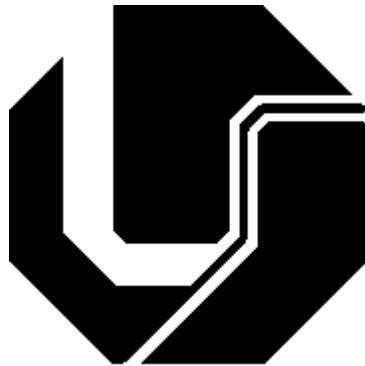


**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**



**Proposta de Integração de Dispositivos no Aprimoramento da
Interação em Ambientes Virtuais**

Vanessa Avelino Xavier de Camargo

Fevereiro

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

C172p
2017 Camargo, Vanessa Avelino Xavier de, 1990-
Proposta de integração de dispositivos no aprimoramento da
interação em ambientes virtuais / Vanessa Avelino Xavier de Camargo. -
2017.

77 f. : il.

Orientador: Alexandre Cardoso.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.

Inclui bibliografia.

1. Engenharia elétrica - Teses. 2. Interfaces de usuário (Sistema de
computador) - Teses. 3. Interação homem-máquina - Teses. 4. Realidade
virtual - Teses. I. Cardoso, Alexandre, 1964- II. Universidade Federal de
Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. III.
Título.

CDU: 621.3

Proposta de Integração de Dispositivos no Aprimoramento da Interação em Ambientes Virtuais

Vanessa Avelino Xavier de Camargo

Texto apresentado à Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Prof. Alexandre Cardoso, Dr.

Orientador

Prof. Alexandre Cardoso, Dr.

Coordenador do curso de Pós-Graduação

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**Proposta de Integração de Dispositivos no Aprimoramento da Interação em
Ambientes Virtuais**

Vanessa Avelino Xavier de Camargo

Texto apresentado à Universidade Federal de Uberlândia, perante a banca de examinadores abaixo, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Banca Examinadora:

Prof. Alexandre Cardoso, Dr. – Orientador (UFU)

Prof. Ismar Frango, Dr. – Mackenzie

Prof. Renato Aquino Lopes, Dr. – UFU

Agradecimentos

À Deus, pela vida e pela oportunidade concebidas.

Aos meus pais, pela educação que me deram, pelo apoio incondicional em todos os momentos da minha trajetória.

À minha irmã, Clarissa, por ser um exemplo no qual me inspiro.

Ao meu namorado, Nelson, por aceitar minhas decisões e me apoiar nessa mudança para Uberlândia.

Aos meus amigos do Lab-CG UFU, pela amizade, pelas risadas e por todos os momentos compartilhados nessa longa jornada.

Ao meu orientador Professor Alexandre Cardoso, por todo auxílio, orientação e ensinamentos que compartilhou comigo.

A todos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, em especial aos professores e à secretária Cinara Fagundes, pela atenção dada.

O meu muito obrigada!

Resumo

Diante do emergente desenvolvimento de dispositivos inovadores e de baixo custo para jogos, uma recente iniciativa de pesquisa para explorar essa tecnologia de Interface Natural do Usuário (INU) e Realidade Virtual (RV) foi identificada. Nesse contexto, esse trabalho apresenta uma proposta de integração de dois periféricos de entrada natural (Microsoft Kinect e Razer Hydra) com o intuito de melhorar o retorno da interação em ambientes virtuais. O Kinect é um dispositivo não-vestível que oferece rastreamento de corpo livre para uma grande área de aplicações em diversos campos do conhecimento. O controle Hydra, por sua vez, é um sensor relativamente novo, o qual ainda não teve suas inúmeras capacidades suficientemente exploradas. As principais características relacionadas ao *design* de Interação Natural foram descritas de forma a prover a compreensão e acesso ao estado da arte dessa linha de pesquisa. Um sistema híbrido, composto por um dispositivo de rastreamento do corpo inteiro e por um controle que permite seis graus de liberdade de movimento, foi desenvolvido como prova de conceito a fim de avaliar a proposta e analisar os desafios e possíveis aplicações futuras. Os resultados mostraram que a estratégia de integração endossa a hipótese de ganho de qualidade de interação.

Palavras-chave: Interação Natural, dispositivos, Kinect, Razer Hydra, sistema híbrido, integração.

Abstract

Due to the increasing development of innovative and low-cost devices for games, a recent research initiative to explore this technology on Natural User Interface (NUI) and Virtual Reality (VR) applications has been identified. Thus, this work presents an approach to combine two input devices (Microsoft Kinect and Razer Hydra) to enhance the interaction feedback within virtual environments. Microsoft Kinect offers non-wearable tracking with a wide range application in different fields of research. The controller Razer Hydra, on the other hand, is a relatively new sensor which hasn't had its full capabilities explored yet. The main characteristics related to NUI design were described to comprehend the state-of-art of interaction techniques and related works. A hybrid system composed by a full-body tracking device – Microsoft Kinect – and a hand-held six degrees-of-freedom motion controllers – Razer Hydra – was developed as a proof of concept to evaluate this approach and analyzes its challenges and possible further applications. Results have shown that the proposed integration endorses the hypotheses of interaction improvement.

Keywords: Natural User Interaction, devices, Kinect, Razer Hydra, hybrid system, integration.

Publicações

A seguir, são apresentadas as publicações resultantes deste trabalho.

CAMARGO, V. A. X.; RIBEIRO, M. W. S.; CAMARGO, C. A. X.; RAIMANN, E.; ARANHA, R.V.; FLEURI, G.B; CORREA, D.F.; MORAES, P.H.F.; CARDOSO, A.; LAMOUNIER, E. Potencializando aspectos de Interação Natural por meio de dispositivos multissensoriais. In: Tendências e Técnicas em Realidade Virtual e Aumentada, v.6, p. 84-103, Junho, 2016. ISSN 2177-6776

CAMARGO, V. A. X.; CARDOSO, A.; MORAES, I. A.; LAMOUNIER, E. Integrating Microsoft Kinect and Razer Hydra to Improve Natural Interaction in Virtual Environments In: Workshop de Realidade Virtual e Aumentada (WRVA 2015), 2015, Presidente Prudente. Livro dos Anais. Presidente Prudente: Cultura Acadêmica, 2015. p.60 – 65

CAMARGO, V. A. X.; CARDOSO, A.; MORAES, I. A.; LAMOUNIER, E. An Approach to Virtual Environment Interaction Combining Microsoft Kinect and Razer Hydra In: CSCI'15 The 2015 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence, 2015, Las Vegas (aceite).

Sumário

Lista de Figuras	11
Lista de Tabelas e Gráficos	12
Lista de Abreviaturas	13
Introdução	14
1.1 Motivação	14
1.2 Objetivos e metas	17
1.3 Organização da Dissertação	18
Fundamentos.....	19
2.1 Introdução	19
2.2 Interação.....	19
2.2.1 Interação Natural	20
2.2.2 Técnicas de interação.....	26
Trabalhos Correlatos.....	31
3.1 Introdução	31
3.2 Metodologia de Análise.....	31
3.3 Trabalhos Avaliados.....	32
3.3.1 Adapting a Cheap Game Controller as a Natural 3D Input	32
3.3.2 Interactive Breadboard Activity Simulation (IBAS) for Psychomotor Skills Education in Electrical Circuitry	33
3.3.3 Virtual Experiment System (VES) for Electrician Training based on Kinect and Unity3D	36
3.3.4 RUIS - A Toolkit for Developing Virtual Reality Applications with Spatial Interaction	37
3.4 Resumo Comparativo dos Trabalhos Analisados	40

Arquitetura e Especificação do Sistema	43	
4.1	Introdução	43
4.2	Arquitetura	43
4.2.1	Dispositivos	43
4.2.2	Camada de Integração	44
4.2.3	Camada de Comunicação	44
4.2.4	Ambiente Virtual (AV)	44
4.3	Tecnologias de Apoio.....	44
4.3.1	3ds Max	45
4.3.2	Unity®	45
4.3.3	Middlewares e Plug-ins	46
4.4	Considerações finais.....	49
Detalhes da Implementação e Funcionamento do Sistema	50	
5.1	Introdução	50
5.2	Estrutura do protótipo.....	50
5.2.1	Interface gráfica	50
5.2.2	Configuração e fluxo de trabalho.....	51
5.3	Rastreamento e Interação	53
5.3.1	Navegação no Ambiente Virtual	54
5.3.2	Seleção e Manipulação dos objetos.....	55
5.3.3	Menu virtual.....	55
5.4	Considerações finais	56
Avaliação Experimental	57	
6.1	Introdução	57
6.2	Metodologia para Avaliação Experimental	57
6.2.1	Definição dos participantes, hipóteses e variáveis	57
6.2.2	Escolha do método experimental e da análise estatística.....	59
6.2.3	Testes e coleta dos dados	60
6.3	Considerações finais	61

Análise dos Resultados	62
7.1 Introdução	62
7.2 Análise da variável Tempo.....	62
7.3 Análise da variável Usabilidade	65
7.4 Considerações finais	69
Conclusões e Trabalhos Futuros	70
8.1 Introdução	70
8.2 Conclusões.....	70
8.3 Trabalhos Futuros	70
Referências Bibliográficas	
Apêndice 1	
Apêndice 2	

Lista de Figuras

Figura 1 Técnicas de rastreamento do corpo humano (Figueiredo, Souza, Simões, Roberto, & Teichrieb, 2012)	22
Figura 2 Kinect para Xbox 360 [®] (MICROSOFT, 2011)	23
Figura 3 Kinect para Windows [®] (MICROSOFT, 2011)	23
Figura 4 Visão interna do Kinect [®] (MICROSOFT, 2011)	23
Figura 5 Razer Hydra (Razer, 2014).....	25
Figura 6 Cena virtual desenvolvida (Azmi, Wyvill, & Knott, 2014)	33
Figura 7 Sistema IBAS (Parmar, Bertrand, Shannon, Babu, & Madathil, 2014)	35
Figura 8 Ambiente virtual do IBAS (Parmar, Bertrand, Shannon, Babu, & Madathil, 2014) ...	35
Figura 9 Instância da Máquina de Estados Finito desenvolvida (Liao & Qu, 2013)	36
Figura 10 Operações de seleção (à esquerda) e navegação (à direita) do protótipo (Liao & Qu, 2013).....	37
Figura 11 Arquitetura do toolkit (Takala, 2014)	39
Figura 12 Demo TurboTuscany (Takala, 2014)	40
Figura 13 Arquitetura do Sistema.....	43
Figura 14 Arquitetura do MiddleVR (MiddleVR, 2015)	49
Figura 15 Interface principal.....	51
Figura 16 Configuração do arquivo HydraKinect	53
Figura 17 Configuração do arquivo RazerHydra	53
Figura 18 Interface do script VRManager	54
Figura 19 Modelo da mão virtual	55
Figura 20 Relatório gerado pelo Teste t pareado para a variável Tempo	64
Figura 21 Relatório gerado pelo Teste t pareado para a variável Usabilidade	68

Lista de Tabelas e Gráficos

Tabela 1 Especificações do Kinect	24
Tabela 2 Comparação de Sensores.....	26
Tabela 3 Quadro comparativo entre os trabalhos correlatos	41
Tabela 4 Contribuição desta pesquisa	41
Tabela 5 Sugestões de métodos estatísticos (adaptado de (Dix, Finlay, Abowd, & Beale, 2004))	60
Tabela 6 Análise do tempo dispendido para completar a tarefa.....	62
Tabela 7 Resultados obtidos após aplicação do teste SUS para o nível Hydra	67
Tabela 8 Resultados obtidos após aplicação do teste SUS para o nível Kinect+Hydra	67
Gráfico 1 Distribuição das diferenças da variável Tempo	65
Gráfico 2 Distribuição das diferenças da variável Usabilidade.....	68

Lista de Abreviaturas

API	<i>Aplication Programming Interface</i>
IHC	Interação Homem-Computador
IN	Interface Natural
NUI	Natural User Interface
RV	Realidade Virtual
SDK	<i>Software Development Kit</i>
SRV	Sistema de Realidade Virtual

Capítulo 1

Introdução

1.1 Motivação

As pessoas se comunicam naturalmente por meio de gestos, expressões, movimentos, e descobrem o mundo olhando a sua volta e manipulando objetos. Deste modo, pesquisadores da área de Interação Homem-Computador (IHC) vem desenvolvendo, ao longo dos últimos 20 anos, uma gama de novas interfaces que divergem do paradigma de janelas, ícones, menus e ponteiros (WIMP) (Jacob, 2008). Uma dessas interfaces é conhecida como Interação Natural do Usuário (ou em inglês, Natural User Interface – NUI), cuja premissa é permitir que usuários interajam com a tecnologia da mesma forma como estão acostumados a interagir com o mundo real, de acordo com o que a evolução e a educação os ensinaram (Valli A. , 2008). Efetivamente, essa definição inclui qualquer atividade ou comportamento humano, como gestos, manipulação de objetos físicos, manipulação de objetos virtuais, expressões faciais, movimento de corpo, linguagem falada, linguagem de sinais e metáforas do mundo real (Iacolina, 2010), (Jain, Lund, & Wixon, 2011).

Segundo Liu (Liu, 2010), a Interface Natural possui como características principais:

- Design centrado no usuário: o usuário é participante ativo e o computador deve responder às diferentes necessidades e ações do mesmo;
- Multicanal: múltiplos canais sensoriais e motores para capturar as características complementares da intenção do usuário, a fim de aumentar a naturalidade da interação humano-computador;
- Inexatidão: as ações e pensamentos das pessoas muitas vezes são imprecisos e o computador deve ser capaz de compreender as requisições do usuário, inclusive corrigir seus erros;
- Alta largura de banda: a entrada e compreensão de voz e imagem requerem importação rápida de grandes quantidades de dados;

- Interação baseada em voz: áreas como reconhecimento e síntese de voz aproximam a linguagem do computador e a linguagem natural do usuário;
- Interação baseada em imagem: pode ser dividida em processamento, reconhecimento e percepção da imagem, todos voltados à extração de informações e reação do sistema;
- Interação baseada em comportamento: o computador deve reconhecer o comportamento humano através de características de posicionamento, controle, movimento e expressão de partes do corpo, para compreender a ação humana e responder ao processo (*feedback*).

Jacob (Jacob, 2008) apresenta a definição de Interação Baseada na Realidade (em inglês, Reality-Based Interaction – RBI) como uma estratégia de *design* que aumenta o realismo dos objetos e permite ao usuário interagir mais diretamente com eles – a partir de ações que correspondem a práticas do cotidiano no mundo não-digital. Alguns exemplos dessas interfaces pós-WIMP são: Realidade Virtual, Realidade Aumentada, Realidade Mista, interfaces tangíveis, computação ubíqua ou pervasiva, computação sensível ao contexto, interfaces móveis, computação perceptual e afetiva, bem como interação leve, tácita e passiva.

Indústrias de hardware vêm desenvolvendo uma diversidade de dispositivos de entrada que tornam este tipo de interface possível, e conseqüentemente, novos campos de aplicação estão emergindo. Nintendo Wii Remote, Playstation Move, Microsoft Kinect e Razer Hydra são exemplos de dispositivos que empregam o reconhecimento de gestos para promover uma interação mais natural que a dos dispositivos considerados comuns (mouse e teclado). Pesquisadores de diferentes áreas, como educação, simulação, reabilitação, treinamento, etc., estão aproveitando-as e comprovando sua eficácia e limitações.

