada como método interativo no *MoonBunny*, com o Wiimote sendo utilizado apenas como câmera, sobre um suporte fixo, captando sinais de um emissor infravermelho móvel (ZACARIAS, 2009) e resolveu-se seguir uma implementação baseada nesse conceito.

Assim sendo, as uiGloves são, em seu projeto final, luvas de pano que possuem dois LEDs emissores de infravermelho afixados nas pontas de dois dedos – o indicador e o anelar. Como os LEDs mais comuns, comercializados em qualquer loja especializada em eletrônica e comumente utilizados como comunicados dos controles remotos de aparelhos convencionais, como televisão e rádio, exigem uma fonte de alimentação de 3 V, duas pilhas AA foram utilizadas para esse fim. Além disso, as uiGloves possuem, cada uma, um botão de pressão, que tem a função de conectar os LEDs às pilhas e, assim, acendê-los. Os botões ficam localizados na lateral do indicador, entre este e o polegar, que é o dedo responsável por pressioná-los. A Figura 3.1 mostra os dois lados de uma uiGlove.



Figura 3.1: a uiGlove direita – palma da mão abriga os dois LEDs e as costas da mão carregam as pilhas em seu suporte e a ligação de fios.

Ao vestir as uiGloves, o usuário fica com seus três dedos centrais cobertos e os dedos das extremidades descobertos. As luvas são vestidas de forma que o suporte das pilhas fique nas costas da mão e os LEDs fiquem nas pontas internas dos dedos, assim como que o botão de pressão fique ao lado do polegar. O usuário interage com o computador acendendo os LEDs e mantendo as luvas na posição vertical, com as palmas para frente, na direção da câmera sensitiva do Wiimote, que, por sua vez, se encarrega de enviar os dados lidos via *bluetooth* para o computador, conforme esquema apresentado na Figura 3.2.

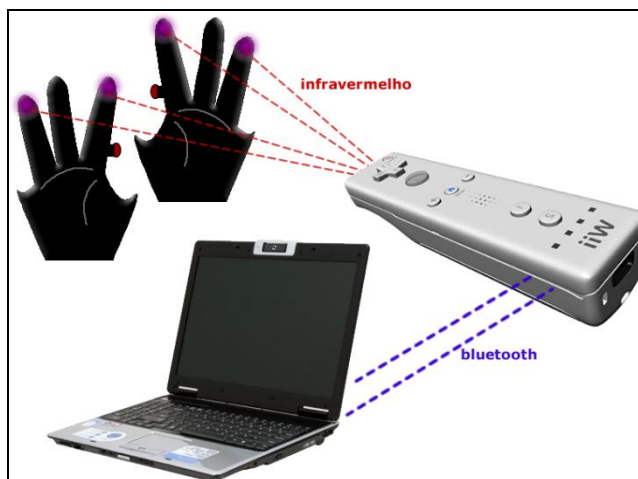


Figura 3.2: Esquema de comunicação das uiGloves com o computador.

3.1 A Estrutura Física

Após ser feita a definição do produto a ser construído, os poucos componentes necessários foram adquiridos em uma loja especializada em produtos eletrônicos. A Tabela 2.1 mostra a lista de materiais comprados com seus respectivos preços na ocasião. Os LEDs infravermelhos serviriam, naturalmente, para a comunicação com o Wiimote. Pilhas para a alimentação dos LEDs e do Wiimote e suportes para pilhas para mantê-las presas às luvas. Os botões de pressão serviriam para ligar os LEDs; uma funcionalidade útil tanto para economizar energia das pilhas quanto, principalmente, para não “amarrar” as mãos do usuário ao aplicativo, ou seja, as mãos serviriam como

objeto de interação, sim, mas também poderiam ser utilizadas apenas como mãos, bastando, para isso, não pressionar os botões que acenderiam os LEDs.

Esta foi uma importante decisão de projeto, pois, além de prover as funcionalidades citadas, pressionar o botão serviria de *feedback* tátil para o usuário, que sentiria como se estivesse realmente segurando o objeto virtual com o qual iria interagir. O material restante para a construção das luvas, como tecido, linha, fios, alicates, etc. não precisou ser comprado, pois já estavam disponíveis, assim como o Wiimote e o adaptador *bluetooth*, que não precisou ser comprado, pois o computador a ser utilizado para construção do sistema já o possuía de fábrica. Bastava, então, juntar tudo para atingir o primeiro objetivo: ter a luva pronta.

Tabela 2.1: Componentes eletrônicos adquiridos para construção das luvas

<i>Produto</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Valor Unitário</i>
LED infravermelho	6	R\$ 3,00
Suporte para duas pilhas AA	2	R\$ 2,40
Botão de pressão	2	R\$ 4,00
Par de pilhas alcalinas	3	R\$ 5,50

Estando de posse de todos os materiais necessários, foi o momento de passar o projeto da luva para o papel e, então, finalmente transformá-lo em realidade. Isso significava que o momento de tomar mais decisões de projeto havia chegado. Optou-se, inicialmente, por colocar três LEDs em cada luva, posicionados nos três maiores dedos da mão. Sabendo que as bibliotecas existentes para interpretar dados do Wiimote – descritas a seguir – só são capazes de detectar quatro pontos, ou seja, quatro LEDs, e que seriam necessários apenas dois pontos para verificar a matriz de transformação resultante das interações, o número três parecia ideal, pois abria a possibilidade de realizar a interação com apenas uma mão – possuindo, em cada mão, um LED a mais que o necessário a cargo de tolerância a falhas – e assegurava que, caso as duas luvas estivessem sendo utilizadas na interação, ao menos um ponto de cada mão seria captado pela câmera. A figura 3.3 mostra o desenho do projeto da luva no papel.

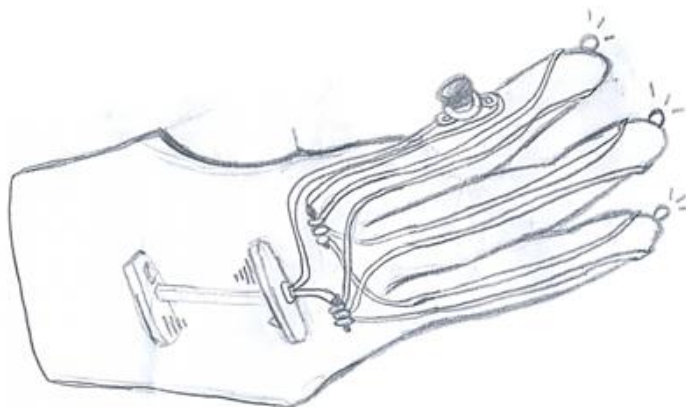


Figura 3.3: O desenho do projeto da luva.

Após terem sido costuradas as luvas em si, restava acoplar nelas os LEDs e demais componentes eletrônicos necessários. A primeira opção cogitada foi utilizar de cola

quente para unir os componentes eletrônicos à luva. Entretanto, a ideia foi descartada, pois chegou-se à conclusão de que ficaria desleigante. A segunda opção foi costurá-los à mão, o que foi feito. A Figura 3.4 mostra o processo de costura das luvas. Com ambas as luvas costuradas e os componentes eletrônicos afixados, o próximo passo foi interligar tais componentes para que a energia das pilhas alimentasse os LEDs quando o botão fosse pressionado, conforme modelo apresentado na Figura 3.5. Dentre a série de tipos de fios disponíveis para realizar os contatos, o escolhido foi o fio telefônico, pois ele é suficientemente resistente, fino a contento e é facilmente moldável em uma forma definida, de acordo com o desejado. Cortados e desencapados os fios, passou-se para o processo de solda.



Figura 3.4: Processo de costura das luvas: moldes de pano costurados à máquina (esq.) e componentes eletrônicos costurados à mão (dir.).

Por fim, as uiGloves – que se chamavam inicialmente “iGloves”, com o “i” do prefixo derivando de Wii (qualquer semelhança com produtos lançados pela Apple é mera coincidência), mas mudou de nome quando descobriu-se que, de fato, a Apple já o patenteara – estavam prontas, com três LEDs funcionais em cada mão. Eles podiam ser vistos com uma câmera digital (já que a visão humana não é sensível a tal frequência), mas ainda eram inúteis para qualquer atividade prática. Uma aplicação que interpretasse os dados providos pelas luvas precisava ser construída e esse foi o próximo passo do trabalho.

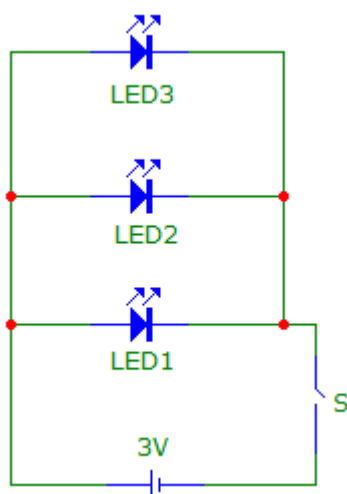


Figura 3.5: Esquema de ligação entre os componentes que formam as uiGloves.

Sobre o projeto lógico das uiGloves, falar-se-á no próximo capítulo. Entretanto, antes de finalizar a presente, é preciso ressaltar as mudanças de projeto que foram

efetuadas no segundo protótipo das luvas. Conforme foi dito, inicialmente pensou-se em colocar três LEDs em cada mão, indo ao encontro das técnicas tradicionais de tolerância a falhas. No entanto, percebeu-se após os testes da primeira etapa que os usuários tinham certa dificuldade de realizar os movimentos desejados nos objetos virtuais. Isso se devia, principalmente, ao tipo de implementação realizado – que será descrito em detalhes a seguir – que não aproveitava corretamente dos quatro pontos passíveis de serem lidos pelo Wiimote.

Buscando resolver esse problema, decidiu-se eliminar um LED de cada mão – aquele afixado ao dedo médio – de forma a deixar apenas dois LEDs em cada uma e, assim, ter a certeza de que o Wiimote captaria dois pontos de cada luva, caso captasse todos os quatro possíveis. O LED central foi escolhido para ser eliminado para que os dois LEDs restantes tivessem entre si a maior distância possível, ainda que com os dedos unidos.

Além disso, cabe destacar que, como as luvas foram transportadas para diversos locais, seja na fase de desenvolvimento ou na fase de testes, muitos fios se desprenderam da solda que os unia – ou quebraram próximo a ela – e, assim sendo, toda a ideia de robustez que a soldagem proveria foi desqualificada e os fios acabaram por ser apenas unidos manualmente, sem que fosse desencadeado qualquer problema. Durante todo o desenvolvimento desse trabalho, pensou-se em uma espécie de capa para as luvas, que protegesse as ligações entre os componentes e tornasse a aparência da ferramenta menos delicada – e também menos ameaçadora – escondendo os fios e contatos, mas a ideia ainda não foi posta em prática

3.2 A Estrutura Lógica

Muito embora as uiGloves já estivessem prontas para serem utilizadas, restava ser construído um programa que lesse os dados providos pela câmera do Wiimote e os interpretasse de forma a transformá-los no que era desejado. Para a leitura dos dados do Wiimote, diversas bibliotecas prontas e disponíveis para download na Internet poderiam ser utilizadas. Segue uma lista das bibliotecas mais conhecidas:

- **Wiiuse**: biblioteca escrita em C. Permite a conexão de diversos Wiimotes simultaneamente, suporta sensor de movimento via acelerômetros e sensor de infravermelhos, permite acoplamento do *nunchuck*, do *classic controller* e da guitarra, todos estes controles alternativos para o Nintendo Wii. Funciona em Windows e Linux (<http://www.wiiuse.net/>);
- **GlovePIE**: ferramenta que suporta diversos periféricos, inclusive o Wiimote, e vincula interações sobre esses periféricos a botões do teclado ou mouse. Também suporta todos os controladores do Wii que a biblioteca acima e mais a *Balance Board*, também outro periférico específico para ser usado com o Nintendo Wii. Funciona apenas no Windows (<http://glovepie.org/>);
- **Cwiid**: versão equivalente à GlovePIE, mas para uso exclusivo no Linux. A biblioteca, além de possibilitar um mapeamento entre o Wiimote e o mouse ou o teclado, também interpreta os componentes que o compõem, assim como a Wiiuse (<http://abstrakraft.org/cwiid/>);
- **WiimoteLib**: construída para ser usada sobre o framework .Net, da Microsoft. Além de suportar todos as possíveis adições ao Wiimote já citadas, oferece suporte ao Wii Motion Plus, ferramenta acoplável ao controle do Wii que possui giroscópios para interpretação de movimento, o que fornece um

reconhecimento muito mais preciso da orientação do controle em relação ao espaço (<http://wiimotelib.codeplex.com/>);

- **WiiYourself!**: biblioteca construída a partir da *WiimoteLib*, mas em C++. Possui as mesmas características que a biblioteca em que se baseou e também funciona apenas no Windows;

Todas as bibliotecas acima interpretam o sensor infravermelho do Wiimote da mesma forma, captando 4 pontos de irradiação infravermelha em suas respectivas posições no espaço (coordenadas X e Y) e a medida de seu raio, ou seja, o quão grande ou o quão próxima da câmera está a fonte da irradiação.