O Wii Remote, o PS Move e o Hydra são sistemas para jogos de movimento, os quais funcionam com controles baseados em acelerômetros e giroscópios para detectar inclinação, rotação e aceleração (Rouse, 2011). Alternativamente, o Kinect possibilita interações entre usuário e jogo sem a necessidade de segurar um controle (Han, Shao, Xu, & Shotton, 2013). Desde seu lançamento, em 2010, ele se tornou bastante popular entre jogadores e pesquisadores, os quais estão tirando o máximo proveito de suas funcionalidades.

A partir das características da Interação Natural, especialmente aquelas relacionadas ao *design* centrado no usuário e interface multicanal, foi levantada a hipótese de que a

integração de dois desses dispositivos possibilitaria aperfeiçoar a naturalidade da interação em ambientes virtuais 3D, contornando as limitações de cada um deles.

Os dados de movimento do Kinect – mesmo com suas limitações – são adequados para o estabelecimento de relações espaciais de granulação grossa como apontamento, modelagem de gestos, e representação de gestos contínuos. Controles como o Hydra, por sua vez, são intuitivos, pois a maioria das pessoas estão acostumadas a segurar ferramentas com as mãos. Eles também oferecem maior precisão de rastreamento com menos latência que rastreadores de corpo inteiro como o Kinect. Além disso, o Hydra é equipado com botões que oferecem múltiplos benefícios quando comparado a emitir comandos através de reconhecimento de gestos: eles permitem sinalização instantânea e livre de erros com possível retorno instantâneo (Takala T. M., 2014).

É válido lembrar que um quesito importante a ser destacado quanto ao uso de interações naturais é o contexto de uso e suas implicações na experiência do usuário, percebendo as variáveis envolvidas na interação e domínio da interface por parte do indivíduo, isto é, focando no entendimento de quem é o usuário e quais são as tarefas que deve realizar (Cabreira & Mülling, 2012). Norman, em seu artigo intitulado “Natural User Interfaces are not Natural” cita um exemplo prático. Quando o Nintendo Wii lançou seu jogo de boliche, o gesto “natural” era balançar o braço como se segurasse uma bola de boliche, e então, quando o braço do jogador atingisse o ponto no qual a bola deveria ser lançada, este deveria soltar o botão do controle. Desapertar o botão era análogo a liberar a bola da mão e foi prontamente aprendido e empregado. Entretanto, no calor do jogo, os jogadores poderiam liberar a pressão da mão sobre o controle, o qual poderia ser lançado pelo ar, às vezes com força suficiente para quebrar ou danificar o monitor no qual o jogo estaria sendo exibido. A naturalidade da interação originou um efeito colateral inesperado e de reparo não trivial (Norman, 2013).

De acordo com Norman, aqueles que defendem sistemas de interface gestual estão aptos a responder que eles não precisam de um controle, e assim, não haveria objeto físico que poderia causar danos. Porém, a escolha do gesto que iriam usar para sinalizar quando a bola deveria ser lançada também seria uma tarefa não trivial. Ainda, é improvável que os sistemas complexos possam ser controlados unicamente por gestos do corpo, pois as sutilezas da ação são demasiadamente complexas para serem tratadas por ações – é como se a nossa língua falada consistisse unicamente de verbos. Como resultado, a maioria dos sistemas

complexos para Interação 3D também devem fornecer botões, dispositivos vestíveis, reconhecimento de voz e linguagem natural, ou mesmo bons teclados antiquados para adicionar mais especificidade e precisão aos comandos (Norman, 2013).

Segundo Bowman (Bowman, Kruijff, LaViola, & Poupyrev, 2005), uma abordagem híbrida de rastreamento combina mais de uma tecnologia com o intuito de ampliar a precisão, reduzir a latência e proporcionar uma melhor experiência geral de interação 3D. A maior dificuldade dessa abordagem é que mais componentes produzem mais complexidade. Ainda assim, essa complexidade extra é compensada se a precisão do rastreamento for significativamente aprimorada.

A escolha dos dispositivos adequados para a aplicação e, se necessária, a integração de dois ou mais deles, pode parecer a alternativa óbvia quando apresentado o argumento de melhoria de naturalidade da interação. Todavia, alguns obstáculos dificultam esta associação. Zainudin (Zainudin, Yusof, Rusli, Yusof, & Mahalil, 2014) relata as experiências resultantes do processo de desenvolvimento de um ambiente virtual com interação natural para tratamento de *stress*. Segundo ele, os maiores problemas encontrados estão relacionados à integração da *engine* (no caso, a CryEngine) com os dispositivos Hydra, Rift, Kinect e a biblioteca de áudio. Um dos principais contratempos consiste no controle do ponto de vista (câmera virtual) e da representação do usuário (posição e rotação do avatar). Geralmente não há correspondência na saída de dois sistemas de rastreamento diferentes, causada pela falta de padronização dos dados oriundos do rastreamento. Além disso, a heterogeneidade entre os sistemas de coordenadas utilizados pelos SDKs e APIs de dispositivos, e os suportados pelas ferramentas de desenvolvimento de aplicações 3D implica em mais complexidade de implementação e combinação de técnicas.

Diante desse cenário, a proposta de apresentação de uma estratégia de integração de dispositivos de interface natural aponta um direcionamento importante na evolução das interfaces naturais e nas aplicações de Realidade Virtual imersiva.

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é propor uma estratégia de integração entre dispositivos com acessórios anexos (Razer Hydra) e de corpo livre (Kinect), de forma a melhorar a interação natural com ambientes virtuais.

De modo a alcançar o objetivo geral, os seguintes passos metodológicos foram estabelecidos:

1. Escolher os dispositivos de interação natural que melhor se apresentem dadas as condições propostas.
2. Escolher as ferramentas (*engine, middleware/plugin*) que permitam a elaboração da estratégia de maneira a abstrair os detalhes de implementação não cobertos pelo objetivo geral.
3. Desenvolver um exemplo de aplicação que utilize a arquitetura proposta e esteja em concordância com o contexto de uso.
4. Avaliar a aplicabilidade e relevância da proposta por meio da aplicação de métricas de avaliação de interfaces 3D.

1.3 Organização da Dissertação

Esta dissertação está estruturada em oito capítulos distribuídos da seguinte forma.

O Capítulo 1 refere-se à contextualização, objetivos e metas apresentados anteriormente. O Capítulo 2 apresenta o referencial teórico sobre o tema (Interação e Interação Natural) apresentado na Introdução.

O Capítulo 3 apresenta os trabalhos relacionados ao tema proposto, demonstrando a relevância desta pesquisa. O Capítulo 4 relata a arquitetura utilizada para implementação do sistema. O Capítulo 5 apresenta os detalhes da implementação e funcionamento do protótipo. O Capítulo 6 refere-se à avaliação experimental realizada. O Capítulo 7 apresenta e discute os resultados obtidos.

E, finalmente, no Capítulo 8 são apresentados conclusões e trabalhos futuros desta pesquisa.

Capítulo 2

Fundamentos

2.1 Introdução

Neste capítulo são abordados tópicos que fundamentam a pesquisa sobre interação, especialmente a Interação Natural e seus dispositivos, os quais são o foco desta pesquisa.

2.2 Interação

Derivado dos termos “inter” e “ação”, o substantivo feminino interação é definido como a ação recíproca de dois ou mais corpos uns nos outros (Dicionário Michaelis). Esta definição implica que, para que haja interação é necessário, no mínimo, dois elementos exercendo ações entre eles.

Da perspectiva de Ciência da Computação, o foco é especificamente na interação entre um ou mais humanos e um ou mais computadores, sendo objeto de estudo da subárea de Interação Humano-Computador (IHC), também conhecida como Interface Homem-Máquina. A IHC se preocupa com *design*, avaliação e implementação de sistemas computacionais interativos para uso humano e com o estudo dos principais fenômenos que os cercam (Hewett, 2009).

Os usuários comunicam ações, intenções, objetivos, perguntas, e outras necessidades aos computadores. Esses, por sua vez, transmitem ao usuário informações sobre o mundo, estado interno, respostas às perguntas, entre outros. Essa comunicação pode envolver diálogo explícito, ou *turn-taking*, no qual o usuário emite um comando ou consulta, o sistema responde, e assim por diante. Porém, na maioria dos computadores modernos, a comunicação é mais implícita, livre e até imperceptível (Bowman, Kruijff, LaViola, & Poupyrev, 2005).

2.2.1 Interação Natural

Segundo Valli (2008), o termo Interação Natural (IN) nasce em resposta ao momento tecnológico. Dentro de um contexto de computação ubíqua¹ (ou pervasiva), a interação deve ocorrer de forma invisível, pois dada a presença de sistemas em todo o ambiente, é inviável exigir dos usuários um aprendizado específico para cada interface.

O pressuposto fundamental é que os usuários devem interagir com a tecnologia da mesma forma como eles interagem com o mundo real na vida cotidiana. O conceito de Interação Natural permite abordar todas as comunicações que um ser humano é capaz de executar, com a fala, toque, gestos, expressões faciais, olhares entre outras.

O sucesso de um sistema de Interação Natural depende do quanto ela influencia aqueles que a estão experimentando. As pessoas devem se surpreender, ter a ilusão de que estão lidando com algo que está vivo, e experimentar um tipo de magia sob seu controle. O termo "experiência" é preferido, neste caso, ao termo "utilização", uma vez que tem um sentido mais amplo. Uma interface natural ativa dinâmicas cognitivas e cibernéticas que as pessoas comumente experimentam na vida real, convencendo-os de que não estão lidando com mídia digital abstrata, mas com objetos físicos reais. Este resulta numa redução da carga cognitiva, aumentando assim a quantidade de atenção no conteúdo. A chave para atingir este objetivo é a síntese de alguns aspectos, como detecção não invasiva, visualização, tempos de resposta, e carga cognitiva (Valli A. , 2004).

2.2.1.1 Tecnologias para Interação Natural

As tecnologias para Interação Natural têm o objetivo principal de criar dispositivos que permitam uma percepção sensorial aproximada da humana. Tais tecnologias possuem um conjunto de hardware e software que trabalham principalmente com as ações do ser humano, tais como movimentar (reconhecimento de gestos), olhar (dispositivos de visualização estereoscópica), falar (reconhecimento de voz) e tocar (telas sensíveis ao toque e dispositivos hápticos).

Reconhecimento de gestos/movimentos é uma aplicação da área de visão computacional que utiliza um conjunto de técnicas de processamento de imagens e de análise

¹ Nesse paradigma computacional, as responsabilidades pela execução de determinado serviço necessário para o usuário são distribuídas entre uma variedade de dispositivos, cada qual com suas tarefas e funcionalidades específicas. (Cirilo)

de séries temporais para fazer com que o computador "entenda" um gesto capturado por sensores de profundidade (também chamados de câmera de profundidade). Um problema com interfaces gestuais é que podem ser desconfortáveis, causando dores no braço após um longo período de utilização, por exemplo.

Os dispositivos de visualização e a qualidade da imagem gerada influenciam fortemente a percepção do nível de imersão de um sistema de RV. Eles podem ser monoscópicos ou estereoscópicos. No primeiro caso, uma única imagem é renderizada e exibida para os dois olhos; no segundo, cada olho observa uma imagem ligeiramente diferente, cada qual renderizada separadamente. Um fator importante no resultado visual é o número de quadros por segundo que podem ser exibidos, ou seja, a velocidade da simulação (Netto, Machado, & Oliveira, 2002).

Já o reconhecimento de voz ou fala proporciona a tradução da fala para texto, permitindo o uso de comandos de voz como modo interação com o sistema. Os sistemas Windows Vista e 7, por exemplo, possuem o Windows Speech Recognition, o qual permite o controle do computador usando comando de voz. Essa característica pode ser utilizada no desenvolvimento de sistemas com a utilização de API de Fala (Speech API - SAPI) oferecida pela Microsoft (Microsoft, 2015).

As telas sensíveis ao toque permitem o usuário a interagir diretamente com o que está sendo exibido. Essa tecnologia é muito utilizada atualmente, principalmente em *smartphones* e *tablets*. Embora ainda não muito difundidos, os dispositivos hápticos possuem tecnologia que proporciona *feedback* de força, permitindo interação com sensação de tato e, conseqüente naturalidade.

2.2.1.2 Dispositivos para Interação Natural

O conceito de Interação Natural aborda todas as formas de comunicação e os sentidos do ser humano. Idealmente, estes tópicos deveriam ser tratados de forma integrada, combinando os dados para gerar soluções completas. No entanto, os atuais avanços em tecnologias sensitivas e técnicas de processamento de sinais ainda não permitem uma abordagem com este nível de abrangência. Uma das relevantes linhas de pesquisa estudadas na área de IN é a interpretação de movimentos corporais, visto que a linguagem corporal se enquadra como uma das mais importantes formas de comunicação.

Uma das possibilidades exploradas é o uso de dispositivos e acessórios anexos ao corpo para auxiliar o rastreamento. Neste contexto, há dispositivos que possuem sensores inerciais associados, como acelerômetros e giroscópios, que conseguem medir deslocamento e rotação de partes do corpo. Por outro lado, também existem acessórios com cores específicas e/ou emissores de luz que fornecem as informações necessárias a uma unidade de captura. Há também métodos que dispensam o uso de acessórios, deixando o corpo do usuário livre. Dentro deste escopo existem técnicas monoculares, e algumas que realizam o rastreamento através de sensores de profundidade. Desta forma, em termos de uso e aplicabilidade, as técnicas de rastreamento do corpo humano podem ser classificadas como apresentado na Figura 1 (Figueiredo, Souza, Simões, Roberto, & Teichrieb, 2012).



Figura 1 Técnicas de rastreamento do corpo humano (Figueiredo, Souza, Simões, Roberto, & Teichrieb, 2012)

Nos últimos anos, a evolução da tecnologia tem resultado no crescente desenvolvimento de dispositivos que permitam o rastreamento corporal no intuito de proporcionar meios de interação mais naturais. Devido a seu forte apelo, a área de jogos é a que mais investe em tecnologias desse tipo, resultando em *consoles* e controles cada vez mais imersivos e acessíveis. Alguns desses dispositivos são descritos a seguir.

2.2.1.2.A Kinect

O Kinect é um dispositivo criado para o videogame Xbox 360, que mudou a forma como as pessoas jogam videogames e a experiência com entretenimento, pois utiliza mecanismos de Interação Natural com o jogo. Com o sucesso do Kinect para Xbox 360, a Microsoft, empresa

que criou o Kinect, decidiu criar uma versão do mesmo para computador, denominada Kinect para Windows® (Kinect for Windows™). A Figura 2 mostra o dispositivo Kinect para Xbox 360, enquanto a Figura 3 mostra o Kinect para Windows® (MICROSOFT, 2011).



Figura 2 Kinect para Xbox 360 ® ® (MICROSOFT, 2011)



Figura 3 Kinect para Windows ® (MICROSOFT, 2011)

O Kinect é composto por um emissor e um sensor infravermelho (chamados de câmera de profundidade), uma câmera no padrão *Red, Green, Blue* (RGB), microfones e um motor para o movimento no sentido vertical do sensor, possibilitando assim que ele incline. Tais detalhes podem ser vistos na Figura 4 (MICROSOFT, 2011).

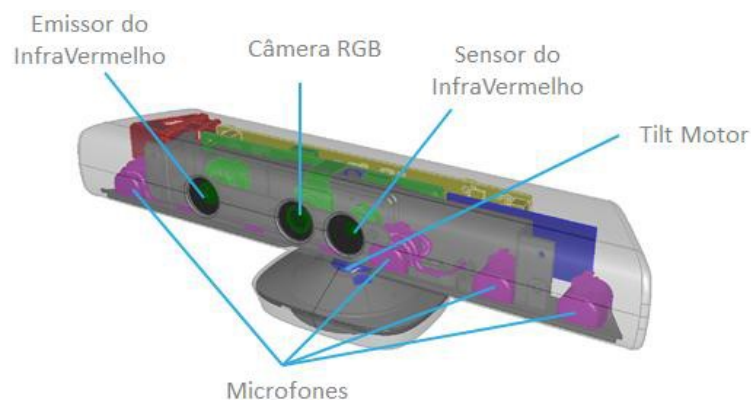


Figura 4 Visão interna do Kinect ® (MICROSOFT, 2011)

No entanto, apesar da inovação trazida por sensores de profundidade, estes não podem ser considerados como solução final para interação corporal. As tecnologias oferecidas neste sentido demonstram limitações em relação à iluminação devido ao uso de luz infravermelha. O reconhecimento do padrão emitido é bastante prejudicado caso haja incidência de luz solar através de janelas ou vãos abertos no ambiente. Mais além, há indícios de atrasos na transmissão de comandos para jogos que usam o Kinect, em alguns casos girando em torno de 150 milissegundos, o que podem tornar a interação incômoda (Figueiredo, Souza, Simões, Roberto, & Teichrieb, 2012).

A Tabela 1 contém as especificações da primeira versão do Kinect.

Tabela 1 Especificações do Kinect

Kinect	Especificações
Ângulo de visão	43 graus na vertical por 57 graus na horizontal
Faixa de inclinação vertical	±27 graus
Taxa de quadros (profundidade e fluxo de cor)	30 quadros por segundo (FPS)
Formato de áudio	16 kHz, Modulação por código de pulsos (PCM) 24 bits
Características de entrada de áudio	Vetor de quatro microfones com conversor analógico-digital (ADC) de 24 bits e processamento de sinais próprio incluindo cancelamento de eco acústico e supressão de ruído
Características do acelerômetro	Acelerômetro 2G / 4G / 8G configurado para a faixa de 2G, com um limite máximo de 1 grau de precisão.

Em 2013, com o lançamento do Xbox One, foi lançada também uma nova versão do Kinect, mais robusta e precisa no rastreamento. O jogador pode controlar, por meio de comandos de voz ou de gestos, todas as opções do aparelho, saindo instantaneamente de um jogo e entrando em um filme ou na TV ao vivo, por exemplo. Seu campo de visão é 60% maior e permite que ele funcione tanto em ambientes mais abertos como mais fechados, exigindo menor distância da câmera que o Kinect original. Essa nova versão pode captar e interpretar

os movimentos de até seis pessoas ao mesmo tempo, mesmo com baixa iluminação (Xbox, 2015).

2.2.1.2.B Razer Hydra

O Razer Hydra, desenvolvido em uma parceria entre a Sixense e a Razer, adota um sistema combinado, composto por uma estação base e dois controladores do tipo “*nunchuck*” com oito botões cada, como mostrado na Figura 5. A base emite um campo magnético fraco e os controladores a usam para entrar em sintonia e detectar sua respectiva orientação e posição exata. A principal vantagem da utilização de sensores de movimento magnético é a possibilidade de rastrear a um único milímetro e grau.



Figura 5 Razer Hydra (Razer, 2014)

Os controladores e a estação base contêm três bobinas magnéticas cada. Essas bobinas trabalham em conjunto com o circuito de amplificação, o processador de sinal digital e o algoritmo de posicionamento para traduzir dados de campo em dados de posição e orientação. Isso permite verdadeira interação em três dimensões com o mundo virtual, possibilitando mais controle espacial do que com um *mouse* comum.

Além disso, a conexão com fio entre a estação de base e os controladores, juntamente com a tecnologia *Hyperresponse*, admitem latência ultrabaixa, proporcionando uma resposta virtualmente instantânea entre os comandos do usuário e o que é visto na tela (Razer, 2014).

A Tabela 2 mostra um comparativo entre outros sensores disponíveis atualmente e o sensor magnético de movimento. Este se destaca pelo rastreamento da posição e orientação absoluta no espaço 3D, além de conceder 6 graus de liberdade no movimento.

Tabela 2 Comparação de Sensores

Características	Tipos de Sensores			
	<i>Magnético</i>	<i>Acelerômetro</i>	<i>Ultrassônico</i>	<i>Câmera</i>
Graus de liberdade	6	3 (+3 com giroscópio)	3 (+3 com giroscópio)	3 (+3 com giroscópio)
Alcance	3m-5m	10m	3m-5m	3m-5m
Posição absoluta	✓	×	✓	✓
Orientação absoluta	✓	×	×	×
Confiabilidade	✓	×	×	×
Baixa latência	✓	×	×	×

A precisão do dispositivo mostra-se útil em aplicações tais como imagens médicas, modelagem 3D, realidade virtual e softwares para treinamento, além de jogos. A Sixense disponibiliza o *download* gratuito do SDK para programadores interessados, com fóruns e contato direto com os desenvolvedores do hardware. A plataforma é de fácil implementação por meio de bibliotecas já disponíveis (Razer, 2014).

2.2.2 Técnicas de interação

Em ambientes virtuais, técnicas especiais de interação que lidam com o espaço 3D são demandadas. A interação pode ocorrer tanto no sentido usuário-aplicação, quanto no sentido aplicação-usuário, como por exemplo por meio do uso de dispositivos hápticos, os quais promovem um *feedback* tátil ao usuário como reação à interação (Kelner & Teichrieb, 2007).

Ainda considerando os ambientes de Realidade Virtual (RV), deve ser avaliado se a interação será imersiva ou não-imersiva. Para os ambientes imersivos, as técnicas de interação

introduzem novos paradigmas para o usuário, estimulando outros sentidos que normalmente não poderiam ser explorados em ambientes não-imersivos, como por exemplo, a visão estereoscópica (Bowman, Kruijff, LaViola, & Poupyrev, 2005).

Segundo Kelner (Kelner & Teichrieb, 2007), o design de técnicas de interação visa três objetivos principais: desempenho, usabilidade e utilidade. Desempenho mede quão bem as atividades estão sendo realizadas pelo usuário e pelo sistema, em cooperação, além de eficiência, precisão e produtividade. Usabilidade trata da facilidade em informar o sistema sobre as intenções do usuário, bem como a facilidade de uso e de aprendizado, além do conforto do usuário. Utilidade mostra se a interação ajuda o usuário a atingir seus objetivos, podendo focar na tarefa.

Bowman (Bowman, Kruijff, LaViola, & Poupyrev, 2005) classificou as técnicas de interação em ambientes virtuais em quatro categorias principais, sendo elas: Navegação, Controle do Sistema, Entrada Simbólica e Manipulação. Essa classificação foi baseada no tipo de tarefa realizada pelo usuário.

2.2.2.1 Navegação

A fim de influenciar a sensação de presença do usuário em um sistema de Realidade Virtual, técnicas de interação para navegação são importantes, ou seja, a movimentação física do usuário, seja para explorar a cena ou para procurar um caminho específico, tem influência positiva nos níveis de imersão. As principais técnicas de navegação são: Locomoção Física, Direcionamento, Planejamento de Rotas, Baseadas em Alvo, Manipulação Manual, *Travel-by-Scaling*, Orientação do Viewpoint, Especificação da Velocidade e Controles Integrados da Câmera para Ambientes Desktop 3D.

Ao viajar (*travel*), o usuário se movimenta entre dois lugares, pela definição da posição e orientação do seu ponto de vista. Por meio desta ação, o usuário pode realizar tarefas de exploração do ambiente virtual, de busca por algum local específico do ambiente, e de manobra. No caso da busca, a posição do alvo pode ou não ser conhecida; quando a posição não é conhecida, a busca é chamada ingênua (*naive*), e quando conhecida e o usuário quer encontrar novamente um local específico diz-se que é uma busca privilegiada (*primed*). Esta tarefa de navegação é amplamente realizada nas aplicações.

A ação conhecida como *wayfinding*, que permite procurar um caminho específico, visa o uso e a aquisição por parte do usuário de conhecimento espacial para definir um caminho

no ambiente. O auxílio de pistas e dicas disponíveis no ambiente virtual facilita a realização desta tarefa. Usuários possuem habilidades de orientação diferentes, o que deve ser levado em consideração quando da utilização de técnicas para navegação (Kelner & Teichrieb, 2007).

2.2.2.2 Controle do Sistema

Em ambientes 2D, os elementos para controle do sistema são menus *pull-down* e *pop-up*, *toolboxes*, *palletes*, *radio buttons*, etc., entretanto, em um contexto 3D, essas interfaces não podem simplesmente ser mapeadas. Logo, foram criadas técnicas de interação para controle do sistema como menus gráficos, comandos de voz, comandos de gestos e ferramentas (Bastos, 2005).

Essas técnicas modificam o estado do sistema ou o modo de interação utilizado pelo mesmo. Na maioria das vezes, estas ações são realizadas através de comandos disponíveis na interface. Além disso, são muitas vezes integrados com outras tarefas de interação, quando modificam o estado do sistema, ou com todas as outras atividades de interação disponíveis no sistema, quando o usuário os utiliza para controlar o modo de interação a ser utilizado (Kelner & Teichrieb, 2007).

2.2.2.3 Entrada Simbólica

Existem quatro técnicas principais de entrada simbólica: baseadas em teclado, caneta, gestos e fala. As técnicas tradicionais (por exemplo, teclado) precisam ser adaptada para interfaces 3D, devido as diferenças inerentes entre esses dois tipos de interface. Plataformas móveis, por exemplo, usam entrada baseada em caneta, na qual o usuário escreve caracteres, símbolos ou outros gestos com uma caneta no dispositivo (Kelner & Teichrieb, 2007).

As técnicas baseadas em teclado fazem uso de um teclado físico ou de uma metáfora de um teclado físico. Já as técnicas baseadas em gestos utilizam a postura, a posição, a orientação e o movimento da mão, uma vez que a interação realizada com as mãos é bastante intuitiva. As técnicas baseadas na fala têm um grande número de características desejáveis, uma vez que permitem ao usuário ficar com as mãos livres, permitem uma entrada eficiente e de grandes quantidades de texto, sendo completamente naturais e familiares (Bastos, 2005).

2.2.2.4 Manipulação

Na manipulação 3D, o usuário especifica propriedades de um objeto, como posição, orientação, escala, forma, textura e cor. Seus objetivos são posicionar objetos (*design* de objetos, agrupamento de objetos, *layout* do ambiente virtual), navegar pelo ambiente e realizar uma determinada ação. A efetividade dessas técnicas depende das tarefas de manipulação para as quais são aplicadas, podendo ser intuitivas em alguns ambientes e inadequadas em outros (Kelner & Teichrieb, 2007).

As técnicas de interação para manipulação são divididas em: Apontamento, Manipulação Direta, Mundo em Miniatura (World In Miniature - WIM), e Agregação e Integração, os quais tratam da seleção e translação de objetos, e a rotação é mapeada diretamente do dispositivo de entrada para o objeto virtual (isomorfismo); e técnicas de Manipulação 3D para Desktop, que usam a chamada rotação 3D não-isomórfica, implementada por meio do conceito matemático de quatérnios². Como o enfoque dessa pesquisa está nas técnicas de interação por manipulação, uma descrição mais detalhada de cada uma delas será feita a seguir.

A interação por Apontamento permite ao usuário selecionar e manipular objetos localizados fora da sua área de alcance, bastando simplesmente apontar para eles. Este tipo de interação acontece do seguinte modo: quando o vetor definido pela direção do apontamento interceptar um objeto virtual, o usuário poderá selecioná-lo bastando para tanto disparar um evento (por exemplo, apertar um botão ou um comando de voz) que confirmará a seleção. Após o objeto ser selecionado, ele será preso no final do vetor de apontamento para que então o usuário possa manipulá-lo.

As técnicas de Manipulação Direta são também denominadas de técnicas da mão virtual, pois o usuário pode selecionar e manipular diretamente objetos virtuais com as mãos. Para tanto, é feito o mapeamento direto da mão do usuário em um avatar virtual. A posição e a orientação do dispositivo de entrada são mapeadas na posição e orientação da mão virtual. Para fazer a seleção de um objeto, o usuário intercepta-o com o cursor e dispara um evento; o objeto é preso então ao cursor, podendo ser transladado ou rotacionado.

² Quatérnio é uma generalização dos números complexos, representado por quatro parâmetros de números reais (q_0, q_1, q_2, q_3) e pode ser definido pela soma: $q = q_0 + q_1i + q_2j + q_3k$ (Kuipers, 1998).

A técnica Mundo em Miniatura escala o mundo virtual produzindo uma miniatura do mesmo para fácil manipulação pelo usuário. Em ambientes muito grandes, a manipulação pode ficar comprometida por causa de suas cópias muito pequenas.

As técnicas de Agregação e Integração são uma combinação de várias outras técnicas a fim de otimizar o desempenho durante o chaveamento entre seleção e manipulação. Todo objeto virtual deve ser primeiro selecionado para só então ser manipulado. Os métodos mais conhecidos são: HOMER, *Scaled-World Grab* e *Voodoo Dolls*.

Por fim, as técnicas de Manipulação 3D para Desktop se diferem das mostradas acima sobretudo por causa dos dispositivos de entrada. Elas são usadas em sistemas interativos de computação gráfica como por exemplo, modelagem comercial 3D e pacotes de animação, sistemas CAD (Computer Aided Design), softwares de visualização 3D de informação, e jogos (Bastos, 2005)

2.3 Considerações Finais

Este capítulo apresentou os fundamentos teóricos necessários para a total compreensão do presente trabalho. Esses fundamentos estão relacionados à área de Interação, especificamente à Interação Natural do Usuário.

Capítulo 3

Trabalhos Correlatos

3.1 Introdução

O objetivo deste capítulo é apresentar pesquisas relacionadas ao tema fundamentado no capítulo anterior. O foco principal desta busca foi selecionar trabalhos que integrem dispositivos de interação natural com vistas ao aprimoramento da relação com o usuário.

3.2 Metodologia de Análise

De forma a estabelecer o estado da arte do tema da pesquisa descrita dessa dissertação, foi escolhido o método de revisão integrativa, o qual permite revisar rigorosamente, combinar estudos com diversas metodologias e integrar os resultados. Na primeira etapa o tema foi identificado e definido na busca em abrangência como desenvolvimento de sistemas de Realidade Virtual com dispositivos de interação natural. Para a segunda etapa, os seguintes critérios para inclusão e exclusão de trabalhos foram estabelecidos: a) Interação Natural (se há ou não o uso); b) Rastreamento; c) Dispositivos simultâneos (se há ou não); d) Exemplo de aplicação, sendo explicados a seguir:

Interação Natural foi escolhida como um item de avaliação, pois é primordial na pesquisa desenvolvida.

Rastreamento compreende o conjunto de dispositivo (s) utilizado (s) para navegação, seleção e/ou manipulação no Ambiente Virtual.

Dispositivos simultâneos apresenta se há um ou mais dispositivos que são integrados/combinados para propiciar alcance dos objetivos do sistema.

Exemplo de aplicação representa a área específica para qual o sistema foi desenvolvido (Ex.: Engenharia, Educação, Treinamento, etc.).

A terceira etapa consistiu da definição das informações e características a serem extraídas dos trabalhos analisados, sendo elas: objeto de estudo, arquitetura, aplicação, vantagens e desvantagens da proposta (análise dos resultados e conclusões). As informações

coletadas são apresentadas na próxima seção, assim como as demais etapas da revisão integrativa.

3.3 Trabalhos Avaliados

As buscas foram feitas nas seguintes bases de dados: Portal de Periódicos da Capes, Scielo, ACM Digital Library e IEEE Xplore. A partir do tema da busca definido e apresentado na seção acima, foram retornados vinte e seis trabalhos, dentre os quais quatro trabalhos respeitaram os critérios de inclusão e estão descritos a seguir.