Assim como o projeto físico, o projeto lógico das *uiGloves* também teve duas versões e sofreu modificações substanciais na segunda delas. As modificações foram feitas após a realização dos primeiros testes com usuários, quando as principais falhas das luvas haviam sido descobertas. A seguir, serão descritas cada uma das implementações separadamente, para fins de clareza e organização.

3.2.1 Versão inicial

Fora construído, em uma disciplina anterior do curso, um jogo que utilizava o Wiimote como meio de interação, sendo interpretado com o auxílio da biblioteca *WiimoteLib*, pois o jogo estava sendo desenvolvido em C#, utilizando o framework de jogos XNA, portanto ela era a mais indicada. Como havia essa experiência, foi um impulso natural empregar reuso de projeto e implementação para o desenvolvimento de uma nova aplicação que se utilizasse do Wiimote. A partir disso, criou-se uma aplicação de teste muito rapidamente e logo já foi possível ver um objeto virtual sendo manipulado pelas *uiGloves*, o que mostrou que a ideia funcionava. Os LEDs das luvas eram acendidos e, dentre eles, até quatro eram escolhidos aleatoriamente – não importando se três de uma mão e apenas um da outra ou dois de cada uma – e as transformações eram feitas com base nas coordenadas que a biblioteca fornecia (conforme descrições abaixo).

Contudo, apesar de o programa funcionar conforme esperado a princípio, como a experiência com C# e XNA era muito diminuta, começaram a surgir dificuldades em definir maneiras para implementar uma aplicação de teste de fato, como teria de ser feito posteriormente, tendo sido obtido apenas um objeto virtual solto na tela, que podia ser manipulado pelas luvas.

O reuso de software, prática tão desejada na Engenharia de Software, fora ótimo, mas seria preciso converter a implementação para a linguagem C++. Não só pelo fato de ser uma linguagem mais dominada, e pela flexibilidade fornecida pela biblioteca OpenGL, mas, também, porque o *MagnetViz* foi igualmente implementado utilizando-a.

3.2.1.1 Conversão

Como a biblioteca *WiiYourself!* foi desenvolvida utilizando como base justamente a *WiimoteLib* e, portanto, fornece os mesmos dados e possui estruturas de armazenamento bastante semelhantes com a biblioteca já conhecida, foi ela a escolhida para ser utilizada nesse trabalho. É claro que levou-se algum tempo até descobrir as melhores formas de utilizar os dados fornecidos pela biblioteca, mas a principal dificuldade nessa etapa foi ter que deixar de lado as facilidades providas pelo framework XNA e implementar a aplicação com todas as minúcias do OpenGL, bem como habituar-se à forma de trabalhar em nível bastante baixo do C++.

Foi um trabalho mais longo que o esperado, mas, finalmente, a conversão foi feita e já havia na tela um *Teapot* do OpenGL, que podia ser manipulado pelas uiGloves. O objeto podia ser movido em dois graus de liberdade: transladando-o em X e em Y; mas, para a aplicação inicial, seriam necessários ao menos mais dois graus de liberdade: translação e rotação em Z. Passou-se à construção dessas funcionalidades e, apesar de ainda possuir algumas limitações, o objetivo foi atingido e a aplicação que interpretaria as uiGloves estava cada vez mais perto de ficar pronta.

3.2.1.2 Quatro graus de liberdade

A seguir, são descritos alguns detalhes de implementação da interpretação dos dados obtidos pela biblioteca. Toda a interação é baseada na leitura dos LEDs emissores de infravermelho que se encontram nas luvas pela câmera do Wiimote. Conforme dito anteriormente, a câmera é capaz de detectar apenas quatro LEDs, mas dois deles já são suficientes para que os cálculos necessários para obter as transformações sejam efetuados.

3.2.1.2.1 Translação em X e Y

Apesar de ser necessária a leitura de dois LEDs pela câmera para se realizar todos os cálculos necessários para obter a matriz de transformação final do objeto nos quatro graus de liberdade, a determinação de sua translação em X e Y depende apenas de um ponto. Entretanto, é preciso considerar todos os pontos lidos, mesmo que baste um para que a translação possa ser calculada, pois é necessário realizar o deslocamento baseado no movimento das duas mãos (ou uma mão, caso apenas uma seja utilizada) e não apenas no movimento de um único dedo, especialmente porque não é possível determinar *a priori* qual será o ponto enumerado por 1, 2, 3 ou 4.

O procedimento utilizado foi bastante simples. Tendo X pontos na tela, o ponto médio entre eles seria o ponto a ser utilizado para fazer o cálculo de translação do objeto. A Figura 3.5 mostra o mapeamento dos pontos lidos para o objeto transladado.

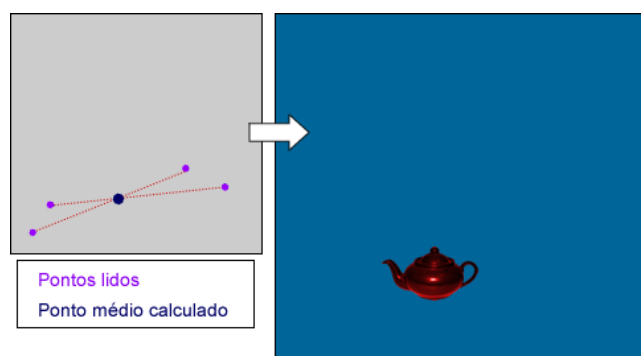


Figura 3.5: Pontos lidos pela câmera geram ponto de translação do objeto.

3.2.1.2.2 Translação em Z

A translação no eixo Z também foi bastante simples de ser calculada e foi utilizado um procedimento semelhante ao anterior. O Wiimote fornece a medida do raio do LED detectado e, apesar de tal medida não ser suficientemente bem interpretada – pois é muito dependente da iluminação existente e do posicionamento exato dos LEDs de frente para a câmera –, assim como o valor obtido de tal leitura ser um valor inteiro que varia de 1 a 6, o tamanho médio dos LEDs lidos serviu para que fosse feito o cálculo dessa translação.

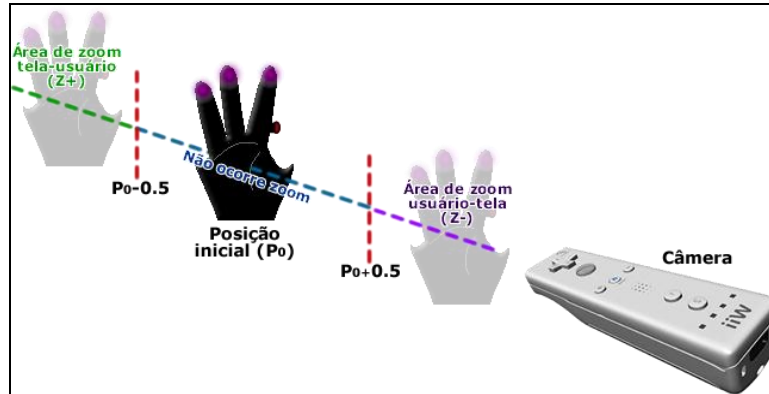


Figura 3.6: Rotação calculada em função da posição inicial da mão, definida pelo tamanho médio do raio dos LEDs captados pela câmera.

Foi definido um valor mínimo e um máximo para o tamanho médio entre os LEDs captados pela câmera, baseados na posição inicial da mão ao acendê-los, sendo eles 0.5 a menos e a mais que o tamanho médio inicial dos LEDs. Supondo que s é o tamanho lido num determinado momento, se s é maior que o valor máximo definido, então está sendo realizada uma translação negativa em Z , ou seja, no sentido usuário-tela; e, se s é menor que o valor mínimo definido, então está sendo realizada uma translação positiva em Z , ou seja, no sentido tela-usuário, como visto na Figura 3.6. Tal translação é feita constantemente até que o valor de s esteja dentro do limite definido por [valor mínimo; valor máximo], ou seja, que a mão tenha retornado à sua posição de origem.

3.2.1.2.3 Rotação em Z

O cálculo de rotação é substancialmente mais complexo. Para esse cálculo poder ser realizado, são necessários ao menos dois pontos lidos pela câmera e duas leituras consecutivas desses pontos. Como não são, necessariamente, apenas dois pontos lidos, o primeiro procedimento a ser feito é separar, dentre os pontos lidos no instante t_1 , aquele que é o ponto mais à esquerda da tela – que chamaremos de P_{e1} – e aquele que é o ponto mais à direita da tela – que chamaremos de P_{d1} .

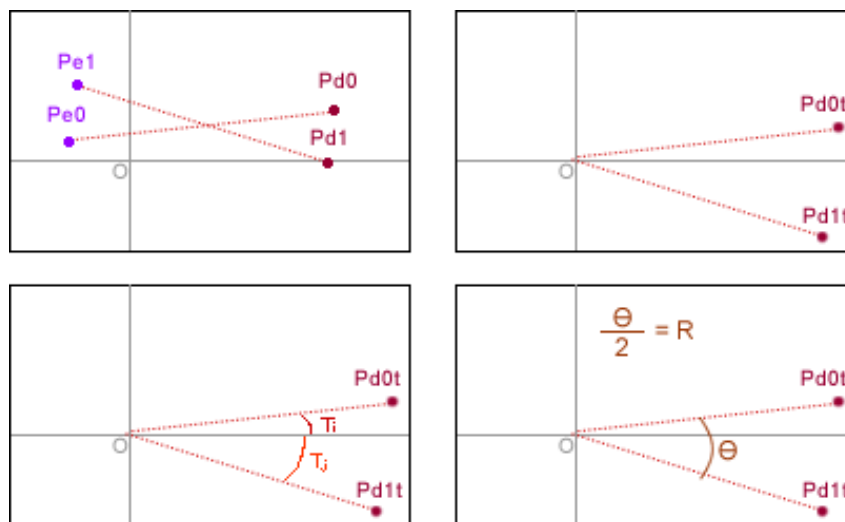


Figura 3.7: Pontos lidos pela câmera, em dois instantes, geram o ângulo de rotação.

Obtidos esses pontos, é preciso realizar o mesmo procedimento com a leitura anterior, ou seja, com os pontos lidos no instante t_0 , obtendo, assim, os pontos P_{e0} e P_{d0} .

Estando em posse desses dados, é possível construir dois segmentos de reta, r_1 e r_0 , com cada uma das duplas de pontos. A título de simplificação, translada-se as retas r_1 e r_0 para a origem, transformando os pontos P_{e1} e P_{e0} no ponto $O(0, 0)$ e os pontos P_{d1} e P_{d0} em P_{d1t} e P_{d0t} . Dessa forma, obtem-se de modo trivial o ponto de intersecção entre as retas: a origem. Calculados esses três pontos – O , P_{d1t} e P_{d0t} – é possível determinar a tangente T do ângulo $P_{d1t}\hat{O}P_{d0t}$ e descobrir, pelo cálculo de arctangente de T , de quantos graus foi a rotação realizada no movimento da(s) mão(s).

Mesmo que o movimento de rotação necessite de duas leituras seguidas para fazer seu cálculo, é humanamente impossível realizar uma rotação muito ampla no intervalo entre esses dois quadros. Dado isso, determinou-se que a rotação seria feita de forma constante enquanto o usuário permanecer com a(s) mão(s) na posição final de um movimento de rotação, cessando o deslocamento quando o usuário move sua(s) mão(s) de volta à posição inicial. A Figura 3.7 mostra um diagrama das transformações geométricas realizadas.

3.2.1.3 Técnicas de seleção

Além de prover a manipulação dos objetos como descrito acima, a versão inicial do projeto lógico das luvas também implementava a tarefa de seleção, pois tal tarefa seria necessária na aplicação de teste a ser construída posteriormente. Os únicos botões que as *uiGloves* possuem são aqueles para manter acesos ou apagados os LEDs, e de forma alguma agradava a opção de serem adicionados a elas novos botões, afinal, o objetivo era eliminar a necessidade de botões para realizar a interação.

Foram testadas três técnicas de seleção, sem que nada nas luvas fosse modificado: seleção por movimento, que se baseava em um movimento de fechamento da mão; seleção por apagar e acender os LEDs, que utilizava o botão das *uiGloves* e, portanto, já não era atraente *a priori*; e seleção por velocidade, baseado na diminuição da velocidade do cursor ao sobrepor o objeto que se desejasse selecionar (CHOUMANE, 2010). Abaixo, uma breve descrição dos três métodos e os resultados preliminares que eles apresentaram.