3.3.1 Adapting a Cheap Game Controller as a Natural 3D Input

Azmi et al (2014) propôs uma Interface Natural de usuário para manipulação 3D baseada em cinco objetivos definidos a seguir: i) usar hardware barato na interface; ii) implementar interação com seis graus de liberdade (6-DoF); iii) permitir a manipulação 3D de um objeto; iv) testar a interface por meio de experimento; e v) comparar a interface natural com a interface padrão de mouse em uma tarefa similar.

O dispositivo de interação natural escolhido foi o Razer Hydra devido a alguns benefícios e características, como garantia de seis graus de liberdade genuínos, não necessidade de ser frequentemente calibrado durante o uso, *feedback* de baixa latência, ausência de *delay* no movimento e preço baixo. Apesar das diversas qualidades, o Hydra apresenta algumas limitações, como a interferência de objetos de metal próximos ao rastreador magnético, as coordenadas retornadas não-lineares, o não conhecimento do centro de rotação, e a presença de fios conectando os controles à base, tornando o movimento um pouco restrito.

A tarefa requerida na interface de teste pedia que os usuários pegassem um cubo, usando o Hydra, e o encaixassem em um tubo de cor correspondente, conforme apresentado na Figura 6. Durante a tarefa, os usuários deveriam manipular o cubo com seis graus de liberdade. Os participantes na tarefa foram 19 alunos voluntários de diferentes níveis de conhecimento. Todos eram destros e tinham visão normal.

Para a tarefa desenvolvida, foram calculados o desvio padrão e a mediana do tempo de finalização. O intuito era determinar o tempo médio para completar a tarefa, quantos

alunos obtiveram desempenho dentro do desvio padrão da média e quantos deles foram muito mais rápidos ou muito mais lentos.

Na comparação entre o tempo médio para finalização da tarefa utilizando o Hydra e o mouse, os resultados obtidos foram de 85 e 547 segundos, respectivamente. A média de tempo de finalização da interface com o mouse foi de mais de 10 desvios padrão de distância da média de tempo de finalização da interface natural proposta.

Após os testes, algumas conclusões foram geradas. Primeiramente, a interface natural se mostrou mais fácil de usar do que a interface padrão com mouse. Embora foi observado que a maioria dos participantes não percebeu o mundo 3D simulado corretamente na interface natural, ela é mais intuitiva que a interface com dispositivo comum. O fato de todos os participantes terem completados as tarefas com sucesso corrobora essa afirmação.

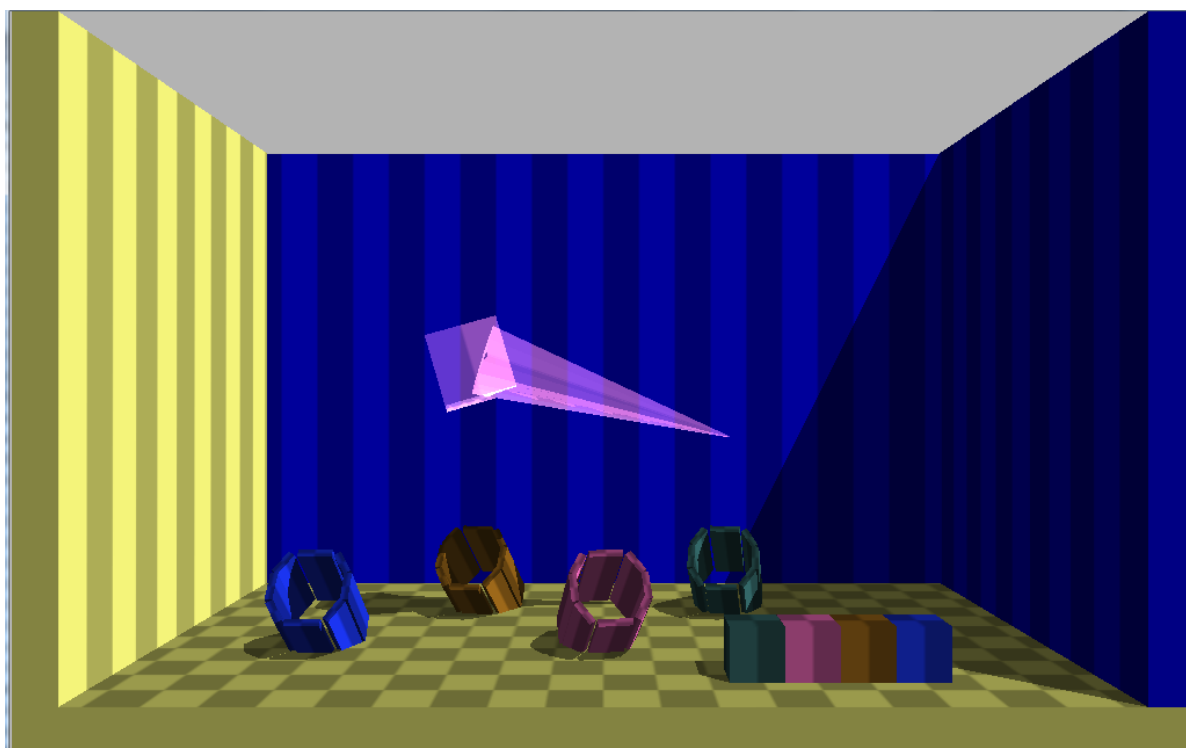


Figura 6 Cena virtual desenvolvida (Azmi, Wyvill, & Knott, 2014)

3.3.2 Interactive Breadboard Activity Simulation (IBAS) for Psychomotor Skills Education in Electrical Circuitry

Parmar et al (2014) construiu uma simulação interativa em Realidade Virtual para treinar usuários na utilização de instrumentos de medição de circuitos elétricos em um ambiente virtual 3D usando interação bi manual. O protótipo, chamado de IBAS, educa os usuários a

medir parâmetros elétricos usando um voltímetro analógico, um amperímetro analógico e um multímetro digital.

O sistema foi desenvolvido utilizando a *game engine* Unity® e os objetos foram modelados com o Blender e importados para a Unity. Todas as animações foram feitas a partir de *scripts* programados no ambiente de desenvolvimento da própria *engine*. O dispositivo Razer Hydra foi utilizado para garantir a interação bi manual do usuário com o ambiente virtual, no qual duas esferas (uma azul e outra vermelha) representam cada mão do usuário. O sistema em uso e o ambiente virtual estão apresentados na Figura 7 e na Figura 8. O *plug-in* da Sixense para Unity foi utilizado para fazer a interface entre o dispositivo e a *engine*. A visualização 3D do sistema foi facilitada pelo rastreamento de cabeça feito pelo InterSense IS-1200 VisTracker. Esse sistema promove rastreamento em seis graus de liberdade a partir de tecnologia híbrida inercial-óptica.

Os cenários foram concebidos com base em uma análise hierárquica para medições em circuitos elétricos para cada um dos instrumentos. Eles foram desenvolvidos para usuários iniciantes, com pouco ou nenhum conhecimento do assunto. Uma sessão de introdução proporcionou todo o conhecimento básico necessário para preparar os usuários para as sessões de prática guiada e de exercícios. O cenário da prática guiada foi desenvolvido com um nível mínimo de complexidade, focando no aprendizado dos passos para fazer a medição de nível básico. Os exercícios foram gerados para um conhecimento mais aprofundado com tarefas gradualmente mais complexas.

Os resultados preliminares indicaram que aprendizes que utilizaram o sistema consideraram a simulação como ferramenta afetiva para o ensino e aprendizagem de habilidades psicomotoras associadas a circuitos elétricos. Os autores propõem, como trabalhos futuros, a comparação entre vários parâmetros de visualização imersiva, tais como estereoscopia, campo de visão e resolução da tela no processo de aprendizagem de circuitos elétricos.

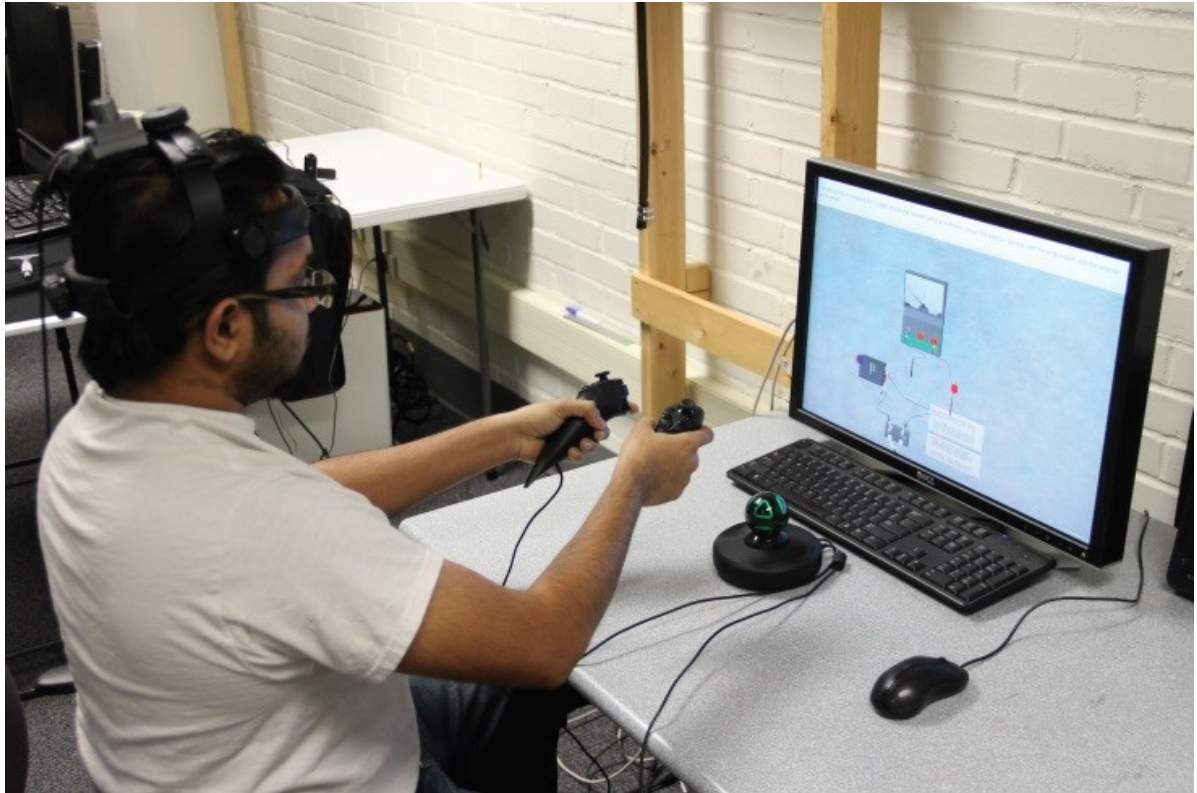


Figura 7 Sistema IBAS (Parmar, Bertrand, Shannon, Babu, & Madathil, 2014)

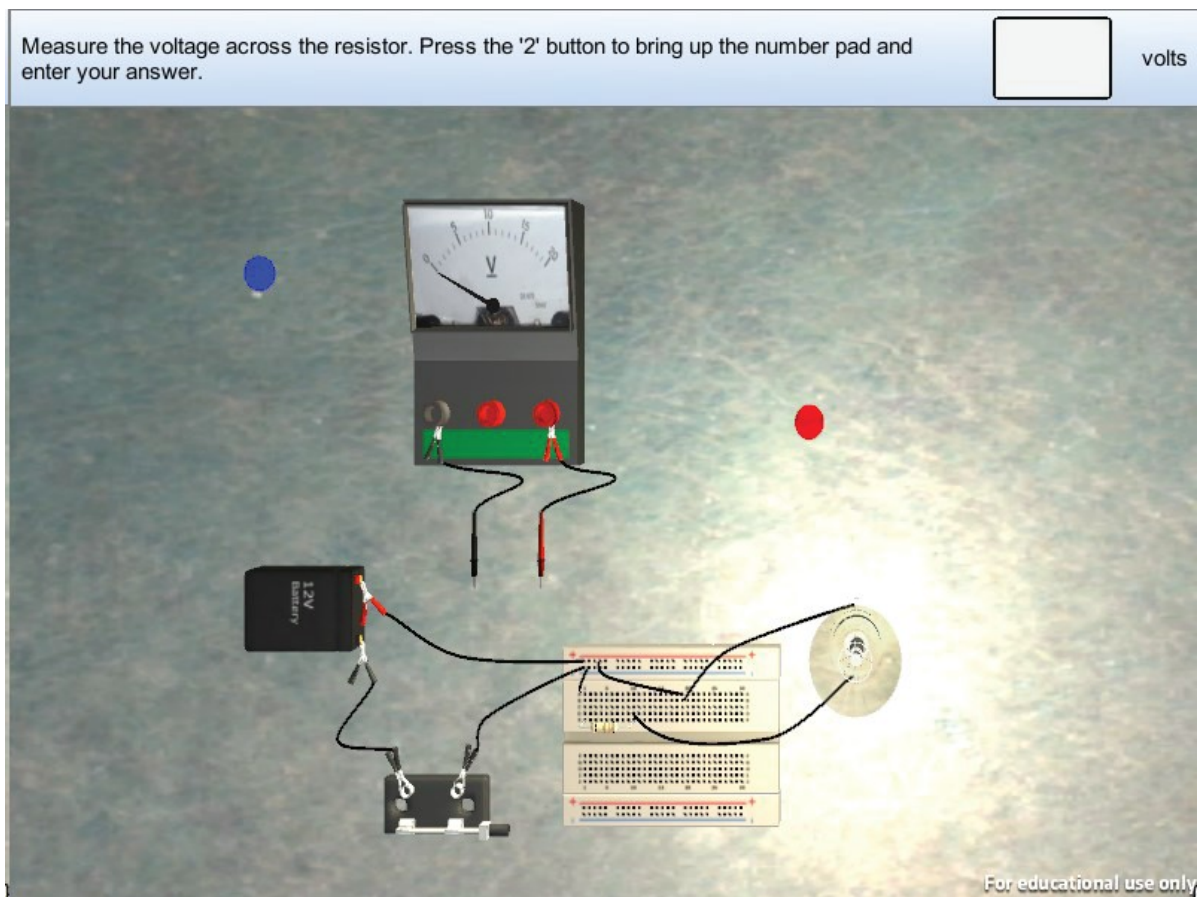


Figura 8 Ambiente virtual do IBAS (Parmar, Bertrand, Shannon, Babu, & Madathil, 2014)

3.3.3 Virtual Experiment System (VES) for Electrician Training based on Kinect and Unity3D

Liao e Qu (2013) propôs neste trabalho a aplicação do Kinect e da *engine* de jogos Unity® para configuração de um sistema de experimentação virtual *desktop* barato e altamente imersivo. Sob a premissa de análise de funcionamento, o Kinect foi escolhido como meio de interação humano-computador. Um tipo de algoritmo adaptado para detecção de pontos côncavos e convexos dos dedos foi apresentado para identificação de múltiplos gestos e semânticas de interação.

O reconhecimento de gestos baseado no OpenNI foi estendido para completar, de maneira mais eficiente, as tarefas de interação em ambientes virtuais. Segundo os autores, a prática tem demonstrado que este método pode satisfazer as necessidades interativas no processo de experiência virtual. No contexto do Unity3D, a programação de Máquinas de Estados Finitos (FSM) foi aplicada na gestão inteligente de tarefas lógicas experimentais, como mostrado na Figura 9.

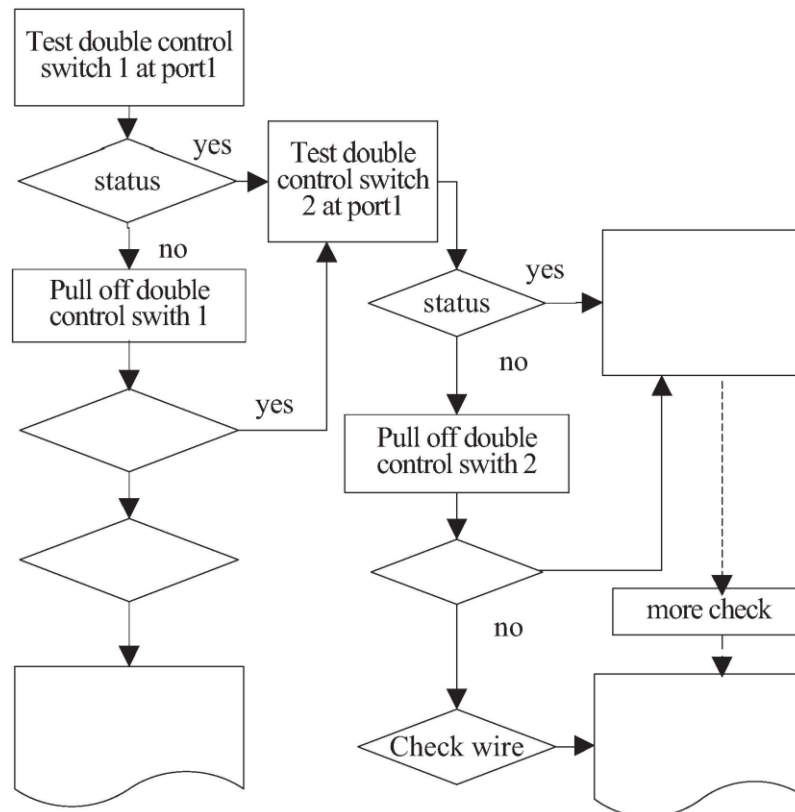


Figura 9 Instância da Máquina de Estados Finito desenvolvida (Liao & Qu, 2013)

Resultados preliminares mostraram que o protótipo pode ser satisfatoriamente útil para completar tarefas experimentais virtuais e melhorar a experiência do usuário. Comparada à interação tradicional WIMP, a interação somatosensorial do Kinect foi combinada ao Unity® de forma a resultar em um sistema virtual 3D com alto grau de imersão. A perfeita integração de ambos também apresenta um importante papel no crescente desenvolvimento de aplicações de Realidade Virtual. As operações de seleção e navegação do protótipo desenvolvido são ilustradas na Figura 10.

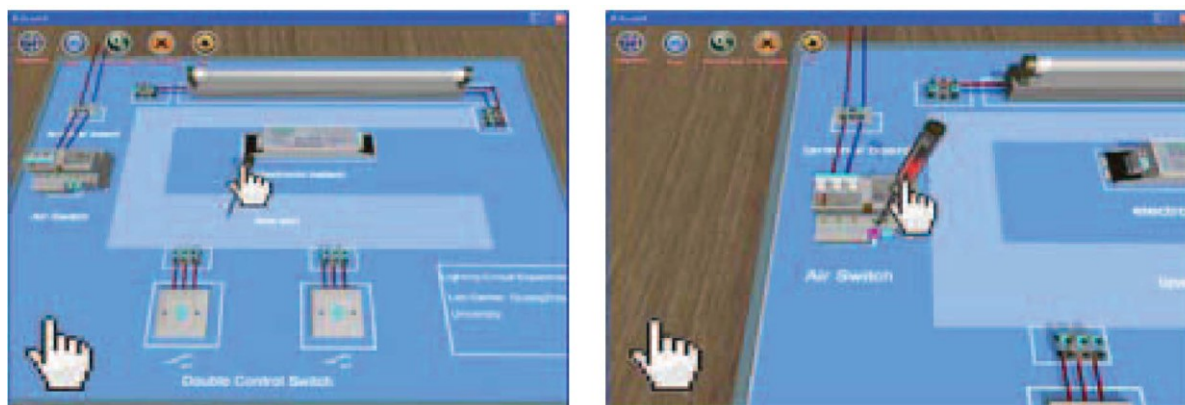


Figura 10 Operações de seleção (à esquerda) e navegação (à direita) do protótipo (Liao & Qu, 2013)

3.3.4 RUIS - A Toolkit for Developing Virtual Reality Applications with Spatial Interaction

Takala (2014) criou o Reality-based User Interface System (RUIS), um *toolkit* para desenvolvimento de aplicações de Realidade Virtual com interface natural de usuário, cujo propósito foi tornar mais fácil a implementação de sistemas de RV para alunos e entusiastas da área.

A motivação para o desenvolvimento do *toolkit* surgiu a partir de frustrações causadas por dificuldades em desenvolver aplicações de RV. Segundo o autor, durante três sucessivos anos trabalhando com RV, muitos obstáculos foram encontrados, tais como: interface com dispositivos exóticos e seus *drivers* igualmente exóticos, ter que depender de dados de entrada de baixo nível, problemas com a compilação de programas e bibliotecas de programação, idiossincrasias da linguagem C++, etc.

Experiências anteriores com outros *toolkits* possibilitaram a criação de uma lista de requisitos para o desenvolvimento do RUIS, sendo eles:

R1. Possibilidade de desenvolvimento de aplicações de RV sem conhecimento sobre compiladores ou interpretadores.

R2. Possibilidade de desenvolvimento em computadores e *laptops* comuns.

R3. Possibilidade de simular rastreadores de movimento com *mouse* e teclado.

R4. Dispositivos de entrada devem ser abstraídos e dados de alto nível devem ser fornecidos.

R5. Seleção e manipulação 3D devem ser implementadas.

R6. O *toolkit* deve ser livre.

R7. Aplicações podem ser testadas sem um processo lento de construção.

R8. Aplicações podem ser facilmente exportadas para outros computadores.

O *toolkit* está disponível para Unity3D e Processing³, os quais são muito utilizados por desenvolvedores de jogos, artistas, *designers* e arquitetos. Ele permite a integração de dispositivos como Kinect, Razer Hydra e Playstation Move com dispositivos de visualização imersiva como o Oculus Rift, conforme arquitetura representada na Figura 11. Usuários do RUIS podem implementar e testar aplicações de controle de movimento utilizando mouse e teclado, os quais são emulados como dispositivos de entrada 3D.

³ Processing é uma linguagem de programação de código aberto e ambiente de desenvolvimento integrado (IDE), construído para as artes eletrônicas e comunidades de projetos visuais com o objetivo de ensinar noções básicas de programação em um contexto visual e para servir como base para cadernos eletrônicos (*sketchbooks*).

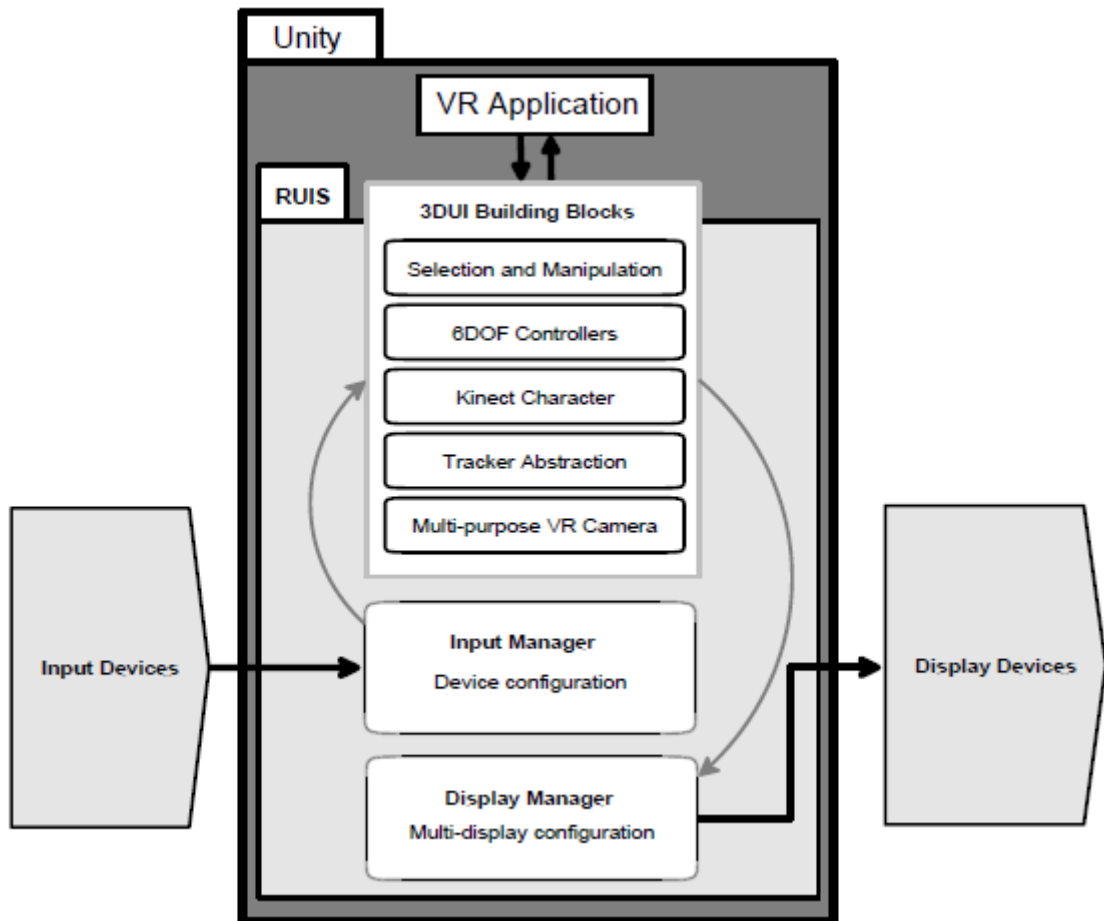


Figura 11 Arquitetura do toolkit (Takala, 2014)

Ainda segundo o autor, o *toolkit* vem sendo utilizado para o ensino de conceitos e implementação de aplicações de Realidade Virtual há alguns anos na Universidade Aalto na Finlândia. A Figura 12 apresenta o sistema de demonstração TurboTuscany desenvolvido com o *toolkit*. Após uma análise estatística das classificações de instrução de 88 desenvolvedores de aplicações com interface 3D, o RUIS se mostrou significativamente melhor que outros *toolkits* de RV no que diz respeito às dificuldades causadas pela falta de blocos de construção em frameworks de interface 3D.

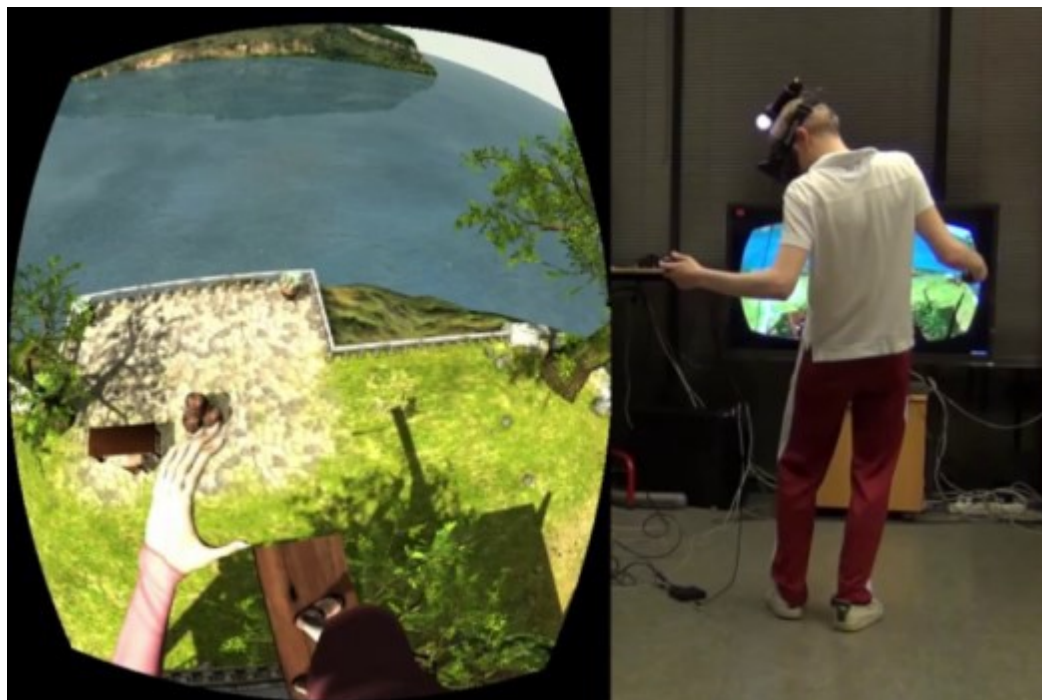


Figura 12 Demo TurboTuscany (Takala, 2014)









De acordo com testes preliminares realizados a partir do rastreamento de mão do Kinect 2, controles como o PS Move e o Razer Hydra ainda são mais responsivos, precisos e mais adequados para tarefas que exigem precisão que rastreadores de movimento não-invasivos (como o Kinect).

3.4 Resumo Comparativo dos Trabalhos Analisados

Apesar de apresentarem escopos diferentes, os trabalhos relacionados e apresentados nas seções anteriores contribuem para a ratificação da relevância do uso compartilhado de dispositivos de rastreamento do corpo humano, descritos como anteriormente em duas categorias: acessórios anexos e corpo livre.

Para efeito desta pesquisa e outras resultantes, o protótipo gerado por este trabalho será denominado de **IDIN (Integração de Dispositivos de Interface Natural)**. Para demonstrar a contribuição desta pesquisa faz-se necessário inicialmente uma análise das principais características dos trabalhos avaliados correlatos a este. A Tabela 3 apresenta os tópicos abordados em cada trabalho, comparando-os entre si.

Tabela 3 Quadro comparativo entre os trabalhos correlatos

Critérios/ Trabalhos	Interação Natural	Rastreamento	Dispositivos simultâneos	Exemplo de aplicação
Cheap Game Controller		Magnético		Jogos
IBAS		Magnético/ inercial- óptico		Educação
VES for Electrician Training		Câmera		Manutenção Elétrica
RUIS		Magnético/câmera		Software de Autoria

As informações presentes na Tabela 3 propiciam concluir que dentre os trabalhos relacionados, todos abordam Interação Natural. O dispositivo usado para cada trabalho foi escolhido em razão da aderência ao problema a ser solucionado. A integração de dispositivos, fator fundamental nesta pesquisa, mostra que apenas um dos trabalhos investiram nesta abordagem. No entanto, o diferencial apresentado neste trabalho ratifica que a integração de dispositivos é fundamental para melhorar o quesito interação. O último critério, a área de aplicação, na grande maioria dos trabalhos, está relacionada ao treinamento e educação, demonstrando a importância do uso de procedimentos alternativos aos tradicionais para os mais variados tipos de aprendizado, treinamento, simulação e experimentação. Surge assim a contribuição deste trabalho (**IDIN**), ou seja, uma proposta de um sistema com Interação Natural que integra dispositivos diferentes com a finalidade de apropriar-se das características de cada um, contornando as respectivas limitações (Tabela 4).

Tabela 4 Contribuição desta pesquisa

Critérios/ Trabalhos	Interação Natural	Rastreamento	Dispositivos simultâneos	Exemplo de aplicação
IDIN		Magnético/câmera		Manutenção Elétrica

3.5 Considerações Finais

Este capítulo apresentou a contribuição e a relevância deste trabalho, por meio da descrição de quatro trabalhos encontrados na literatura e que estão relacionados a este.