3.2.1.3.1 Seleção por movimento

Essa foi a primeira técnica implementada e se baseia no gesto natural de fechar a mão sobre um objeto quando se quer segurá-lo, ou seja, mantendo a mão parada no ar e fechá-la em punho. No entanto, fechar a mão em punho completamente não seria possível, pois era necessário que os LEDs permanecessem visíveis durante todo o tempo. Dessa forma, o movimento que devia ser executado para simular uma seleção era apenas um leve dobrar dos dedos, sem que as pontas dos dedos chegassem a formar um ângulo de 90° com a palma da mão.

A técnica foi testada com o uso de apenas uma *uiGlove* e sua implementação consistiu, basicamente, na criação de um buffer que armazenasse a posição Y média entre os pontos lidos pela câmera e que fosse interpretado no momento em que o cursor de seleção interseccionasse o objeto a ser selecionado. Nesse instante, foram analisadas as diferenças entre as N posições anteriores do buffer, ou seja, em um buffer B de quatro posições seriam analisadas as diferenças B_2-B_1 , B_3-B_2 e B_4-B_3 . Então, se as $N-2$ primeiras diferenças fossem menores do que um valor constante pequeno P , mas a última diferença fosse maior que um valor constante grande G , estaria sendo feita uma seleção.

Foram testados diversos valores de N , P e G , mas a técnica não funcionou a contento com nenhum deles, principalmente por confundir movimentos verticais rápidos da mão com seleções de fato, mas também por identificar, por vezes, duas seleções seguidas, o que indicaria o ato de selecionar e logo largar um objeto. Assim sendo, essa técnica foi descartada, embora existisse uma ideia de aperfeiçoá-la.

3.2.1.3.2 Seleção por apagar e acender os LEDs

Essa técnica foi bastante simples de ser implementada. Consistiu no armazenamento da última posição (X , Y) lida pela câmera antes de serem apagados os LEDs e, no momento de reacendê-los, fazer a comparação entre essa nova posição com aquela anteriormente armazenada. Se as posições fossem relativamente próximas e o cursor de seleção estivesse sobre um dos objeto, esse objeto era selecionado.

Essa técnica também foi testada com apenas uma *uiGlove* e, apesar de bastante simples, apresentou problemas. Os erros de seleção ocorreram, principalmente, pelo fato de que, às vezes, a câmera não conseguia detectar todos os LEDs que estavam disponíveis logo na primeira leitura. Ou seja, ao apagar os LEDs era armazenada uma posição relativa à posição média entre eles no momento de serem desligados, mas, ao serem religados, a câmera podia identificar primeiramente apenas um ou dois pontos e a posição a ser comparada seria relativa a esse número de LEDs lidos, que, com uma grande probabilidade, seria significativamente diferente da posição anterior. Sendo assim, essa técnica também foi deixada de lado, o que, na verdade, foi bastante bom, pois eliminou uma técnica que utilizaria o botão da *uiGlove* em uma funcionalidade para a qual ele não havia sido projetado.

3.2.1.3.3 Seleção por velocidade

Essa técnica também é bastante simples e significativamente mais interessante. De acordo com testes já realizados em um estudo prévio (CHOUMANE, 2010), os usuários tendem a diminuir a velocidade com que movimentam o cursor antes de fazer uma seleção por meio de um botão. Partindo disso, é possível fazer uma seleção apenas com base na velocidade com que o cursor está se movendo, descartando-se o botão. Se o cursor se mantém por um determinado número de quadros N com uma velocidade abaixo de um valor pequeno V , então, caso o ele esteja sobre um objeto, está sendo feita a seleção desse objeto.

Para testar esse tipo de seleção, foi criado um buffer que armazenava as últimas 30 posições do cursor na tela. Como a velocidade foi medida em distância-percorrida/quadro, para calcular a velocidade bastava fazer a subtração de uma posição P do buffer por sua posição anterior $P-1$, onde distância-percorrida era a distância entre duas posições do cursor em dois quadros consecutivos. Se esse valor fosse baixo para todas as 29 posições do buffer, uma seleção estava sendo feita. Para um valor baixo, considerou-se 0.00015.

No entanto, como a velocidade tende a se manter baixa após a seleção ser efetuada, logo que o usuário esteja começando a mover o objeto, foi definido um determinado número de quadros de espera antes de começar a testar a seleção novamente. Da mesma forma, ao se fazer uma translação em Z , é normal que a mão se mantenha aproximadamente em uma mesma posição em relação aos eixos X e Y , alterando-se apenas no eixo Z , se aproximando ou se distanciando da câmera. Por isso, para se obter uma interpretação correta dos movimentos, enquanto a mão não está dentro do limite

supracitado para translação em Z [valor mínimo; valor máximo], não é feito o teste de seleção tampouco.

3.2.2 Versão final

Como já foi dito, não foi apenas o projeto físico das uiGloves que foi modificado na segunda etapa de desenvolvimento; o projeto lógico também foi aprimorado, a partir de ideias que surgiram após a realização dos primeiros testes e a análise dos resultados obtidos, bem como das opiniões dos testadores.

Conforme mencionado na seção 3.1, houve o desejo de que a câmera captasse dois – e apenas dois – LEDs em cada mão. Dessa forma, se teria a certeza de que os pontos estavam bem distribuídos e não haveria o problema de serem reconhecidos três pontos em uma mão e apenas um ponto na outra, o que levava a aplicação anterior a interpretar erroneamente os movimentos. Além do mais, tendo sido o movimento de translação em Z bastante criticado durante a primeira fase de testes – na qual os erros se deveram principalmente à deficiência do Wiimote de fornecer um valor mais específico para o raio do LED lido – uma nova implementação dessa funcionalidade foi pensada – descrita a seguir – e, para que ela pudesse funcionar, seria preciso que houvesse de fato apenas dois LEDs por mão. Adicionalmente, a tarefa de seleção de objetos foi deixada de lado, procurando-se dar uma maior ênfase para a tarefa de manipulação dos objetos, o que se refletiu na segunda aplicação de teste.

3.2.2.1 Usando segmentos de retas

Dispondo de dois LEDs em cada mão, estabeleceu-se que cada mão seria representada virtualmente por um segmento de reta, cujos vértices seriam determinados pelos dois pontos lidos. Um segmento de reta – não coincidentemente – também seria utilizado para representar o objeto sendo manipulado. Dessa forma, caso o usuário estivesse utilizando apenas uma uiGlove para executar suas tarefas, o segmento correspondente ao objeto seria o próprio que representa a uiGlove. Caso contrário, ou seja, se o usuário estivesse com as duas uiGloves ativas, o segmento de reta que representa o objeto seria formado pelos vértices que correspondem aos pontos médios de cada um dos segmentos de reta que representam as uiGloves, como apresentado na Figura 3.8.

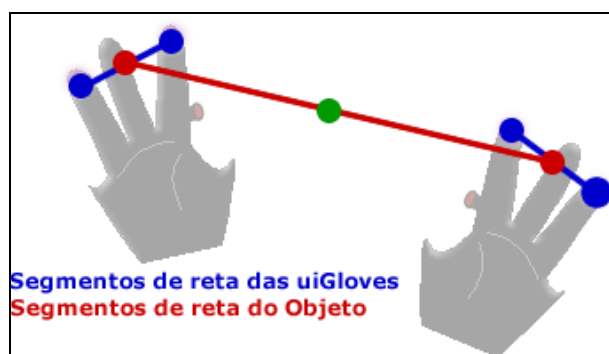


Figura 3.8: A representação de cada uma das uiGloves e do objeto sendo manipulado através de segmentos de reta.

Possuindo um segmento de reta que representa o objeto em foco, foi fácil redefinir todas as funcionalidades que a implementação anterior provinha, ou seja, a translação nos eixos X, Y e Z e a rotação sobre o eixo X. A seguir, é descrito brevemente como foram implementadas tais funcionalidades na nova versão.

3.2.2.1.1 Translação em X e Y

Como agora sempre se dispõe de exatamente dois pontos representando o objeto, o movimento de translação em X e Y fica muito mais simples de ser calculado, bastando, para isso, determinar o ponto médio entre esses dois pontos – ou o ponto médio do segmento de reta que eles representam – e transladar o objeto para o ponto correspondente, a exemplo do que havia sido feito na aplicação anterior, mas agora utilizando-se apenas de dois pontos.

3.2.2.1.2 Translação em Z

Corrigir o problema oriundo da translação em Z foi um dos motivos que levou à definição de um segmento de reta para representar o objeto. Com essa nova característica, determinar a profundidade do objeto no espaço ficou mais simples e mais coerente com os movimentos executados. Consideram-se dois instantes de tempo, t_0 e t_1 , e, em cada instante, verifica-se o tamanho do segmento de reta do objeto, s_0 e s_1 . Se s_0 é maior do que s_1 , significa que a(s) mão(s) se afastaram da câmera, logo o objeto precisa ser transladado no sentido tela-usuário. Já se s_0 é menor do que s_1 , significa que houve uma aproximação dos LEDs em relação à câmera, logo o objeto precisa ser transladado no sentido usuário-tela.

O princípio é o mesmo da translação em X e Y, se for considerado que o tamanho de cada segmento representa um ponto na forma $(0, s_i)$. Com as duas leituras, é possível criar um segmento de reta delimitado pelos pontos $(0, s_0)$ e $(0, s_1)$ e, assim, calcular a translação da mesma forma que a descrita anteriormente.

3.2.2.1.3 Rotação em Z

A rotação do objeto sobre o eixo Z é feita basicamente da mesma forma que na aplicação anterior, com a substancial diferença de que agora não é preciso buscar os pontos extremos à esquerda e à direita para construir um segmento de reta, porque o segmento de reta já existe.

Com o aperfeiçoamento da definição dos segmentos de reta, foi possível aprimorar o movimento de rotação em Z, deixando-o correspondente ao movimento da(s) mão(s). A facilidade de o objeto permanecer girando quando o usuário mantinha a mão parada, inclinada na direção em que se desejava efetuar a rotação, foi bastante criticado pelos testadores na primeira fase de teste, portanto fazer a correspondência do movimento feito pelo usuário com a rotação realizada pelo cubo foi uma mudança providencial no projeto e só foi possível graças ao uso dos segmentos de reta.

3.2.2.1.4 Rotação em Y

Além de prover todas as características da aplicação anterior, o uso de segmentos de reta permitiu que fosse implementado um movimento para corresponder a uma rotação no eixo Y. Trata-se de um movimento que deve ser feito com as duas uiGloves, onde uma mão se aproxima da câmera ao mesmo tempo em que outra se afasta, em um gesto análogo ao que é feito quando se quer girar um objeto no mundo real.

A exemplo do que foi feito na translação em Z, esse movimento de rotação pode ser interpretado da mesma forma que o movimento de rotação no eixo Z, bastando, para isso, a utilização dos tamanhos dos dois segmentos de reta correspondentes às duas uiGloves. Obtêm-se os tamanhos de segmentos s e u no instante t_0 , ou seja, s_0 e u_0 , e cria-se os pontos $P_0(0, s_0)$ e $Q_0(1, u_0)$. Após, obtêm-se os tamanhos dos segmentos no instante t_1 , s_1 e u_1 , criando, assim, os pontos $P_1(0, s_1)$ e $Q_1(1, u_1)$. Supõe-se, então, um

segmento de reta ligado pelos pontos P_0 e Q_0 e um outro ligado pelos pontos P_1 e Q_1 . A partir disso, basta utilizar os mesmo cálculos apresentados na seção 4.1.3.3 e obter a rotação correspondente, como ilustra a Figura 3.9.

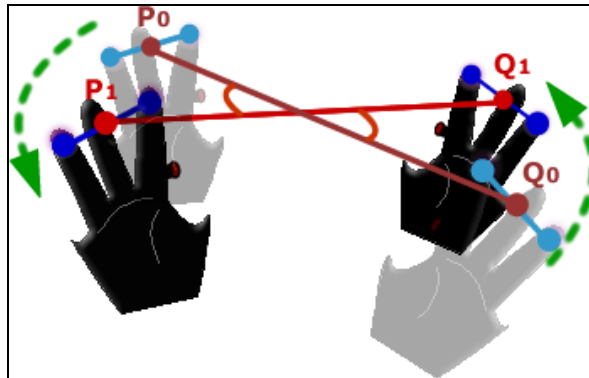


Figura 3.9: Determinação da rotação no eixo Y, com o uso simultâneo das duas uiGloves.

4 AS APLICAÇÕES DE TESTE

Muito embora o objetivo original das uiGloves seja facilitar a navegação em grafos, a melhor opção para iniciar os testes com as luvas era analisar devidamente o potencial de uso que elas proveriam. Para isso, decidiu-se construir uma aplicação simples que forçasse a execução de algumas estratégias de manipulação através das uiGloves, para que, então, elas pudessem ser testadas formalmente por potenciais usuários. Foram desenvolvidas duas versões de aplicações de teste, destinadas a testar o projeto das luvas em sua fase de desenvolvimento correspondente.

4.1 A Primeira Aplicação de Teste

A ideia básica da aplicação de teste é bastante simples, consistindo de quatro cubos de cores diferentes que devem ser selecionados em sua posição inicial e deslocados até que sejam soltos em uma posição determinada no espaço 3D da tela. Uma aplicação trivial, mas que utiliza todas as técnicas de manipulação necessárias e, ainda, permite testar técnicas de seleção com as uiGloves, o que não estava no escopo inicial do trabalho.

Após definida e implementada a metodologia a ser utilizada para calcular as transformações sobre os objetos através do movimento das luvas, iniciou-se a construção da aplicação de teste, com os cubos que deveriam ser selecionados e levados a um determinado lugar. Isso demandava a criação de cinco objetos a serem manipulados, na verdade: os quatro cubos e o cursor de seleção.

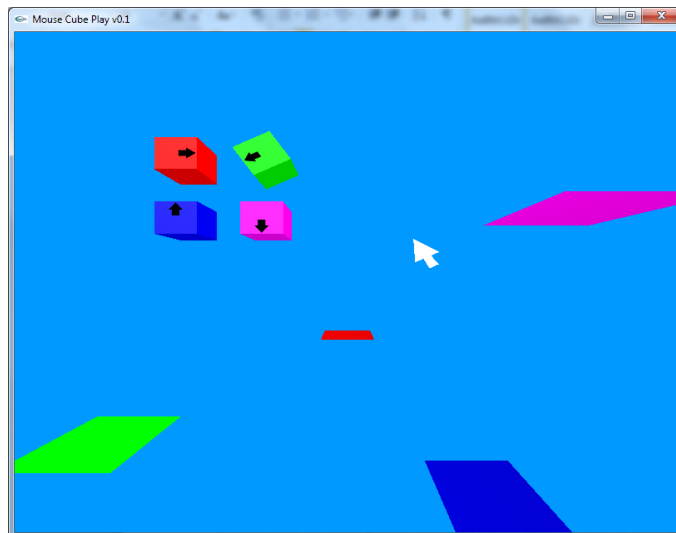


Figura 4.5: A primeira aplicação de teste, na qual o usuário precisa levar os cubos até os seus respectivos quadros, mantendo a seta voltada para cima.

O primeiro passo foi mostrar um cursor na tela que pudesse ser movimentado com as uiGloves e fizesse a seleção dos quatro cubos. Feito isso, os cubos foram desenhados, e foram, também, determinadas as áreas de intersecção entre o cursor e os cubos para que a seleção pudesse ser feita. Como a técnica de seleção por velocidade funcionou bastante bem, especialmente se comparada às anteriores, foi ela a escolhida para a versão final, destinada a testes com usuários.

Como é possível ver na Figura 4.5, que mostra a tela inicial da aplicação, os cubos aparecem inicialmente dispostos rotacionados no eixo Z em diferentes ângulos, para que o usuário testador seja forçado a executar o gesto necessário para girar o cubo no eixo supracitado. Analogamente, os destinos predeterminados dos cubos aparecem dispostos em diferentes posições nos eixos X, Y e Z, para que se faça necessária a execução dos movimentos inerentes à translação do objeto em tais eixos.

4.1.1 Uma versão para comparação

Além da versão da aplicação que utiliza as uiGloves para fazer as interações, foi construída uma versão cujo método de interação é o mouse. Essa segunda versão teve de ser construída, pois, caso contrário, não adiantaria de nada serem feitos testes com a versão principal, já que não haveria nenhum outro dado com o qual comparar.

O mouse é utilizado tanto para a atividade de seleção quanto para a de translação e rotação dos objetos. Para selecionar e soltar um objeto, é usado o botão esquerdo do mouse; para mover o cursor de seleção e transladar o objeto selecionado em X e Y, é usado o deslizamento do mouse; para a translação do objeto em Z, é preciso segurar o botão direito e deslizar o mouse para cima ou para baixo, afastando ou aproximando o objeto do ponto de visão, respectivamente; por fim, para rotacionar o objeto em Z, é preciso também segurar o botão direito do mouse, mas deslizá-lo para a esquerda ou para a direita, realizando rotações em Z nesses mesmos sentidos.

4.2 A Segunda Aplicação de Teste

Após ser definido o novo modelo das uiGloves, e terem sido feitas as devidas adaptações nas ferramentas, bem como no software responsável por sua interpretação, seria necessária uma nova fase de testes para verificar se as modificações haviam melhorado a usabilidade do produto.

Além disso, a própria funcionalidade da aplicação sofreu algumas alterações. Deu-se ênfase, dessa vez, à manipulação dos objetos virtuais, tendo em vista que essa é uma atividade muito mais relacionada à navegação, que é o foco principal desse trabalho e, também, que os usuários não encontraram grandes problemas para fazer a seleção por velocidade com as uiGloves. Assim sendo, aparece na tela um cubo por vez, que já pode ser diretamente manipulado até alcançar o destino especificado. Essa versão apresenta cinco cubos para serem movidos, pois incluiu-se aqui a possibilidade de rotacionar os objetos também no eixo Y. Adicionalmente, um pequeno modelo de como o objeto deve ser posicionado foi desenhado no canto da tela, para que o usuário saiba com mais clareza que manipulações deve fazer no objeto. A Figura 4.6 mostra a tela inicial da aplicação.

Novamente, os cubos aparecem em posições específicas e diversas, bem como com rotações pré-efetuadas, assim como seus respectivos destinos, afim de que o usuário testador seja obrigado a efetuar todos os movimentos providos pelas luvas para

manipular os objetos. Quatro dos cinco cubos obrigavam o usuário a efetuar movimentos para que o cubo se movimentasse nos quatro graus de liberdade providos pela primeira implementação, enquanto um deles exigia que fosse feita uma rotação no eixo Y – funcionalidade esta apenas disponível nessa segunda versão.

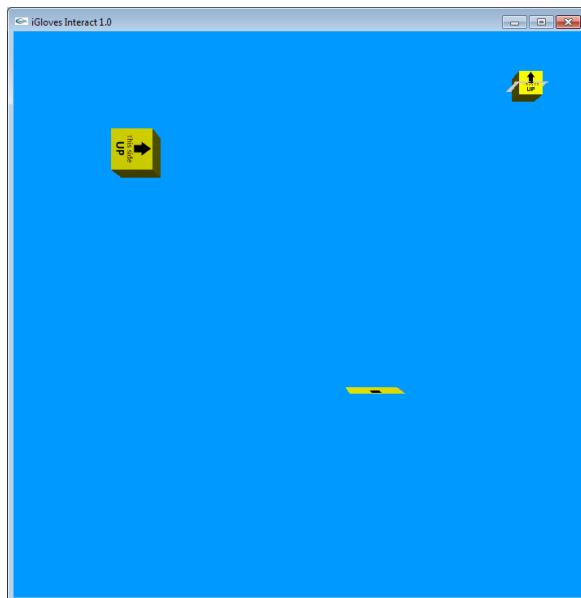


Figura 4.6: A tela inicial da segunda aplicação de teste, com o primeiro cubo a ser manipulado e o modelo no canto superior direito.

4.2.1 Uma nova versão para comparação

Novamente fez-se necessária a criação de uma tecnologia de manipulação alternativa, com a qual a manipulação com as uiGloves pudesse ser comparada. Novamente escolheu-se o mouse como ferramenta interativa, devido ao amplo conhecimento que já se tem sobre ele.

Todavia, os tipos de interação com o mouse foram levemente modificados. Como não é preciso mais selecionar o objeto, para transladá-lo em X e Y é preciso manter o botão esquerdo do mouse pressionado, correspondendo com a necessidade de se manter os botões das uiGloves pressionados para realizar os movimentos. Para a rotação no eixo Z, é preciso pressionar o botão direito e deslocar o mouse para cima ou para baixo. A rotação no eixo Y é feita com o botão direito pressionado e um deslocamento do mouse no sentido horizontal. Finalmente, para transladar o objeto no eixo Z, usa-se o botão *scroll* do mouse.

5 INTEGRAÇÃO DAS UIGLOVES COM O MAGNETVIZ

O MagnetViz é um aplicativo construído com o objetivo de fornecer ao usuário uma forma interativa de visualização de grafos, na qual ele pode manipular o grafo através de forças magnéticas por meio da criação de ímãs virtuais. O aplicativo é descrito da seguinte forma por SPRITZER:

Enquanto a maior parte das técnicas visualizam um layout de grafo estático pré-computado, MagnetViz permite que usuários dinamicamente alterem o layout de um grafo de forma a melhor satisfazer suas necessidades. Isso é feito ao construir em cima da metáfora de física de algoritmos dirigidos à força para proporcionar aos usuários ímãs virtuais, que podem atrair nodos que satisfazem um conjunto de critérios associados a eles. Critérios podem ser baseados na topologia ou semântica do grafo. Através de *boundary shapes*, que são simples formas geométricas que podem ser colocadas ao redor de ímãs, usuários podem também definir regiões na cena onde os nodos atraídos devem permanecer. [...] Usuários podem construir as condições associadas aos ímãs utilizando os atributos dos nodos e arestas, além de atributos topológicos próprios de grafos. (2009-a, Resumo)

A integração das uiGloves com esse aplicativo era tida como providencial para que se pudesse ter uma aplicação real que se beneficiaria do uso das luvas para as atividades de interação, pois ao se observar um grafo muito grande – representando uma rede social, por exemplo – em uma *tiled display*, ou seja, uma tela de visualização muito grande, composta por diversas outras telas, é interessante poder dispor de métodos de interação natural por meio de gestos, já que as ferramentas interativas tradicionais não se adequam a tal tarefa.

O MagnetViz foi desenvolvido ao longo de três anos e, desde então, passa por constantes modificações, o que acabou deixando a versão original da ferramenta extremamente pesada e confusa de se entender, dado às partes que foram retiradas – transformadas em comentário – ou às que foram adicionadas. Além disso, o aplicativo foi construído com o auxílio da biblioteca QT, da Nokia, e apresenta alguns segmentos de código que dizem respeito à parte gráfica via OpenGL e outros em linguagem específica da QT.

Uma nova versão do MagnetViz foi desenvolvida no decorrer desse trabalho – lançada no início de novembro –, esta muito mais organizada e com diversas partes inúteis de código retiradas. No entanto, seu desenvolvedor decidiu por abdicar da OpenGL e construiu toda a nova versão utilizando a QT para a parte gráfica. Isso foi um problema, pois não havia tempo para ser dedicado ao aprendizado da QT e de como fazer adições em seu código. Decidiu-se, portanto, utilizar a versão antiga do MagnetViz para fins de teste com as uiGloves.

Para que a adaptação pudesse ser feita facilmente, criou-se a classe `uiGloveApp`, responsável por agrupar todas as demais classes e funções necessárias para o funcionamento das `uiGloves` nas aplicações de teste e também por repassar para o aplicativo alvo apenas o que fosse necessário. Tal construção foi feita sem grandes dificuldades, pois o código por trás das `uiGloves` é completamente modularizado, seguindo Padrões de Projeto e Implementação típicos da Engenharia de Software.

Terminada a construção da classe `uiGloveApp`, restava acoplá-la ao `MagnetViz`. Para isso, localizou-se a classe que provia os métodos de desenho da tela chamados pela OpenGL deste aplicativo e incluiu-se nela um objeto da classe integradora construída. A partir disso, bastou adicionar chamadas de métodos a regiões específicas de código do aplicativo alvo, conforme descrito a seguir:

- Inicialização da OpenGL: no método responsável por fazer a inicialização de variáveis e funções típicas da OpenGL, como iluminação, visualização de profundidade etc. foi adicionado um chamado ao método `inicializa()` da `uiGloveApp`. O método é o responsável pelo estabelecimento de conexão com o Wiimote – que deve estar já instalado e vinculado ao sistema operacional – e pela inicialização de variáveis próprias da classe integradora e das demais classes que contribuem para o funcionamento das `uiGloves`;
- Loop da OpenGL: no método chamado a cada desenho de frame pela OpenGL foi adicionada uma chamada ao método `loop()` do objeto integrador. O método é responsável por atualizar os dados providos pela biblioteca que interpreta o Wiimote e atualizar buffers e variáveis próprias das classes das `uiGloves`;
- Antes do desenho do grafo: após ser feito o desenho da grade que fica atrás do grafo no `MagnetViz` e antes do grafo em si ser desenhado, foi adicionada uma chamada ao método `aplicaTransformacoes()`. Esse método simplesmente introduz os chamados às funções `glTranslatef()` e `glRotatef()` da OpenGL, de acordo com os dados que foram lidos e interpretados pelas classes responsáveis pelas `uiGloves`. Inicialmente, a ideia era implementar métodos que retornassem apenas os valores de translação e rotação que se desejasse, mas como nesse caso todos os movimentos eram desejados, criou-se esse método que já aplicava diretamente as funções, muito embora a funcionalidade prevista inicialmente também seja simples de ser implementada.