Capítulo 4

Arquitetura e Especificação do Sistema

4.1 Introdução

Este capítulo apresenta a arquitetura do sistema (camadas e relacionamento), os respectivos detalhes e as tecnologias de apoio que deram suporte para que a arquitetura planejada fosse eficiente no alcance dos objetivos do sistema que fora por ela norteado em sua construção.

4.2 Arquitetura

O protótipo objeto deste trabalho foi intitulado IDIN, conforme seção anterior e explicitado na Figura 13 Arquitetura do Sistema. Nesta mesma figura, é apresentado um diagrama de camadas (Integração, Comunicação e AV). De forma ainda simplificada, é possível verificar que o usuário se comunica com o sistema por meio de um ou mais dispositivos de Interação Natural que por meio destas camadas citadas propiciam um resultado interativo mais rico e completo.

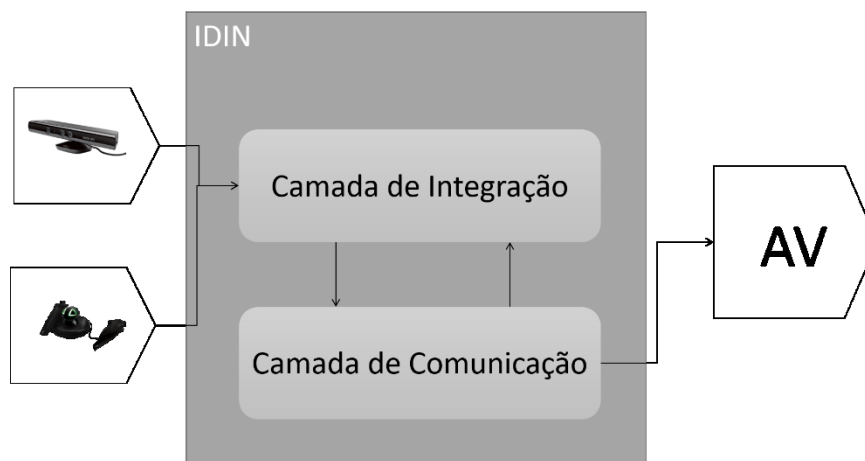


Figura 13 Arquitetura do Sistema

4.2.1 Dispositivos

Na próxima seção, quando será apresentado com detalhes o exemplo de aplicação (Treinamento e Manutenção de Redes Elétricas) desta pesquisa, será demonstrado que para

este caso, o uso de dispositivos com propósitos diferentes é fundamental para contemplar as necessidades de interação com o sistema. Portanto, o Kinect, pelo rastreamento de movimento por meio de sensores infravermelhos e o Hydra, pela detecção de movimento por meio de controles manuais.

4.2.2 Camada de Integração

Esta camada é responsável pela recepção dos dados provindos dos dispositivos ligados ao sistema. Os dados são analisados, filtrados e preparados para a camada seguinte (Camada de Comunicação). É nesta camada que são alocados os *plug-ins* e *middlewares*.

4.2.3 Camada de Comunicação

Nesta camada está o grande diferencial deste trabalho e a principal contribuição. Os dados recebidos pela Camada de Integração são analisados e tratados tendo como parâmetros as informações e/ou requisitos advindos do Ambiente Virtual. A função de transferência realiza, de maneira transparente para o usuário, uma avaliação do que especificamente deve ser aproveitado de cada um dos dispositivos. Essa camada será melhor detalhada no Capítulo 5.

4.2.4 Ambiente Virtual (AV)

Esta camada poderia até ser confundida em termos classificatórios com a GUI (interface com usuário), porém apresenta um cenário conceitual um pouco mais profundo. A modelagem e a construção geométrica presentes no ambiente são alguns dos processos necessários. A interação com o usuário e a comunicação com a camada anterior obriga que esta camada possua claramente um conjunto de entradas e saídas bem caracterizado. O conceito que se impõe nesta camada é de forte coesão e fraco acoplamento para permitir que a Camada de Comunicação tenha papel fundamental no sistema e principalmente permitir que outros ambientes possam ser incorporados.

4.3 Tecnologias de Apoio

As áreas de Realidade Virtual e de Interação Natural do Usuário vêm crescendo constantemente e novas tecnologias vêm sendo desenvolvidas de forma a apoiar esse crescimento.

A seguir são descritas as tecnologias utilizadas no desenvolvimento do protótipo, de forma a facilitar o entendimento do mesmo.

4.3.1 3ds Max

O 3ds Max (anteriormente conhecido como 3D Studio Max) é um programa da Autodesk de modelagem tridimensional que permite renderização de imagens e animações. É muito utilizado em produção de filmes de animação, criação de personagens de jogos em 3D, vinhetas e comerciais para TV, maquetes eletrônicas e na criação de qualquer mundo virtual (Autodesk, 2015).

O software realiza a criação de modelos de alta qualidade, com transparências, sombreamentos, luzes, etc. Possui tecnologia de programação orientada a objetos, ou seja, possui nomes e propriedades que podem ser modificados a qualquer instante e é considerado como um dos softwares de modelagem tridimensional mais utilizados, oferecendo uma solução completa para modelagem, simulação, renderização, animação, entre outros (Almeida, 2007).

4.3.2 Unity®

Unity® é um *engine* (motor) de jogo 3D proprietário e uma IDE criado pela Unity Technologies. O motor cresceu a partir de uma adição de um suporte para a plataforma Mac OS X e depois se tornou um motor multi-plataforma.

Assim como várias outras *engines*, oferece um ecossistema de desenvolvimento com ferramentas próprias para a criação de conteúdo 3D com possibilidade de interação. Também oferece suporte a diversas plataformas como o iOS, Android, PS3, Linux, Web Player com boa qualidade visual e performance. O Unity® ainda suporta sistemas de iluminação, áudio, efeitos especiais e animação oferecendo ao desenvolvedor a possibilidade de testar e editar, simultaneamente, a aplicação que está sendo desenvolvida.

Unity® possui duas versões principais: Unity®Pro, que custa a partir de 75 (setenta e cinco) dólares ao mês, e a versão gratuita, simplesmente chamada Unity®, que pode ser usada tanto para fins educacionais, quanto para fins comerciais. A versão Pro pode ser testada por um período de 30 dias (Unity Technologies, 2015).

A escolha desse motor de jogos foi motivada principalmente pela sua facilidade de uso e popularidade. Atualmente, a Unity Technologies detém 45% de participação no mercado mundial de jogos e 47% dos desenvolvedores a utilizam, sendo mais de 4 milhões de desenvolvedores registrados até o ano de 2015. Seus clientes mais famosos incluem Cartoon Network, Coca-Cola, Disney, Electronic Arts, LEGO, Microsoft, NASA, Nexon, Nickelodeon, Square, Ubisoft e Warner Bros (Unity Technologies, 2015). Além disso, o Unity® possui uma documentação completa e clara, tutoriais bem detalhados e uma comunidade com milhares de membros disponibilizando conteúdo e ajuda aos desenvolvedores mais inexperientes.

Após modelados os objetos no 3ds Max, todo o protótipo foi desenvolvido no Unity®, incluindo as animações dos personagens e integração de câmeras e luzes. Toda a codificação de *scripts* foi feita com o ambiente de desenvolvimento integrado ao motor, chamado MonoDevelop. Algumas de suas funções incluem o auto complemento de código, localização e layout personalizável, e o modo Debug, que possibilita a verificação de cada linha de código durante a execução da aplicação.

4.3.3 Middlewares e Plug-ins

Dada a grande popularização e utilização do Unity®, os desenvolvedores e entusiastas da área de Computação Gráfica vêm criando ferramentas que facilitem a aplicação do mesmo no desenvolvimento de ambientes virtuais para diversos propósitos. De forma a atender a um dos objetivos específicos, uma análise dos middlewares e *plug-ins* disponíveis para Unity® foi realizada, de maneira prática e teórica, a fim de elucidar e apoiar a escolha do MiddleVR no desenvolvimento do protótipo.

Nas próximas sessões estão descritos esses *middlewares*, *toolkits* e *plug-ins* analisados.

4.3.3.1 Sixense Unity plug-in

O *plug-in* da Sixense permite aos desenvolvedores integrar o Razer Hydra nas cenas do Unity®. Uma API intuitiva possibilita a criação de jogos para computador com sensores de movimento, admitindo interação e navegação com seis graus de liberdade (6-DOF).

O *plug-in* é compatível com a versão 4.5.5 ou superior, e possui duas cenas de exemplo. Uma cena com duas mãos animadas e com textura, e a outra cena para acesso a todos os dados do controle, como eixos de rotação, posição e calibração (Razer, 2014).

4.3.3.2 Kinect with MS-SDK

Este é um pacote do Unity®, disponível na Asset Store, que usa vários scripts agrupados em uma pasta. Ele demonstra como usar avatares controlados, gestos detectados ou outras funções relacionadas com o Kinect em seus próprios projetos. Esse *asset* usa o SDK do Kinect, fornecido pela Microsoft, a partir da versão 1.5.

Foi desenvolvido na versão 4.6.1 do Unity®. Logo, é compatível com essa versão ou superiores. Entretanto, esse pacote gratuito está disponível apenas para a primeira versão do Kinect (Kinect v1), havendo outro pacote, pago, para a segunda versão (Kinect v2) (Filkov, 2015).

4.3.3.3 RUIS

Reality-based User Interface System (RUIS) é um *toolkit* de código aberto para criação de aplicações de Realidade Virtual. Segundo o autor, a ideia do RUIS é dar aos desenvolvedores amadores e pouco experientes fácil acesso ao estado da arte dos dispositivos de interação, de modo que eles possam trazer suas inovações para o campo da RV.

O *toolkit* está disponível para Unity® e para Processing, sendo que ambos são ambientes de desenvolvimento amplamente utilizados por muitos desenvolvedores de jogos, artistas, designers e arquitetos. Ele permite a implementação de aplicações nas quais dispositivos como Kinect, Razer Hydra, e Playstation Move são utilizados em conjunto com dispositivos imersivos de visualização como o Oculus Rift.

RUIS inclui um gerenciador de exibição versátil para lidar com vários dispositivos de visualização em simultâneo. Além disso, apresenta renderização em 3D estéreo e rastreamento de cabeça, e suporta o uso de Kinect (1 e 2), Oculus Rift DK2 e PlayStation Move juntos no mesmo sistema de coordenadas. Os desenvolvedores podem implementar e testar aplicações de controle de movimento mesmo com apenas mouse e teclado, os quais são emulados como dispositivos de entrada 3D. O *toolkit* tem sido usado para ensinar conceitos de Realidade Virtual e implementação de aplicativos por cinco anos consecutivos

no curso de Realidade Virtual da Universidade de Aalto na Finlândia (Takala & Pugliese, 2015).

4.3.3.4 InstantVR Free

Disponível na Asset Store do Unity®, o Instant VR foi desenvolvido de modo a auxiliar desenvolvedores de sistemas de RV com avatares animados. Baseia-se na cinemática avançada oferecida pelo pacote Body Movements VR lançado no início do ano de 2016 pelo Passer VR. Isto assegura que o avatar pode ser animada de um modo natural, com rotação e movimento de até seis *targets*.

A versão 2 da ferramenta inclui uma melhora importante. Em situações de rastreamento em pé, o jogador tende a mover-se para longe da posição de partida. Isso é chamado de *physical drift* e muitos proprietários do Razer Hydra reconhecem a necessidade de recalibrar muitas vezes para compensar isso. Em combinação com o Oculus Rift DK2, esta condição é corrigida automaticamente. Instant VR vem com dois avatares baseados no MakeHuman⁴: um com 54 *bones*, permitindo movimentos mais realísticos, e outro com 36 *bones*, garantindo melhor performance (Serrarens, 2014).

4.3.3.5 MiddleVR for Unity®

MiddleVR é um *middleware* com duas funções principais: simplificar o desenvolvimento de aplicações de Realidade Virtual, e ser adaptável tanto para diferentes dispositivos de interação quanto para diferentes aplicações 3D. Na sua essência, MiddleVR é uma biblioteca de manipulação de todos os aspectos de uma aplicação de RV: dispositivos de entrada, estereoscopia, *clustering* e interações. Oferece APIs (interfaces de programação de aplicativos) em C++ e C#, e uma interface gráfica do usuário para configurar um ambiente virtual.

O *middleware* é genérico, ou seja, não depende de nenhuma *engine* 3D em particular e foi concebido para ser usado em diferentes tipos de aplicações 3D. Isto significa que, para cada motor 3D, uma pequena interface tem que ser criada. Essa interface irá fazer a ponte entre o MiddleVR e o motor 3D, como mostrado na Figura 14. Ele irá configurar nós 3D, *viewports*, e dar acesso aos dispositivos. Apesar disso, há um *plug-in* para o Unity®, com as

⁴ MakeHuman é um software open source, escrito em C++ e Python, que gera modelos humanoides em 3D.

seguintes funcionalidades: visualização com perspectiva centrada no usuário, suporte a dispositivos de interação com rastreamento 3D, estereoscopia ativa e passiva, sincronização de multi telas com alta resolução, interações 3D como navegação e manipulação, menus imersivos, interface gráfica personalizável (em HTML5) e possibilidade de exibição de páginas web no mundo virtual (MiddleVR, 2015).

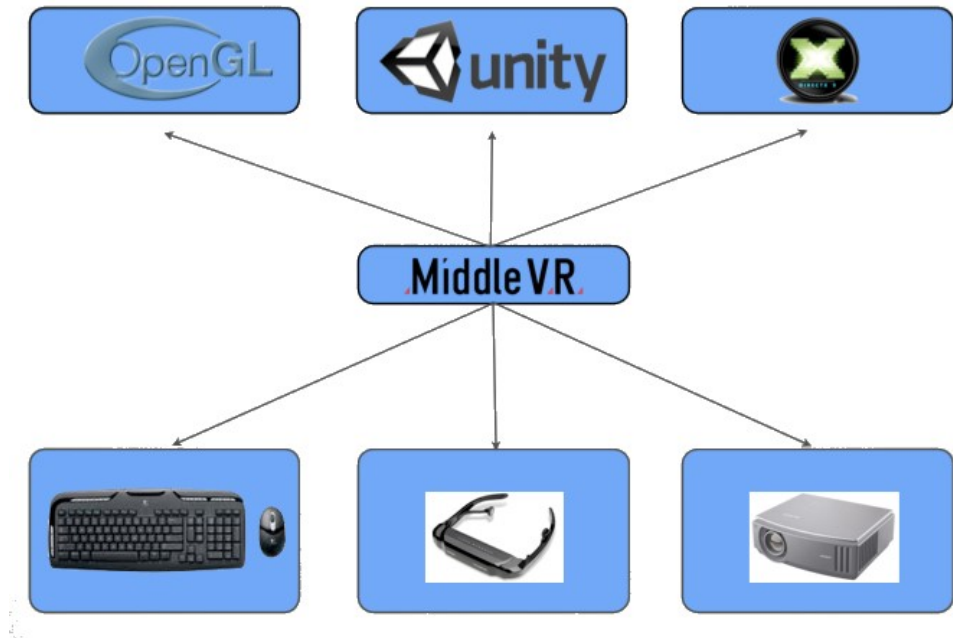


Figura 14 Arquitetura do MiddleVR (MiddleVR, 2015)

4.4 Considerações finais

Neste Capítulo foi apresentada e descrita a arquitetura do protótipo desenvolvido, bem como as tecnologias de apoio utilizadas durante sua implementação. O próximo Capítulo trata dos detalhes da implementação e de como o sistema funciona.