Com apenas esses três passos, as `uiGloves` já podiam ser utilizadas para manipular um grafo aberto pelo `MagnetViz`. Adicionalmente, as configurações do aplicativo foram alteradas para que todos os *labels* dos nodos ficassem visíveis e, assim, o usuário soubesse qual nodo estava visualizando e quando ele havia chegado ao destino que desejava. Essa modificação, apesar de fornecer um teste mais conveniente ao usuário, deixou o sistema muito lento e, dessa forma, apenas foi viável trabalhar com grafos pequenos inicialmente. A Figura 5.1 mostra uma imagem do `MagnetViz` com um grafo aberto que foi manipulado pelas `uiGloves`.

Feita a integração, todos os movimentos que as `uiGloves` realizavam sobre os cubos das aplicações de teste poderiam ser feitos agora sobre o grafo aberto pelo aplicativo, exceto a rotação no eixo Y, pois o `MagnetViz` visualiza os grafos em 2D e uma modificação para 3D, apesar de ter sido tentada, não foi passível de ser alcançada devido, especialmente, à falta de tempo. Além disso, a manipulação pode ser feita no grafo como um todo e não em cada nodo. Para que os nodos pudessem ser manipulados

individualmente seria necessário empregar a tarefa de seleção prevista na primeira aplicação de teste e, então, fazer a chamada ao método `aplicaTransformacoes()` somente no momento de desenhar o nodo que tivesse sido selecionado inicialmente. Como isso demandaria a vinculação do cursor do mouse às `uiGloves` e, conseqüentemente, mais tempo de projeto e programação sobre o `MagnetViz`, tal tarefa foi deixada para ser implementada em trabalhos futuros.

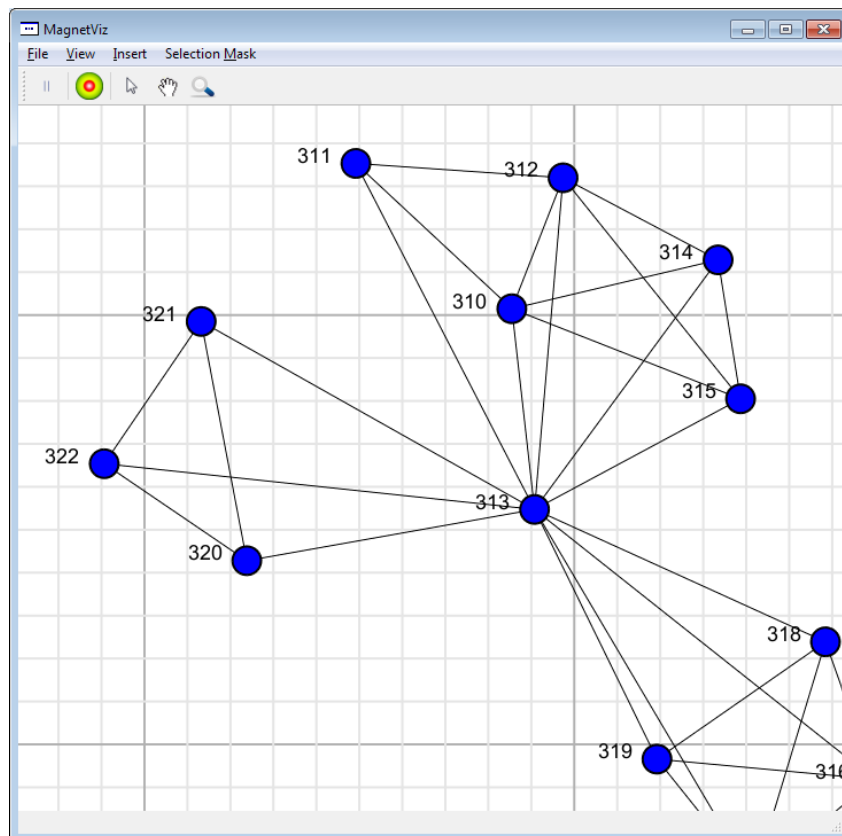


Figura 5.1: Um grafo no `MagnetViz` que foi manipulado com o auxílio das `uiGloves`.

Com as `uiGloves` funcionando no `MagnetViz`, uma ampla gama de possibilidades interativas torna-se disponível. Especialmente no que diz respeito à interação colaborativa, onde um usuário permanece sentado em frente ao computador e interage com o aplicativo normalmente, incluindo forças de atração e selecionando nodos específicos, enquanto outro usuário fica em pé em frente à mesma imagem do computador, mas projetada em uma tela grande, na qual ele navega pelo grafo com as opções de manipulação provida pelas `uiGloves`.

Adicionalmente, com a classe integradora `uiGloveApp` e os métodos providos por ela, uma integração com qualquer aplicação que se enquadre no escopo de uso das `uiGloves` se tornou viável com grande facilidade sem qualquer impacto negativo sobre ela, desde que a aplicação em questão utilize a `OpenGL` e tenha definidos os métodos de inicialização e `loop` próprios dessa biblioteca.

6 TESTES COM USUÁRIOS

Foram aplicados testes com usuários nas duas fases de construção desse trabalho, cada uma delas utilizando uma das aplicações desenvolvidas. Esse procedimento foi bastante conveniente, pois foi possível corrigir as principais falhas que as luvas apresentaram após a primeira fase de teste e, assim, chegar a um melhor resultado final, conforme constatado após a realização da segunda fase de testes.

Para a realização dos testes, foi construído um suporte para o Wiimote, utilizando uma antena de televisão antiga, um rolo vazio de papel alumínio e fita adesiva. O suporte foi mantido, na maioria das vezes, atrás da tela do notebook – equipamento que executou a aplicação de teste – e era regulado conforme a altura do usuário testador. A Figura 6.1 mostra uma imagem do suporte construído, que mantinha o Wiimote com a câmera voltada para o usuário cerca de 15cm abaixo dos ombros deste, de modo que ele pudesse levantar as mãos a uma altura que não lhe fosse muito desconfortável. O Wiimote ficava também a uma distância aproximada de 30 a 40cm das mãos do usuário quando com os braços flexionados, de modo que ele pudesse estender os braços e se aproximar da câmera com os LEDs sem que fosse necessário sair do lugar onde estava. O usuário foi alertado que deveria manter sempre as mãos no sentido vertical, de forma que os LEDs ficassem visíveis à câmera do Wiimote.



Figura 6.1: O suporte construído para manter o Wiimote em uma posição fixa.

Os testes foram aplicados de maneiras bastante semelhantes – sempre com o usuário de frente para a tela do computador ou projeção, com a câmera do Wiimote voltada para si, como mostra a Figura 6.2 –, mas, enquanto a primeira etapa serviu apenas para realmente testar o potencial das uiGloves, a segunda foi feita de forma mais criteriosa e contando com a participação do MagnetViz, para que pudesse ser avaliado o uso das luvas em sua motivação principal, que é a navegação em grafos. Seguem-se detalhes das duas fases de aplicações de testes, com suas respectivas metodologias.

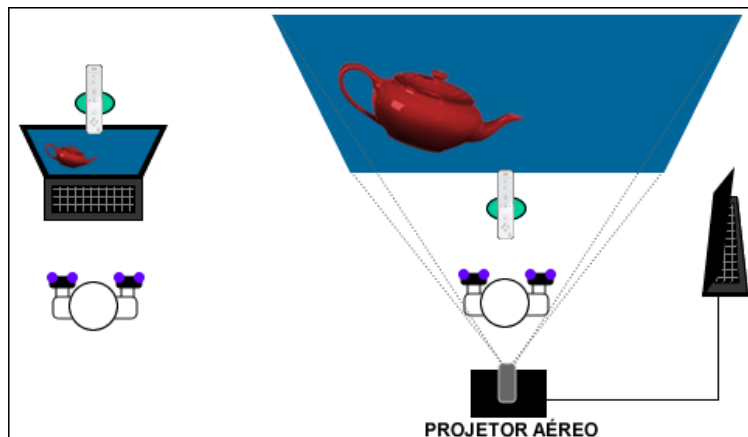


Figura 6.2: Disposição dos usuários, computador e suporte do Wiimote na execução dos testes. À esquerda, usuário realizando testes na tela do computador e, à direita, usuário realizando testes sobre uma tela projetada através de um projetor fixo no teto da sala.

6.1 Primeira Fase de Testes

Nessa etapa, foi solicitado aos usuários que movessem os cubos coloridos para os quadros de mesma cor, dispostos em locais diversos da tela, tanto com a versão que utiliza as uiGloves como ferramenta de interação quanto com a versão que utiliza o mouse para esse fim. Para o usuário saber quando o cubo chegou ao destino corretamente, o referido quadro fica branco, e quando todos os cubos estão em seus respectivos destinos, a interação é interrompida e uma mensagem de agradecimento é mostrada na tela.

Foi alternada entre os usuários qual a primeira versão que eles utilizaram, para que a ordem de versões utilizadas não atrapalhasse os resultados obtidos, ou seja, pudesse ser desconsiderada. Para ambos os métodos interativos, primeiramente o usuário foi instruído sobre como deveria proceder para realizar todos os movimentos necessários, bem como em que posição deveria ficar. O usuário também pôde escolher se utilizaria uma ou as duas luvas ao realizar o teste com as uiGloves, embora tivesse que vestir ambas. Além disso, para não ocorrer um favorecimento natural do mouse, devido à constância em que é utilizado para manipular aplicações de computador, no momento da execução da aplicação com essa ferramenta foi dado ao usuário um papel cartão bastante rígido para ser usado como suporte, ao invés de permitir que ele segurasse o mouse sobre uma mesa com apoio fixo.

Ao final das duas execuções, foi solicitado que o usuário preenchesse um questionário avaliativo, inserindo suas informações pessoais relevantes, como nome, idade e sexo, bem como sua experiência com computador e aplicativos 3D, e com suas opiniões sobre os atributos funcionais e não funcionais dos dois métodos de interação.

Uma cópia do questionário aplicado pode ser encontrada no Apêndice A. Fotos da aplicação dos testes estão dispostas na Figura 6.3.

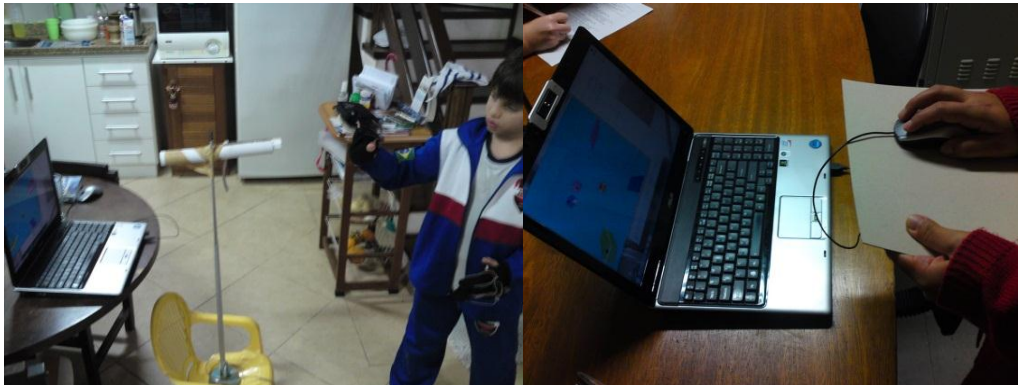


Figura 6.3: Execução da primeira fase de testes: um usuário utilizando as uiGloves, à esquerda, e outro o mouse, à direita.

Foram feitos testes com doze pessoas, 8 homens e 4 mulheres, com idades e ocupações diversas, de modo que nenhuma característica específica do grupo de testadores pudesse influenciar os resultados. A faixa etária entre os testadores foi entre 8 e 31 anos, com uma média de 23,66 e todos costumam utilizar o computador mais do que cinco vezes por semana, utilizando o mouse como ferramenta interativa. Ao final do teste, cada testador, além de um agradecimento efusivo, recebeu um bombom como recompensa pelo tempo dispendido em prol da ciência.

6.2 Segunda Fase de Testes

Na segunda fase de teste, os usuários foram testados em modalidades levemente diferenciadas. Como alguns dos testadores já haviam participado da primeira fase de teste, a esses não foi dada nenhuma instrução do que deveria ser feito e quais os gestos que teria de realizar com as uiGloves para alcançar os objetivos. Além disso, coube a cada testador escolher qual método interativo ele utilizaria primeiro, de forma a avaliar o interesse e predisposição dos usuários em utilizar as luvas. Oito deles escolheram iniciar os testes pelas uiGloves, ou seja, 40%.

Antes de o usuário ver a aplicação – mas após ele ter escolhido o método interativo que utilizaria – este foi informado que o objetivo dele era apenas levar os cubos até os lugares especificados pelos quadros de mesma cor, que poderiam estar em qualquer disposição na tela (alguns estavam normalmente em posição horizontal, mas outros estavam rotacionados no eixo Z e, inclusive, um deles estava rotacionado no eixo Y, para testar a nova possibilidade de rotação disponível). Quando o testador estava prestes a iniciar os testes com as uiGloves, foi informado a ele que era possível utilizar tanto uma mão quanto a outra ou as duas simultaneamente, exceto quando se fizesse necessária a realização de uma rotação no eixo Y, quando ele precisaria utilizar ambas as mãos necessariamente. Assim como na fase de testes anterior, o usuário não pôde apoiar o mouse em uma superfície fixa, tendo que segurá-lo sobre um apoio móvel, de forma a não favorece-lo.

Ao final das duas execuções da aplicação de teste, o usuário foi apresentado ao MagnetViz, já com um grafo aberto, e, então, foi questionado acerca de qual das duas ferramentas que ele havia recém manipulado ele utilizaria caso tivesse que navegar pelo grafo em questão. Caso a ferramenta escolhida fossem as uiGloves – a grande maioria

dos casos – o testador foi convidado a novamente vestir as luvas e a interagir com o grafo livremente e, após, questionado sobre sua opinião ao realizar tal interação – que foi favorável em todos os casos. Nos seis casos (30%) em que o mouse foi a ferramenta escolhida, o usuário foi dispensado, pois não é possível executar sobre o MagnetViz todas as manipulações providas pelas uiGloves com o mouse. A Figura 6.4 mostra fotos da execução da segunda fase de testes.

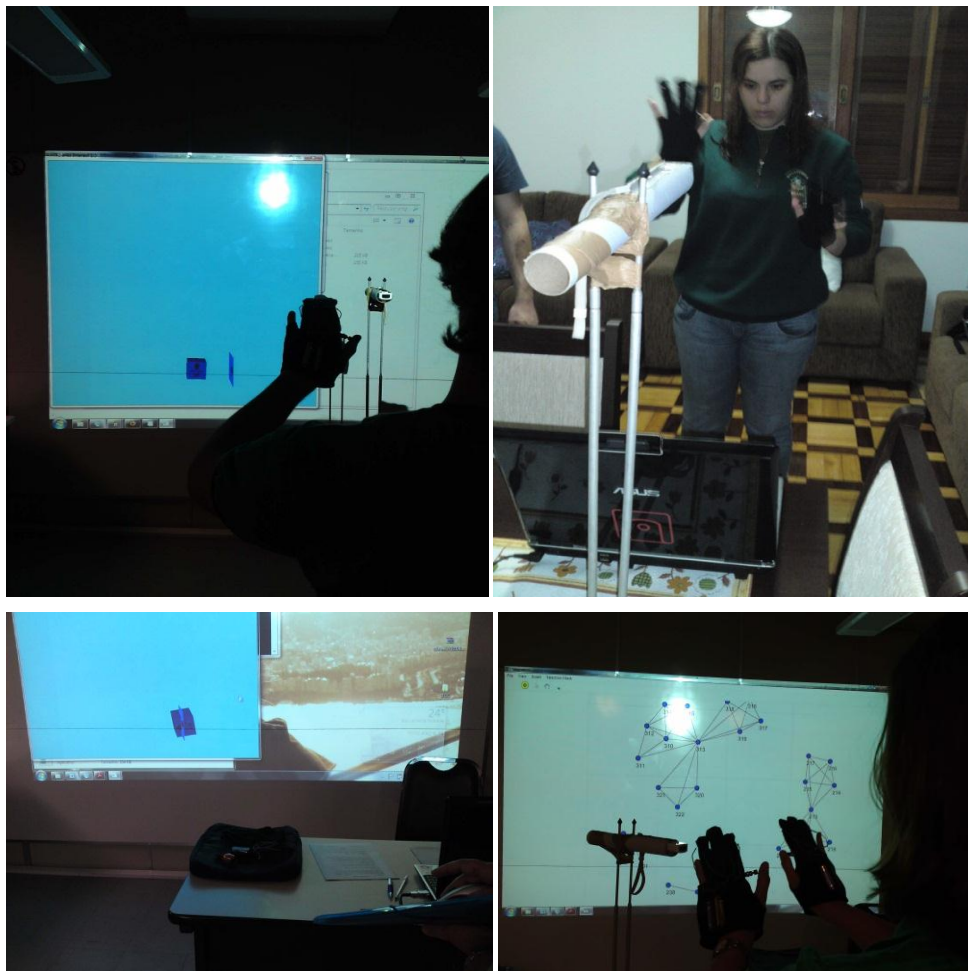


Figura 6.4: Segunda fase de testes: usuário utilizando as uiGloves em uma tela projetada (topo à esquerda); usuário utilizando as uiGloves em um notebook (topo à direita); usuário utilizando o mouse em uma tela projetada; e usuário utilizando as uiGloves para navegar em um grafo no MagnetViz.

Da mesma forma que nos primeiros testes, ao final das interações, foi solicitado aos testadores o preenchimento de um questionário bastante parecido com o anterior solicitando informações pessoais e específicas à execução dos testes (cujo modelo pode ser visto no Apêndice A) e, novamente, foram presenteados com um bombom, para acompanhar os agradecimentos.

Nessa segunda etapa, foram realizados testes com vinte usuários, sendo oito homens e doze mulheres, com idades variando de 20 a 56 anos e idade média de 29,6. Todos usuários testadores costumam utilizar o computador diariamente e sempre utilizam o mouse como ferramenta interativa. Adicionalmente, 90% dos usuários já utilizou algum mecanismo de interação 3D, como o Wiimote ou o PlayStation Move e 60% exerce atividade diretamente relacionada à Computação.

7 RESULTADOS

Conforme esperado, na primeira fase de testes, os usuários posicionaram os cubos muito mais rapidamente com o mouse do que com as uiGloves. Tal fato é bastante compreensível, considerando-se que o mouse é utilizado diariamente por todos os testadores para realizarem suas tarefas no computador e, além disso, as uiGloves haviam sido recém desenvolvidas e ainda precisariam ser aperfeiçoadas. No entanto, após serem feitas as modificações no projeto das luvas, e serem introduzidos os primeiros aprimoramentos, as uiGloves já se equipararam ao mouse, chegando a superá-lo em alguns casos. Para fins de maior clareza, os resultados obtidos também serão divididos em duas seções, correspondentes às duas etapas.

7.1 Primeiros Resultados

Os tempos de execução da versão que utiliza as uiGloves foram muito mais altos, inicialmente, mas, mesmo assim, o resultado foi bastante positivo desde a primeira fase, pois verificou-se que após o usuário adquirir um pouco de prática com as luvas, os movimentos foram executados com precisão muito maior, fazendo com que os cubos fossem levados aos seus lugares mais rapidamente. Como o tempo de utilização da aplicação de teste seria, em geral, bastante elevado, foi solicitado aos testadores que fizessem a execução apenas uma vez, à exceção de um testador, que primeiro apenas praticou com as luvas por alguns minutos e depois realizou o teste. Esse usuário teve os melhores tempos de alocação das caixas aos seus respectivos destinos, ficando bem abaixo da média dos demais testadores, que não tiveram a oportunidade de treinar previamente.

O tempo médio de execução da versão que utiliza o mouse foi de 4'39'', enquanto a versão que utiliza as uiGloves teve tempo médio de execução igual a 12'32''. O tempo médio de alocação de cada cubo foi de 1'10'' com o mouse e de 3'08'' com as uiGloves, com um desvio padrão médio de 0'58'' e 2'03''. O desvio padrão alto da versão que utiliza as uiGloves pode ser justificado pelo fator já mencionado, de que o testador melhora sua performance ao manipular as luvas no decorrer do tempo. A Figura 7.1 mostra as linhas de tempo de cada testador ao posicionar as quatro caixas em suas respectivas posições de destino, na qual é possível reparar que a maioria das linhas tem uma queda substancial após o posicionamento dos primeiros cubos, especialmente observando-se a linha preta, que representa a média dos tempos.

Indo ao encontro da análise estatística do tempo, grande parte dos testadores afirmou, verbalmente e/ou via comentários no questionário avaliativo, que suas dificuldades ao manipular as uiGloves foram mais concentradas no contato inicial e que, passados alguns minutos, a execução das tarefas se tornava mais fácil. Apesar disso, 100% dos usuários concordaram que a execução das tarefas foi mais rápida com o

mouse e 92% concordam que também foi mais fácil a execução dos testes via mouse (a Figura 7.2 mostra a determinação do grau de dificuldade das aplicações, de acordo com os usuários testadores). No entanto, 92% dos usuários afirmaram que as uiGloves foram mais intuitivas para realizar as interações e 100% deles concordaram que, com as luvas, o teste foi mais divertido.

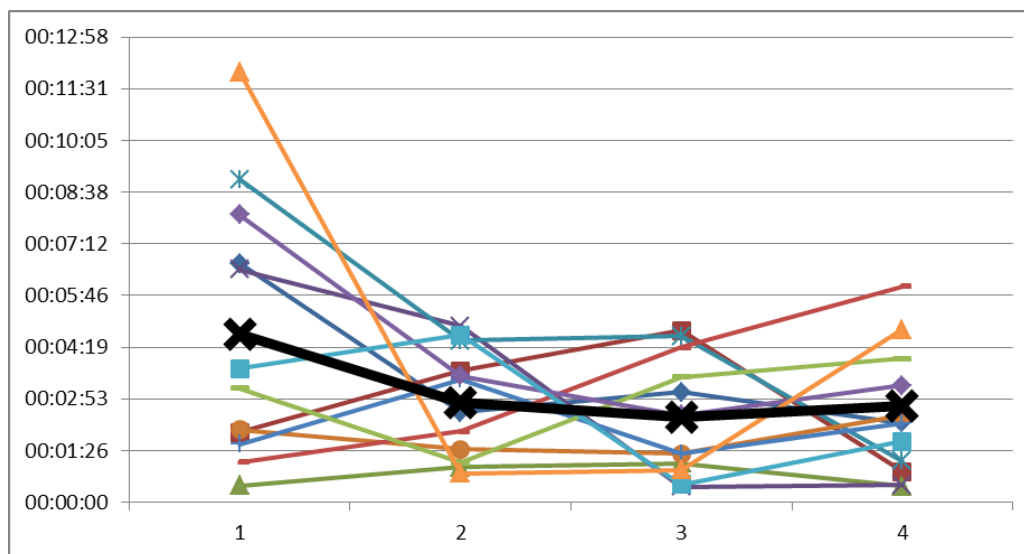


Figura 7.1: Curvas de tempo do posicionamento dos quatro cubos (numerados de 1 a 4) pelos testadores, na primeira fase de testes.

No que diz respeito à ergonomia, 33% dos testadores afirmou que as uiGloves são pouco confortáveis, enquanto 50% deles concordaram que elas são confortáveis e 17% acreditaram que elas são bastante confortáveis. Em relação ao mouse, 8% dos testadores achou-o muito desconfortável, 17% o acharam pouco confortável e 42% e 33% dos usuários o acharam confortável e bastante confortável, respectivamente. Já em relação à naturalidade da interação, todos os testadores afirmaram que as uiGloves são intuitivas (42%) ou muito intuitivas (58%), enquanto que 33% dos testadores acharam o mouse pouco ou nada intuitivo e apenas 25% o consideraram bastante intuitivo.

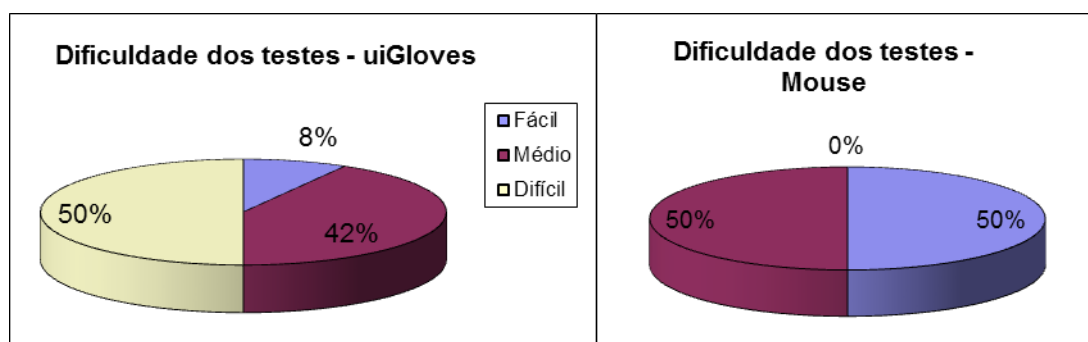


Figura 7.2: Grau de dificuldade da execução dos testes, de acordo com os testadores.