Capítulo 5

Detalhes da Implementação e

Funcionamento do Sistema

5.1 Introdução

Este Capítulo apresenta os detalhes da implementação e do funcionamento do protótipo IDIN. Para completo entendimento da abordagem proposta são descritos a estrutura do protótipo, bem como suas principais funções, comandos e, especialmente, a configuração necessária para que os dispositivos Kinect e Hydra comuniquem entre si e com o ambiente virtual.

5.2 Estrutura do protótipo

A Camada de Comunicação é a mais importante do sistema, visto que é nela que a integração dos dispositivos é implementada. A seguir, são descritas como cada dispositivo se comunica com o AV e permite a interação natural do usuário.

5.2.1 Interface gráfica

A Figura 15 apresenta a interface principal do IDIN. O projeto no Unity® possui duas cenas: a cena principal, a qual simula um ambiente urbano com prédios, casas, iluminação pública, semáforos, carros e pessoas; e a cena do interior da maleta de ferramentas, a qual possibilita apenas a visualização e seleção da ferramenta adequada.



Figura 15 Interface principal

5.2.2 Configuração e fluxo de trabalho

Como descrito na arquitetura do sistema apresentada no Capítulo 4, a comunicação entre o Ambiente Virtual e os dispositivos é feita pelo *middleware* MiddleVR, o qual abstrai a necessidade de lidar diretamente com os drivers e SDKs dos dispositivos.

O fluxo de trabalho do MiddleVR exige uma descrição do Sistema de Realidade Virtual, na qual especifica-se quais e como os dispositivos são utilizados para interação nesse SRV. Essa descrição gera um arquivo XML de configuração, com a extensão *.vrxml*. O *middleware* usará esse arquivo para configurar a aplicação 3D de forma a implementar a descrição. Os dados salvos nesse arquivo representam a descrição de como o (s) dispositivo (s) interagem com o mundo real, incluindo onde as telas físicas estão mapeadas no mundo real (*viewport*), onde cada câmera é renderizada e como é feito o rastreamento de cada parte do corpo humano (*3D nodes*).

Apesar da interface gráfica amigável do MiddleVR, a correta configuração do SRV não é tarefa trivial, pois implica no conhecimento de algumas informações e tomadas de decisão referentes a como os dados advindos do dispositivo estão relacionados ao mundo real. A primeira decisão a ser tomada é onde será, no mundo real, a origem do SRV, ou seja, um ponto arbitrário no espaço de coordenadas (0, 0, 0). Para todos os rastreadores suportados, há uma posição no espaço na qual o dispositivo retornará (0, 0, 0). Porém, para o caso de configuração de mais de um dispositivo de interação com origens diferentes, é importante mover os pontos de origem padrão para um mesmo ponto comum, o que garantirá dados

de rastreamento coerentes e homogêneos entre eles. Outra decisão a ser tomada se refere a “orientação neutra”, isto é, uma rotação arbitrária no espaço onde os eixos normal (*yaw*), lateral (*pitch*) e longitudinal (*roll*) são iguais a zero ($yaw = pitch = roll = 0$).

A estratégia de integração idealizada foi configurar o Kinect para rastrear a cabeça do usuário, e o Hydra para rastrear as mãos do usuário. O sistema, na Camada de Comunicação, mapeia a posição e orientação da cabeça, armazena os dados obtidos em uma matriz de transformação e retorna essa informação como o direcionamento da câmera do AV. De forma análoga, a posição e a orientação das mãos do usuário também são mapeadas e representadas na cena 3D.

Para o protótipo a ser validado foram criados dois arquivos de configuração distintos. Um arquivo que utiliza o Hydra e o Kinect para interação, e um arquivo de controle que utiliza apenas o Hydra. Esse último foi utilizado apenas para a aplicação dos testes, como forma de comparação entre as abordagens.

A descrição *HydraKinect.vrx* criada delimita o Hydra como *HandNode*. Isto implica no rastreamento em seis graus de liberdade (*x, y, z, yaw, pitch, roll*) da mão do usuário. A origem do Hydra é mapeada quando os controles estão posicionados na base. O Kinect, por sua vez, possui rastreamento de corpo inteiro. Logo, foi necessária a escolha de um dos 20 *joints* capturados para ser a câmera (*HeadNode*), como mostrado na Figura 16.

O arquivo de configuração *RazerHydra.vrx*, utilizado para comparação com a abordagem proposta, foi criado utilizando o controle esquerdo (*tracker 0*) como *HeadNode* e o controle direito como *HandNode* (Figura 17).

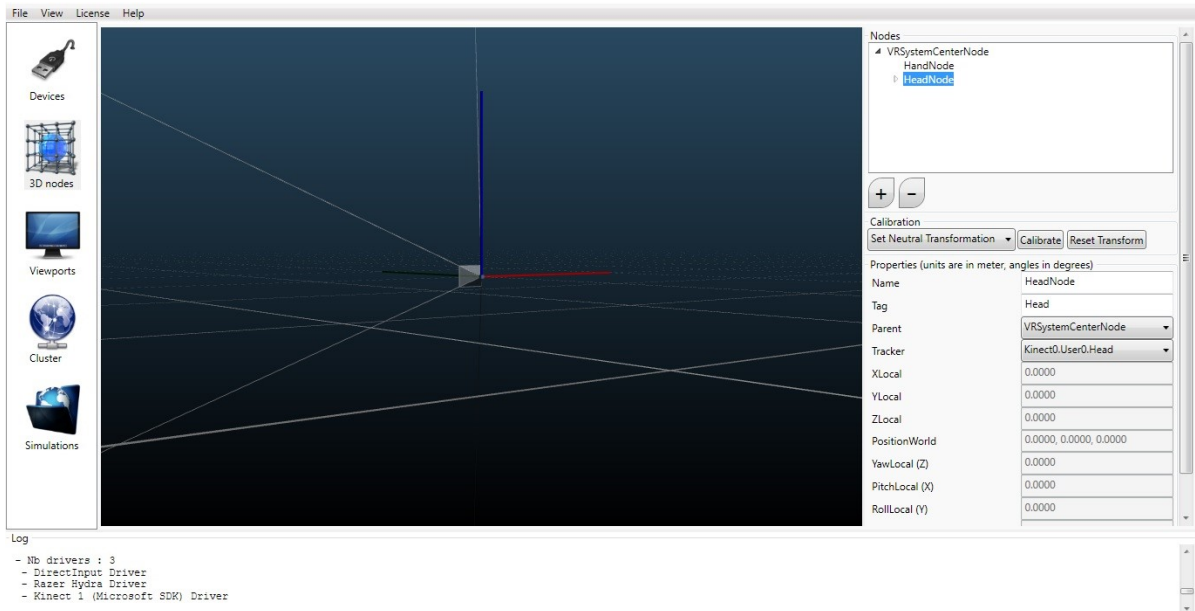


Figura 16 Configuração do arquivo HydraKinect

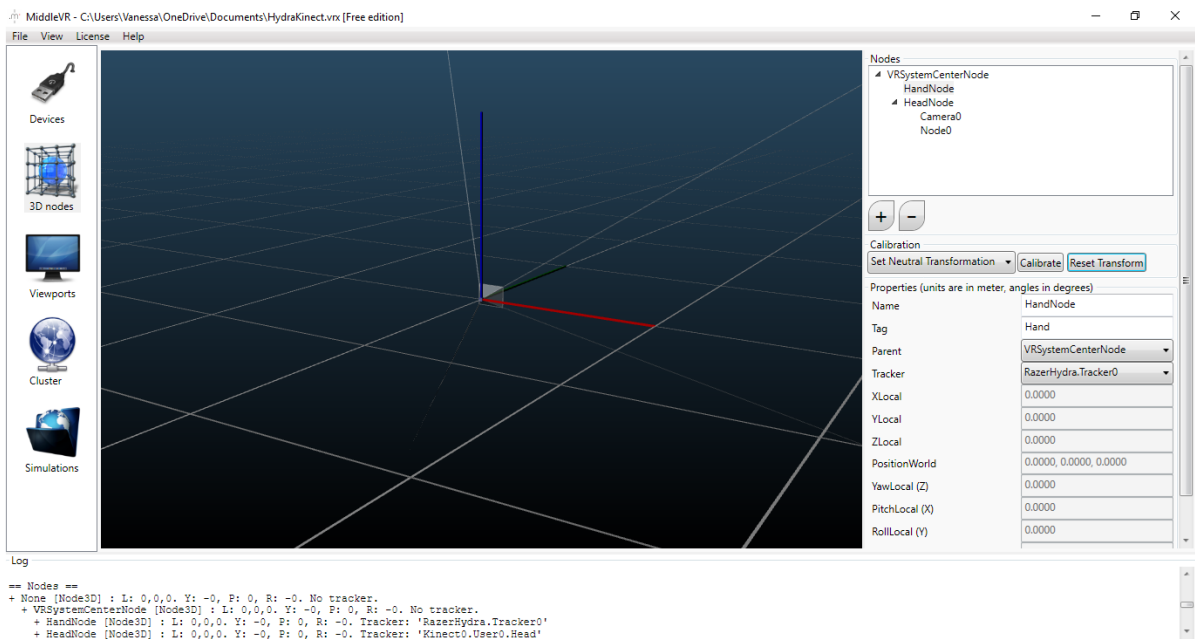


Figura 17 Configuração do arquivo RazerHydra

5.3 Rastreamento e Interação

Após a modelagem e/ou importação de todos os objetos 3D e montagem das cenas no Unity®, a estratégia de interação foi implementada. O MiddleVR é integrado ao Unity® por meio de um *plugin*, como descrito no Capítulo 4. Para que ele faça a ponte *driver-engine* é

preciso instanciar o *prefab*⁵ *VRManager* na cena. Esse *prefab* contém os diversos *scripts* que implementam as funções de interação por navegação, seleção e manipulação dos objetos na cena. No principal deles, *VRManager Script*, foram alteradas, como ilustrado na Figura 18, as seguintes propriedades:

- **ConfigFile:** essa propriedade especifica o caminho (absoluto ou relativo) do arquivo de configuração que será usado, conforme descrito na seção 5.3;
- **VRSystemCenterNode:** especifica o *GameObject* que será usado como a origem do sistema na hierarquia do projeto;
- **TemplateCamera:** essa propriedade duplica a câmera (*Main Camera*) ao invés de criar novas câmeras para cada uma especificada na cena. É particularmente útil para aproveitar os *scripts* criados para as outras câmeras da cena.

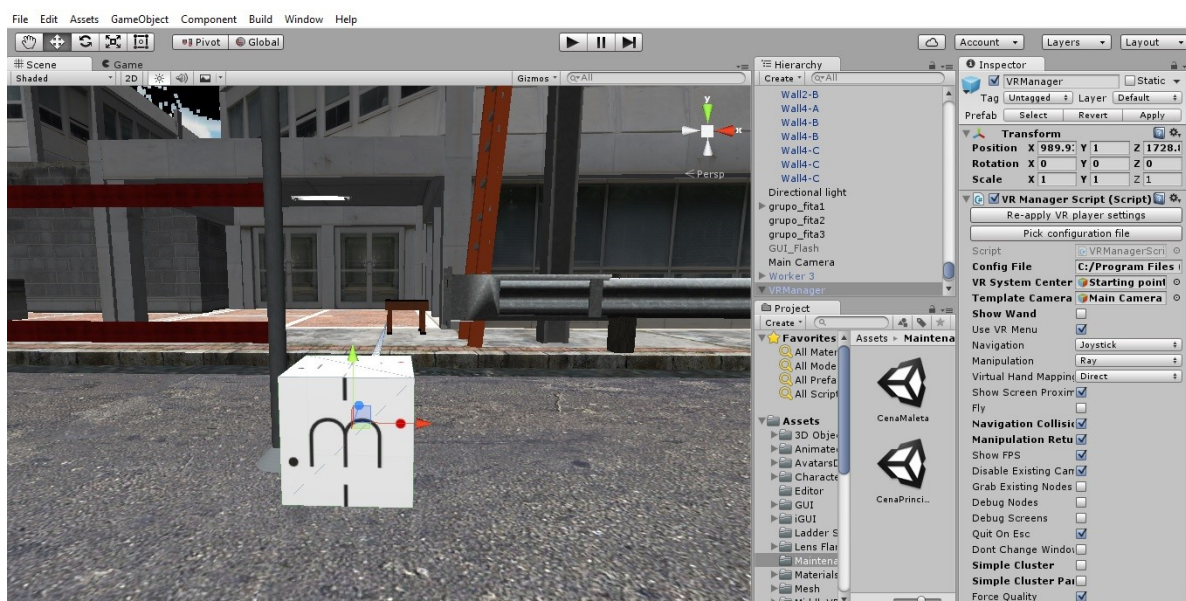


Figura 18 Interface do script *VRManager*

5.3.1 Navegação no Ambiente Virtual

Uma vez inicializado, o protótipo renderiza a cena principal, podendo o usuário navegar em primeira pessoa, ou seja, ele não possui avatar. A única parte do corpo virtual que o usuário vê são as mãos, em razão da seleção e manipulação dos objetos. A navegação é realizada

⁵ *Prefabs* são modelos a partir dos quais pode-se criar novas instâncias de objetos em cenas do Unity (Unity Technologies, 2015).

por meio dos botões analógicos do Hydra e a câmera é controlada pelo Kinect. Os objetos na cena possuem tratamento de colisão, o que aumenta o realismo e a imersão no sistema.

A navegabilidade não é controlada, levando o usuário a ter que explorar a cena para conhecer e identificar os objetos.

5.3.2 Seleção e Manipulação dos objetos

A tarefa do usuário é selecionar alguns objetos e manipulá-los diretamente, como se estivesse pegando um objeto real. O usuário deve se aproximar do objeto desejado e, através do botão *trigger* do Hydra, selecionar o mesmo. Enquanto o *trigger* estiver sendo usado, o objeto fica preso à mão virtual. Uma vez liberado o botão, o objeto reproduz a mesma ação.

As mãos virtuais foram importadas do *plugin* que a Sixense disponibilizou para o Unity®, como ilustrado na Figura 19. Elas possuem as animações de apontar (*Point*), apertar (*GripBall*), segurar (*HoldBook*) e inativo (*Idle*).

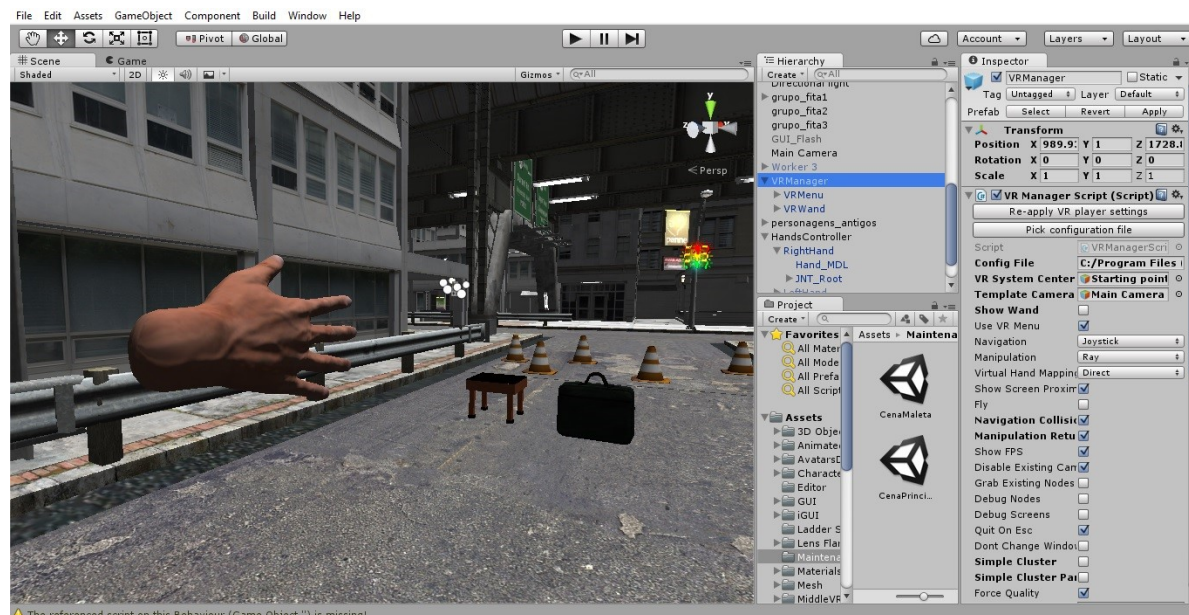


Figura 19 Modelo da mão virtual

5.3.3 Menu virtual

Além de interagir com o cenário 3D, o usuário tem a opção de alterar os modos de navegação, seleção e manipulação por meio de um menu virtual 2D. Esse menu é apresentado ao usuário, a qualquer momento da interação, caso o mesmo aperte o botão 3

do controle Hydra. Esse botão também é o responsável pela animação de apontamento (*Point*).