Por fim, 75% dos testadores afirmou que, caso existisse uma ferramenta comercial semelhante às uiGloves, adquiri-la-iam para substituir o mouse na execução de algumas tarefas. A grande maioria deles justificou que a interação com as luvas foi mais divertida, mais intuitiva e proveu maior liberdade para o usuário. Alguns deles colocaram que seria interessante utilizar a ferramenta ao interagir com jogos de computador, o que condiz com a teoria que afirma ser necessário encontrar uma *killer-application* para os novos mecanismos e métodos interativos que estão sendo

pesquisados e desenvolvidos atualmente, mas quiçá a área de jogos 3D venha a ser a solução para suprir tal necessidade (LAVIOLA, 2010).

7.2 Resultados Finais

Na segunda leva de testes aplicados, os resultados obtidos foram bem diferentes, indicando que as modificações no projeto das luvas realmente surtiram os efeitos desejados, ou seja, que elas ficaram mais acessíveis em termos de usabilidade. Nessa etapa, a maior parte dos usuários se entusiasmou com a resposta aos movimentos da *uiGloves*, especialmente ao utilizarem-nas para a navegação de um grafo no *MagnetViz*. Apesar de a média dos tempos com o mouse ainda ficarem abaixo da média dos tempos das luvas, a diferença entre elas diminuiu significativamente, especialmente em casos em que o usuário já havia experimentado as *uiGloves* anteriormente, estava acostumado a usar dispositivos de interação modernos, como o *Wiimote*, ou, ainda, não estavam habituados a utilizar o mouse em jogos de computador ou quaisquer aplicações que não as tradicionalmente utilizadas.

Os testadores levaram, em média, 6'47'' para posicionar todos os cubos da aplicação com o mouse, enquanto que com as *uiGloves* o tempo foi, em média, 10'03'', totalizando uma diferença de apenas 3'16'', tempo muito inferior aos quase oito minutos de diferença obtidos nos testes anteriores. Ao verificar os tempos médios de alocação de cada cubo aos seus respectivos lugares, a diferença é ainda menor, ficando em apenas 39 segundos; o tempo médio com o mouse foi de 1'21'', enquanto que com as *uiGloves* ficou em 2'01''. O desvio padrão médio desses tempos ainda ficou alto no que diz respeito às *uiGloves*, totalizando 1'51'', enquanto que, com o mouse, ficou em 0'45''. Todavia, dessa vez o valor alto não se deve tanto à evolução de aprendizado que o usuário adquire no decorrer do teste, mas, sim, devido a um dos cubos específicos, o quarto a ser posicionado, que precisava ser rotacionado no eixo Y, utilizando-se das duas *uiGloves*. Muitos usuários tiveram dificuldade ao executar esse movimento, pois eles acabavam por ocluir uma mão com a outra, causando mal entendimento da aplicação. A Figura 7.3 mostra o gráfico dos tempos de alocação de cada cubo por cada testador. Observando, ainda, a Figura 7.4, que mostra o gráfico dos tempos médios da alocação dos cubos, podemos perceber que os tempos ficam bem próximos, exceto no quarto ponto, onde a versão com as *uiGloves* possui um grande pico.

O gráfico da Figura 7.3 mostra claramente que o quarto cubo foi o que tomou mais tempo do usuário para ser alocado à região desejada. Observando, por exemplo, o ponto mais alto do ponto 4 no eixo horizontal e acompanhando a linha que segue tanto para a esquerda quanto para a direita, pode-se perceber que, muito embora o usuário representado tenha sido o que mais demorou para alocar o quarto cubo, ele foi mais rápido do que outros usuários na alocação dos outros cubos, o que mostra que o cubo em questão não obedece os mesmos padrões seguidos pelos demais, descaracterizando o desempenho dos usuários ao realizar os testes.

Se desconsiderarmos o tempo levado para posicionar o quarto cubo, os tempos levados pelos testadores com o mouse e com as *uiGloves* fica praticamente equivalente, com uma ínfima vantagem para o mouse. Os tempos totais marcam 5'20'' e 5'47'', respectivamente para o mouse e para as *uiGloves*, enquanto os tempos médios para a alocação de cada cubo ficam em 1'20'' e 1'27'' respectivamente, com desvios padrão de 0'44'' e 1'00''. O fato de o desvio padrão com as *uiGloves* cair quase um minuto, ficando muito próximo daquele obtido com o mouse, confirma que o influenciador foi o

posicionamento do quarto cubo para os resultados originais. A Figura 7.5 mostra o dito cubo em sua posição original e quando posicionado no local desejado.

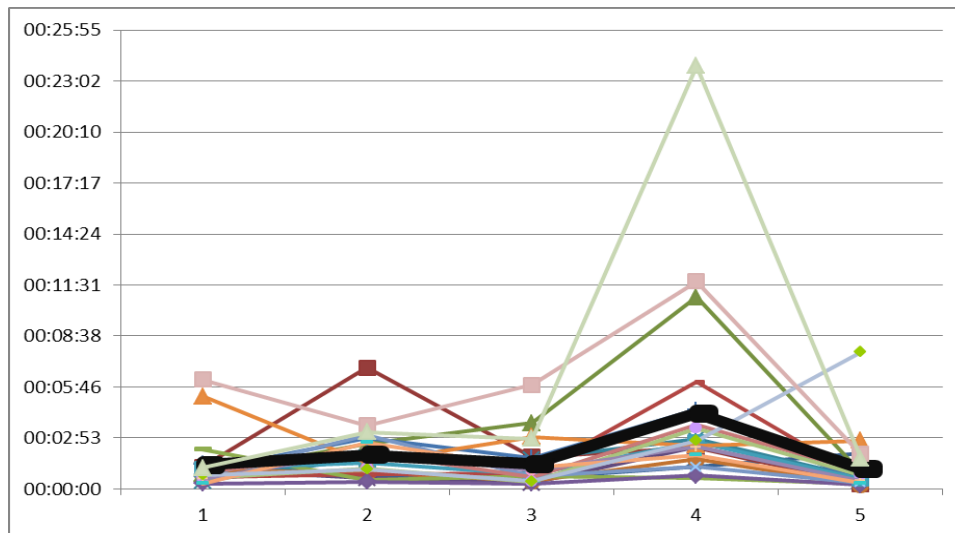


Figura 7.3: Gráfico dos tempos levados por cada usuário para alocar cada um dos cubos (numerados de 1 a 5) à posição desejada.

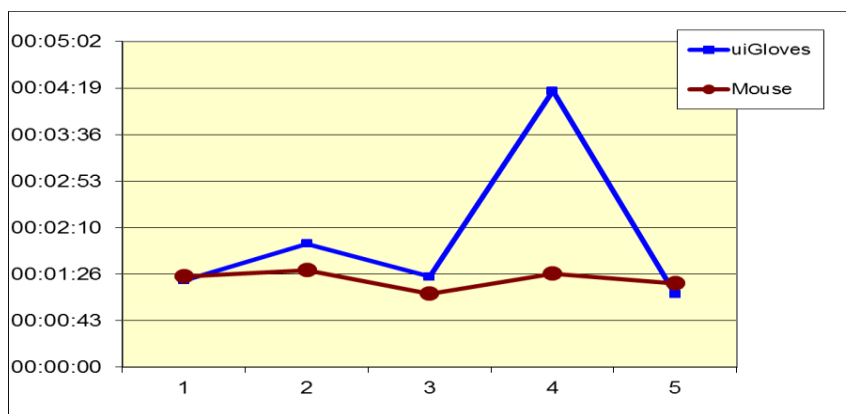


Figura 7.4: Gráfico da evolução de tempos médios para a alocação de cada cubo (numerados de 1 a 5) na segunda aplicação de teste.

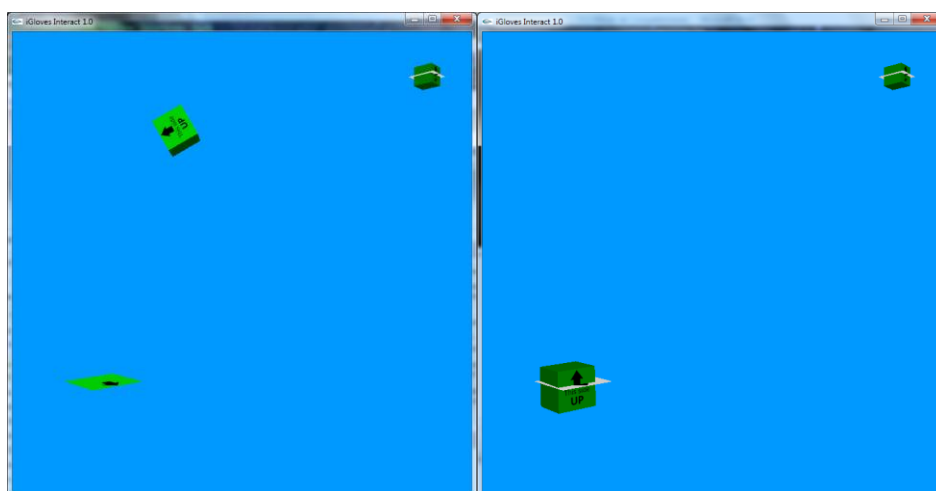


Figura 7.5: Cubo que devia ser rotacionado no eixo Y: em sua posição de origem (esq.) e na posição para a qual ele deveria ser movido.

Em relação às respostas fornecidas pelos testadores, aparecem outros fatores positivos para as uiGloves. Nessa etapa de testes, nenhum usuário classificou a execução dos testes com as luvas como “difícil”, enquanto que, com o mouse, 10% o classificaram dessa forma. Isso ocorre, principalmente, porque o mouse não apresenta a mesma versatilidade das luvas, tampouco é intuitivo, o que foi frisado por diversos dos testadores. 35% dos testadores considera o mouse pouco ou nada intuitivo, enquanto 90% deles atesta que as uiGloves são meio ou bastante intuitivas. Endossando tais resultados, 80% dos testadores considera as uiGloves mais intuitivas que o mouse e, novamente, todos os usuários acharam os testes mais divertidos com elas.

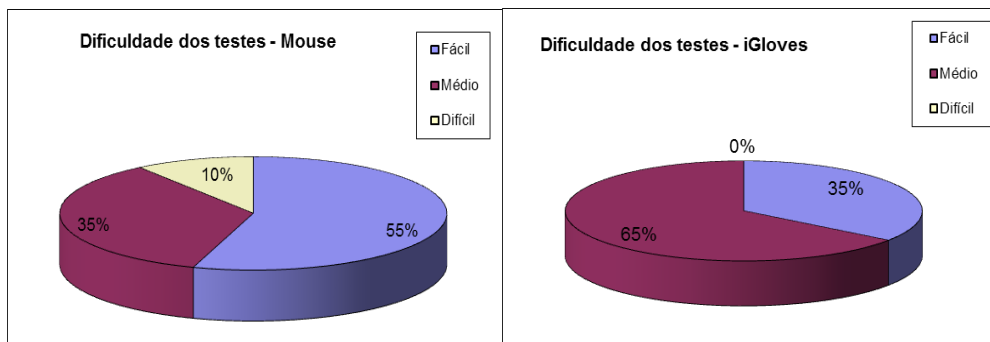


Figura 7.6: Grau de dificuldade de execução da aplicação com as duas ferramentas.

Além disso, diferentemente do que ocorrera na etapa anterior, alguns testadores consideram que as uiGloves são mais rápidas e mais fáceis de usar do que o mouse (30%). Isso fica comprovado na análise temporal, na qual 25% dos usuários levou menos tempo com as uiGloves do que com o mouse para executar as tarefas, o que também não havia ocorrido na primeira fase de teste. Adicionalmente, todos os testadores que já haviam participado da primeira avaliação consideram que a usabilidade das luvas aumentou e, inclusive, um testador que havia desistido na primeira etapa dos testes por não conseguir manipular as uiGloves conseguiu terminá-lo nessa fase (e ficou bem feliz por isso, por sinal). A Figura 7.6 traz o gráfico das dificuldades de execução da aplicação de acordo com os usuários.

Novamente, a maioria dos testadores afirmou que adquiriria uma ferramenta comercial semelhante às uiGloves caso ela fosse desenvolvida – dessa vez 85%. A maioria dos usuários também concorda que as uiGloves são um mecanismo mais indicado para a navegação em grafos (70%), e se mostraram satisfeitos com os resultados obtidos ao utilizá-las para interagir com o MagnetViz, sendo que os que preferiram o mouse o escolheram apenas por já estarem acostumados a utilizá-lo, mas concordaram que, após um treinamento, poderiam mudar de ideia e optar pelas luvas.

8 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Após a realização desse trabalho e, especialmente depois de terminada a análise de resultados dos últimos testes, considera-se que as uiGloves são uma ferramenta bastante indicada não apenas para a navegação em grafos, mas, também, para a manipulação de qualquer objeto 3D. No que diz respeito especificamente aos grafos, a ferramenta se mostra muito mais versátil e de fácil utilização, especialmente quando se está visualizando o grafo em uma tela muito grande ou por intermédio de um projetor e se quer realizar a navegação em pé, situação em que o mouse torna-se uma ferramenta desconfortável.

Voltando a mencionar o filme *Minority Report*, no qual a interação é justamente feita em pé sobre uma tela grande, semitransparente (Figura 1.1), poder-se-ia dizer que a funcionalidade provida pelas uiGloves vai ao encontro daquela vista no filme, muito embora, é claro, não em um nível tão grande de sofisticação. Em uma analogia sem qualquer pretensão, a Figura 8.1 mostra as uiGloves sendo utilizadas de uma maneira semelhante à vista no filme supracitado.



Figura 8.1: Criador e criatura – as uiGloves sendo utilizadas sobre uma projeção.

Acredita-se que a ferramenta tem bastante potencial e que, especialmente, cumpre com os objetivos iniciais de ser uma ferramenta de interação natural – ao menos mais natural que o mouse, conforme visto nos testes – e de baixo custo, tendo em vista a baixa quantia investida na construção do produto. Ao utilizá-la para interagir com o MagnetViz ficou claro que as luvas estão um pouco distantes do que seria necessário para se ter um bom mecanismo de navegação em grafos, especialmente porque não é possível mover um nodo separadamente, o que é uma tarefa bastante comum quando se

deseja manipular esse tipo de ferramenta. No entanto, as *uiGloves* se adequariam perfeitamente à tarefa de navegar pelo grafo como um todo, ao se navegar em um grafo hipotético onde os nodos representam pontos de referência em uma cidade e as arestas representam ruas, por exemplo, e se quer descobrir qual o caminho que deve ser feito de um ponto até outro.

Para trabalhos futuros, pensa-se em uma adaptação das luvas para que não seja mais necessário o uso do *Wiimote*, utilizando técnicas de processamento de imagens e uma câmera (preferencialmente, de alta definição) para tanto. Dessa forma, além de o custo da ferramenta diminuir consideravelmente, visto que uma câmera custa menos que um controle de *Wii* – ao menos no mercado brasileiro – aumentar-se-ia a acessibilidade dela, tendo em vista que o número de pessoas que possuem uma *webcam* – especialmente ao constatar que a maioria dos notebooks sendo fabricados já vem com uma embutida – é provavelmente muito maior do que o das que possuem um *Wiimote*.

Além disso, também há o desejo de se efetuar testes com usuários diretamente no *MagnetViz*, determinando nodos que devem ser localizados em um grafo complexo e analisando os tempos que os usuários levam para encontra-los. Dessa forma, será possível constatar se realmente as *uiGloves* são uma ferramenta indicada para a atividade de navegação em grafos, como os resultados iniciais levam a acreditar.

Muito embora prever o futuro seja uma tarefa desaconselhável – especialmente na área da computação, na qual tantas previsões já falharam – pode-se arriscar dizer que a interação natural estará cada vez mais presente no cotidiano do ser humano. Mesmo que hoje a tecnologia mais avançada disponível – que não é popularmente acessível – já não é capaz de suportar o reconhecimento de gestos de forma totalmente precisa, não se pode afirmar que o quadro não será alterado amanhã. Entretanto, para que isso aconteça é providencial que pesquisas na área de Interação Humano-Computador continuem sendo realizadas, especialmente aquelas que busquem alternativas de baixo custo. Assim, em um futuro próximo, todos os usuários de computadores poderão realizar suas tarefas no universo digital da mesma forma que as realizariam no mundo real; e sem pagar caro por isso.

REFERÊNCIAS

SPRITZER, A. **MagnetViz: Design and Evaluation of a Physics-based Inter-action Technique for Graph Visualization**. 2009. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Instituto de Informática, UFRGS, Porto Alegre.

WINGRAVE, C. et al. The Wiimote and Beyond: Spatially Convenient Devices for 3D User Interfaces. **IEEE Computer Graphics and Applications**, EUA, v.30, n.9, p 71-85, março/abril 2010.

HOFFMAN, M. VARCHOLIK, P. LAVIOLA, J. Breaking the Status Quo: Improving 3D Gesture Recognition with Spatially Convenient Input Devices. **IEEE Virtual Reality**, EUA, p 59-66, março 2010.

WILLIAMSON, B. WINGRAVE, C. LAVIOLA, J. REALNAV: Exploring Natural User Interfaces for Locomotion in Video Games. **IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)**, EUA, p 3-10, março 2010.

OSAWA, N. ASAI, K. SUGIMOTO Y. Y. Immersive Graph Navigation Using Direct Manipulation and Gestures. **Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology**, EUA, p 147-152, 2000.

EADES, P. HUANG, M. L. Navigating Clustered Graphs using Force-Directed Methods. **Journal of Graph Algorithms and Applications**, EUA, v.4, n.3, p 157-181, 2000.

HERMAN, I. MELANÇON, G. MARSHALL, M. S. Graph Visualization and Navigation in Information Visualization: a Survey. **IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics**, EUA, v.6, n.1, p 24-43, janeiro 2000.

SPRITZER, A. FREITAS, C. M. D. S. Design and Evaluation of MagnetViz - a Graph Visualization Tool. **IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics**, n.p. EUA, 2009.

CHOUMANE, A. CASIEZ, G. GRISONI, L. Buttonless Clicking: Intuitive Select and Pick-release Through Gesture Analysis. **IEEE Virtual Reality**, EUA, p 67-70, maio 2010.

TOLOSA, J. B., GAYO J. E. L. Visualization, Navigation and Edition of Graph Structured Semantic Information. Disponível em <http://www.josebarranquero.com/papers/VNEGSSI.pdf> >. Acesso em: outubro 2010.

LAVIOLA, J. From Research To Games: Interacting With 3D Space. **Gamasutra Feature Articles**, abril 2010. Disponível em <http://www.gamasutra.com/view/feature/4331/from_research_to_games_.php>. Acesso em: abril 2010.

ZACARIAS, M. Estudo de Interações em Jogos de Ritmo utilizando o MoonBunny. Vimeo do Instituto de Informática da UFRGS, junho 2009. Disponível em <<http://vimeo.com/groups/cgufrgs/videos/5214697>>. Acesso em: abril 2010.

APÊNDICE A: QUESTIONÁRIOS DE AVALIAÇÃO

<u>Questionário de Avaliação</u>	
<u>Dados Pessoais:</u>	
- Nome:	_____
- Sexo:	() M () F
- Faixa etária	() 1-11 () 12-18 () 19-30 () 31-50 () acima de 50
- Telefone(s) para contato:	_____
- Quantos dias por semana utiliza o computador?	_____
	() Diariamente () 6 () 5 () 4 () 3 () 2 () 1 () Nunca utilizou.
- Costuma utilizar o mouse como ferramenta interativa?	() Sim () Não
- Já interagiu com aplicações 3D alguma vez?	() Sim () Não
- Se sim, utilizou qual dispositivo?	_____

<u>Dados do Teste:</u>	
<u>Sobre a execução via mouse:</u>	
- Como foi a execução do teste?	() fácil () intermediária () difícil
- Os cubos executaram bem os movimentos desejados?	() Sim () Não
- Alguma dificuldade encontrada?	() Sim () Não
- Se sim, qual?	_____

- Em relação à naturalidade dos comandos efetuados, a execução do teste foi:	_____
	() bastante intuitiva () intuitiva () pouco intuitiva () nada intuitiva
- Em relação à ergonomia da ferramenta de interação, a execução do teste foi:	_____
	() bastante confortável () confortável () pouco confortável () nada confortável
<u>Sobre a execução via iGloves:</u>	
- Como foi a execução do teste?	() fácil () intermediária () difícil
- Os cubos executaram bem os movimentos desejados?	() Sim () Não
- Alguma dificuldade encontrada?	() Sim () Não
- Se sim, qual?	_____

- Em relação à naturalidade dos comandos efetuados, a execução do teste foi:	_____
	() bastante intuitiva () intuitiva () pouco intuitiva () nada intuitiva
- Em relação à ergonomia da ferramenta de interação, a execução do teste foi:	_____
	() bastante confortável () confortável () pouco confortável () nada confortável
- Na execução do teste, você utilizou, na maior parte do tempo:	() 1 mão () 2 mãos
- Na execução do teste, foi mais fácil utilizar:	() 1 mão () 2 mãos
- Que vantagens e/ou desvantagens existem, na sua opinião, no uso das duas luvas simultaneamente para a execução do teste?	_____

<u>Questões gerais:</u>	
- A execução do teste foi:	_____
a) mais fácil com:	() o mouse () as iGloves
b) mais rápida com:	() o mouse () as iGloves
c) mais intuitiva com:	() o mouse () as iGloves
d) mais divertida com:	() o mouse () as iGloves
- Se houvesse um produto comercial semelhante às iGloves para substituir o mouse na execução de algumas tarefas, você o compraria?	() Sim () Não
- Por que?	_____

Comentários que achar relevantes (opcional): _____	

Figura 1: Primeiro questionário de avaliação.

Questionário de Avaliação

Dados Pessoais:

Nome: _____
 Idade: _____ Sexo: () M () F () Destro(a) () Canhoto(a)
 Telefone(s) para contato: _____
 Qual sua ocupação atual? Se estudante, qual curso? _____

Quantos dias por semana utiliza o computador?
 () Diariamente () 6 () 5 () 4 () 3 () 2 () 1 () Nunca utilizou.
Costuma utilizar o mouse ao utilizar o computador? () Sim () Não
Já interagiu com aplicações 3D alguma vez (e.g. Wii, Vôlei do MCT etc.)? () Sim () Não
 Se sim, utilizou algum dispositivo? Qual? _____

Dados do Teste:

Sobre a execução via MOUSE:

- Como foi a execução do teste? () fácil () intermediária () difícil
- Os cubos executaram bem os movimentos desejados? () Sim () Não
- Alguma dificuldade encontrada? () Sim () Não
- Se sim, qual? _____
- Em relação à naturalidade dos comandos efetuados, a execução do teste foi:
 () bastante intuitiva () intuitiva () pouco intuitiva () nada intuitiva
- Em relação à ergonomia da ferramenta de interação, a execução do teste foi:
 () bastante confortável () confortável () pouco confortável () nada confortável
- Qual a maior dificuldade encontrada? _____

Sobre a execução via iGLOVES:

- Como foi a execução do teste? () fácil () intermediária () difícil
- Os cubos executaram bem os movimentos desejados? () Sim () Não
- Alguma dificuldade encontrada? () Sim () Não
- Se sim, qual? _____
- Em relação à naturalidade dos comandos efetuados, a execução do teste foi:
 () bastante intuitiva () intuitiva () pouco intuitiva () nada intuitiva
- Em relação à ergonomia da ferramenta de interação, a execução do teste foi:
 () bastante confortável () confortável () pouco confortável () nada confortável
- Na execução do teste, você utilizou, na maior parte do tempo: () 1 mão () 2 mãos
- Na execução do teste, foi mais fácil/confortável utilizar: () 1 mão () 2 mãos
- Qual a maior dificuldade encontrada? _____
- Que vantagens e/ou desvantagens existem, na sua opinião, no uso das duas luvas simultaneamente para a execução do teste? _____

Questões gerais:

- A execução do teste foi:
 - a) mais fácil com: () o mouse () as iGloves
 - b) mais rápida com: () o mouse () as iGloves
 - c) mais intuitiva com: () o mouse () as iGloves
 - d) mais divertida com: () o mouse () as iGloves
- Se houvesse um produto comercial semelhante às iGloves para substituir o mouse na execução de algumas tarefas, você o compraria? () Sim () Não
 Por que? _____

Comentários que achar relevantes (opcional): _____

OBRIGADO! =)

Não preencher	
[] Segunda vez	[] Pré-instrução
[] Primeiro iGloves	[] Magnetviz com iGloves

Figura 2: Segundo questionário de avaliação