Nesse menu, o usuário alternar o tipo de navegação entre a) *joystick*: a navegação é feita na direção para a qual a mão virtual está apontada; b) *elastic*: altera a velocidade de navegação dependendo do quanto o usuário estica um elástico virtual; c) *grab the world*: utiliza a metáfora de “puxar” o ambiente na direção do usuário.

Os métodos de manipulação também podem ser alterados através do menu virtual. As opções são a) *ray*: utiliza um raio de seleção para manipular o objeto, similar a colocar o objeto em um “espeto” para movimentá-lo; b) *homer*: o objeto é manipulado pela posição da mão do usuário.

5.4 Considerações finais

Neste Capítulo foram descritos os detalhes da implementação do protótipo bem como o funcionamento do mesmo. Os algoritmos e diagramas envolvidos foram aqui suprimidos a fim de priorizar as técnicas de interação implementadas.

Capítulo 6

Avaliação Experimental

6.1 Introdução

Neste capítulo será descrita a metodologia utilizada para a realização da avaliação do protótipo. A avaliação tem como objetivos principais: testar a extensão e acessibilidade da funcionalidade do sistema, a fim de estimar a experiência de interação dos usuários, e identificar quaisquer problemas específicos com o mesmo.

6.2 Metodologia para Avaliação Experimental

De acordo com Alan Dix *et al* (Dix, Finlay, Abowd, & Beale, 2004), um dos mais poderosos métodos para avaliação de interfaces ou de algum aspecto de interface é baseado em avaliação experimental, ou seja, por meio de experimentos controlados. A avaliação experimental promove evidência empírica para sustentar uma determinada hipótese.

Qualquer experimento possui a mesma forma básica. O avaliador deve escolher uma hipótese para teste, a qual pode ser determinada medindo algum atributo do comportamento do participante do experimento. Um número de condições experimentais é considerado, diferindo apenas nos valores de certas variáveis controladas. Alterações nas medidas comportamentais são atribuídas às diferentes condições. Existe, porém, uma série de fatores que são importantes para a confiabilidade global do experimento, os quais devem ser considerados com cuidado na análise experimental. Estes incluem os participantes escolhidos, as variáveis testadas e manipuladas, e a hipótese testada (Dix, Finlay, Abowd, & Beale, 2004).

6.2.1 Definição dos participantes, hipóteses e variáveis

A escolha dos participantes é parte fundamental para o sucesso de um experimento e sua consequente análise de resultados. Eles devem ser selecionados de forma a corresponder, tanto quanto possível, à população de usuários esperada. Idealmente, isso implicará na realização de testes com usuários reais do sistema, o que nem sempre é possível. Portanto,

se os participantes do experimento não são os usuários reais, os escolhidos devem ter idade e nível de escolaridade similares à categoria de usuários pretendido para o sistema (Dix, Finlay, Abowd, & Beale, 2004). Além disso, o tamanho da população voluntária também é fator de influência nos resultados. Dix *et al* recomendam que são necessários no mínimo 10 (dez) participantes para controlar o experimento.

Para a avaliação experimental do protótipo IDIN, um grupo de 12 (doze) alunos, com idades entre 19 (dezenove) e 24 (vinte e quatro) anos, do Curso de Ciência da Computação da Universidade Federal de Goiás (UFG) – Regional Jataí foram selecionados. Como o protótipo é voltado para treinamento e simulação de manutenção de sistemas de energia elétrica, podendo ser aplicado em aulas específicas dos cursos de Engenharia Elétrica, a similaridade de idade, de nível de escolaridade e por serem áreas correlatas valida a participação do grupo escolhido.

A segunda etapa da concepção do experimento consistiu no delineamento da hipótese, a qual deve ser a predição do resultado da avaliação experimental. Ela foi moldada em termos de variáveis independentes e dependentes, indicando que uma variação na independente causará uma diferença na variável dependente. O objetivo do experimento foi mostrar que a predição está correta (Dix, Finlay, Abowd, & Beale, 2004).

Visto que o propósito desta pesquisa é demonstrar que a integração de dispositivos provê melhorias na qualidade da interação em ambientes virtuais, a seguinte hipótese (h_1) foi levantada:

A interação em AV's utilizando o Kinect e o Hydra combinados é melhor que a interação utilizando apenas o Hydra.

Nesse caso, a hipótese nula (h_0) é a de que as duas abordagens não apresentam diferenças em relação à qualidade da interação.

A terceira etapa foi a identificação das variáveis, sendo elas de dois tipos: variáveis independentes, dito àquelas que são manipuladas, e variáveis dependentes, as quais são medidas. A variável independente foi identificada por h_1 , sendo ela a variação dos dispositivos de interação, e possuindo dois níveis: Hydra e Kinect + Hydra. As variáveis dependentes, por sua vez, foram definidas para quantificar a expressão “melhor” descrita na hipótese. Para esse efeito, assumiu-se que a indicação de “melhor interação” foi dada pelo tempo necessário para completar a tarefa proposta (variável Tempo), e pela facilidade

de uso (variável Usabilidade) – habilidade do usuário em melhorar seu desempenho com a experiência (Bowman, Kruijff, LaViola, & Poupyrev, 2005).

6.2.2 Escolha do método experimental e da análise estatística

A escolha do método experimental depende dos recursos disponíveis, do modo de transferência ou controle de aprendizagem, e da representatividade do grupo de participantes (Dix, Finlay, Abowd, & Beale, 2004). Para esta avaliação optou-se pelo método de medidas repetidas (*repeated measures* ou *within-subjects*), no qual cada participante testa todas as condições propostas, a saber, ambiente virtual com interação apenas com o Hydra, e ambiente virtual com interação combinada Kinect + Hydra. De modo a reduzir os efeitos da transferência de aprendizado, a ordem de teste entre os grupos foi alternada. A opção por esse método foi considerada mais adequada pois, como requer um número pequeno de participantes, há menos chances de efeitos da variação entre os participantes, e é particularmente efetivo quando há aprendizado envolvido (Dix, Finlay, Abowd, & Beale, 2004).

O último passo para o *design* do experimento foi a escolha da técnica de análise estatística, com o intuito de analisar os dados obtidos no mesmo e produzir os resultados. Com base na sugestão oferecida por (Dix, Finlay, Abowd, & Beale, 2004), e apresentada na Tabela 5, tendo a variável independente como bi valorada, e as variáveis dependentes com distribuição normal, o procedimento estatístico adotado foi o Teste t (*Student's t test*) de diferenças entre médias. Há diferentes abordagens para o Teste t, dependentes do espaço amostral e da população. Uma vez que as duas amostras se tratam da mesma população, porém em momentos diferentes (sistema com o Hydra, e sistema com o Kinect e o Hydra), foi aplicado o Teste t pareado, no qual a hipótese nula (h_0) é dada pela diferença entre as médias igual a zero, e a hipótese alternativa (h_1) é dada pela diferença entre as médias maior que zero, ou seja, a média de tempo para completar as tarefas utilizando apenas o Hydra deve ser maior que a média de tempo utilizando a integração Kinect e Hydra.

Tabela 5 Sugestões de métodos estatísticos (adaptado de (Dix, Finlay, Abowd, & Beale, 2004))

Variável independente	Variável dependente	Sugestão
Paramétrica		
Bi valorada	Normal	Teste t de diferença entre médias
Discreta	Normal	ANOVA
Contínua	Normal	Regressão linear (ou não linear)
Não-paramétrica		
Bi valorada	Contínua	Teste de Wilcoxon (ou Mann–Whitney)
Discreta	Contínua	Versões de soma ANOVA
Contínua	Contínua	Correlação de Spearman
Testes de contingência		
Bi valorada	Discreta	Nenhum teste específico, veja próxima entrada
Discreta	Discreta	Tabela de contingência e Teste Chi-quadrado
Contínua	Discreta	(Raro) Grupo variável independente e, em seguida, como descrito acima

6.2.3 Testes e coleta dos dados

Após finalizada a modelagem do experimento, os testes foram aplicados e os dados coletados e armazenados. Os participantes foram divididos aleatoriamente em dois grupos (A e B), e foi assinalada a mesma tarefa para ambos os grupos realizarem no ambiente virtual. Para completar a tarefa, os usuários utilizaram três técnicas de interação: navegação, seleção e manipulação. A tarefa consistia em sete passos, descritos a seguir:

1. Navegar pelo ambiente virtual até se aproximar da maleta de ferramentas;
2. Selecionar a ferramenta chave inglesa;
3. Navegar até a banquetta isolante;
4. Selecionar a banquetta;
5. Mover a banquetta até a calçada, abaixo da escada;
6. Navegar até os cones de sinalização;
7. Colocar os cones emparelhados na rua para fazer o isolamento da área.

Devido a característica monousuário do sistema, cada participante realizou o teste isoladamente, sem a presença dos demais. O grupo A testou o nível Hydra em um primeiro momento e o nível Kinect + Hydra em um segundo momento. Já o grupo B realizou o teste em ordem inversa: primeiramente testou o nível Kinect + Hydra, e posteriormente, o nível Hydra.

Os tempos dispendidos por cada participante para a finalização da tarefa foram coletados e tabulados, de forma a compor a variável dependente Tempo na análise dos resultados. Para fornecer os valores da variável Usabilidade, os participantes responderam a um questionário pós-teste (Apêndice 1) com respostas de medidas escalares (escala *Likert*⁶). O desenvolvimento do questionário baseou-se método de averiguação de usabilidade denominado SUS (System Usability Scale) (Brooke, 1996). O SUS é uma escala numérica de usabilidade bastante popular pelo fato de apresentar um balanço interessante entre ser cientificamente apurado e ao mesmo tempo não ser extremamente longo para o usuário nem para o avaliador. Suas perguntas foram criadas, e podem ser adaptadas, para auxiliarem a avaliação de efetividade e eficiência do sistema, e satisfação do usuário perante o sistema (Lewis, 2006).

6.3 Considerações finais

Neste capítulo foi descrita a Avaliação Experimental realizada com o intuito de validar o protótipo desenvolvido como prova de conceito da proposta de integração de dispositivos em ambientes virtuais. No próximo capítulo são apresentados os resultados obtidos através do experimento efetuado.

⁶ Tipo de escala de resposta psicométrica usada habitualmente em questionários.

Capítulo 7

Análise dos Resultados

7.1 Introdução

Neste Capítulo são apresentados os resultados obtidos a partir dos testes realizados em ambiente real e controlado. Por meio da metodologia escolhida para os testes, as variáveis Tempo e Usabilidade foram coletadas, refinadas e são apresentadas a seguir.

7.2 Análise da variável Tempo

Conforme descrito no Capítulo anterior, a variável dependente Tempo foi gerada como a medição do tempo total gasto por participante para que a tarefa fosse completada. A Tabela 6 apresenta os dados gerados para cada nível avaliado (Hydra e Kinect + Hydra). Para que fosse possível aplicar o Teste t pareado, os dados foram submetidos à um teste de normalidade, de forma a verificar se apresentavam distribuição normal, o que foi comprovado.

Tabela 6 Análise do tempo dispendido para completar a tarefa

Nº do participante	Grupo	Tempo Hydra (s)	Tempo Kinect + Hydra (s)
1	A	342	320
2	A	301	290
3	A	356	269
4	A	251	205
5	A	267	205
6	A	378	309
7	B	226	315
8	B	433	254
9	B	328	267
10	B	381	288
11	B	304	354
12	B	375	280
Média		328,5	279,6666667
Desvio Padrão		60,96123955	44,23148474

Como pode ser visto na Tabela 6, salvo duas exceções (participantes 7 e 11), os demais (83,3% dos participantes) gastaram menos tempo para finalizar a tarefa utilizando os dispositivos integrados. Uma das possíveis razões para essas exceções é o fato desses participantes serem jogadores ávidos e estarem mais acostumados com o manuseio de *joysticks* do que com a interface de corpo livre do Kinect.

O teste *t* pareado foi calculado por meio do software Minitab, software de análise estatística no mercado há mais de 40 anos (Minitab, 2017). A Figura 20 apresenta o relatório resumido dos resultados gerados pelo Teste *t* pareado para as amostras H (sistema com Hydra) e K+H (sistema integrando Kinect e Hydra). Conforme exposto no Capítulo 6, a hipótese alternativa deveria ser a média das diferenças pareadas maior que zero. O valor-*p* informa quão provável seria obter a distribuição das diferenças, com média e desvio padrão específicos, se (h_0) for verdadeira. O nível de risco aceitável ao considerar a conclusão quando ela não for verdadeira, chamado de nível α , foi de 0,05, o qual é o valor comumente utilizado para esse teste. Para os dados analisados e conforme Figura 20, o valor-*p* associado é 0,017, o que indica que só há uma chance de 1,7% de obter a diferença da amostra se a média das diferenças fosse 0. Além disso, foi possível concluir, com 95% de confiança, que a verdadeira diferença da média é maior do que 12,464 (limite inferior).

Como a amostra tem menos de 30 elementos, a variável de teste utilizada foi a variável t_{n-1} , onde n é o tamanho da amostra, da distribuição *t* de *Student*, de acordo com a tabela apresentada no Apêndice 2 (adaptada de (Barbetta, 2010)). Uma vez que h_1 deve ser maior que zero, o teste foi unilateral (também chamado unicaudal) com $n-1$ graus de liberdade. Para o tamanho da amostra igual a 12, tem-se da distribuição *t* de Student com 11 graus de liberdade e confiança de 95% que $t_{n-1} = 1,796$. O valor *t* resultante foi 2,41. Assim, como $1,796 = t_{n-1} < 2,41 = t$, concluiu-se que há evidência para rejeitar a hipótese nula de que as médias são iguais, ou seja, há evidências de que o tempo gasto pelos participantes para a realização das tarefas utilizando a integração Kinect e Hydra foi menor que o tempo dispendido utilizando apenas o Hydra. Com isso, pode-se assumir a melhoria na eficiência do sistema proposto.

O Gráfico 1 mostra a diferença média entre as observações pareadas (\bar{X}), o intervalo de confiança (linha e os colchetes nos dois lados da média) e o valor de referência da hipótese nula ($H_0 = 0$). Com o intervalo de confiança de 95% da diferença da média, observa-se que a

diferença de médias é maior que 0. Como apresentado no Gráfico 1, H_0 está fora do intervalo de confiança. Logo, pode-se inferir que h_1 é maior que 0, aceitando assim a hipótese alternativa.

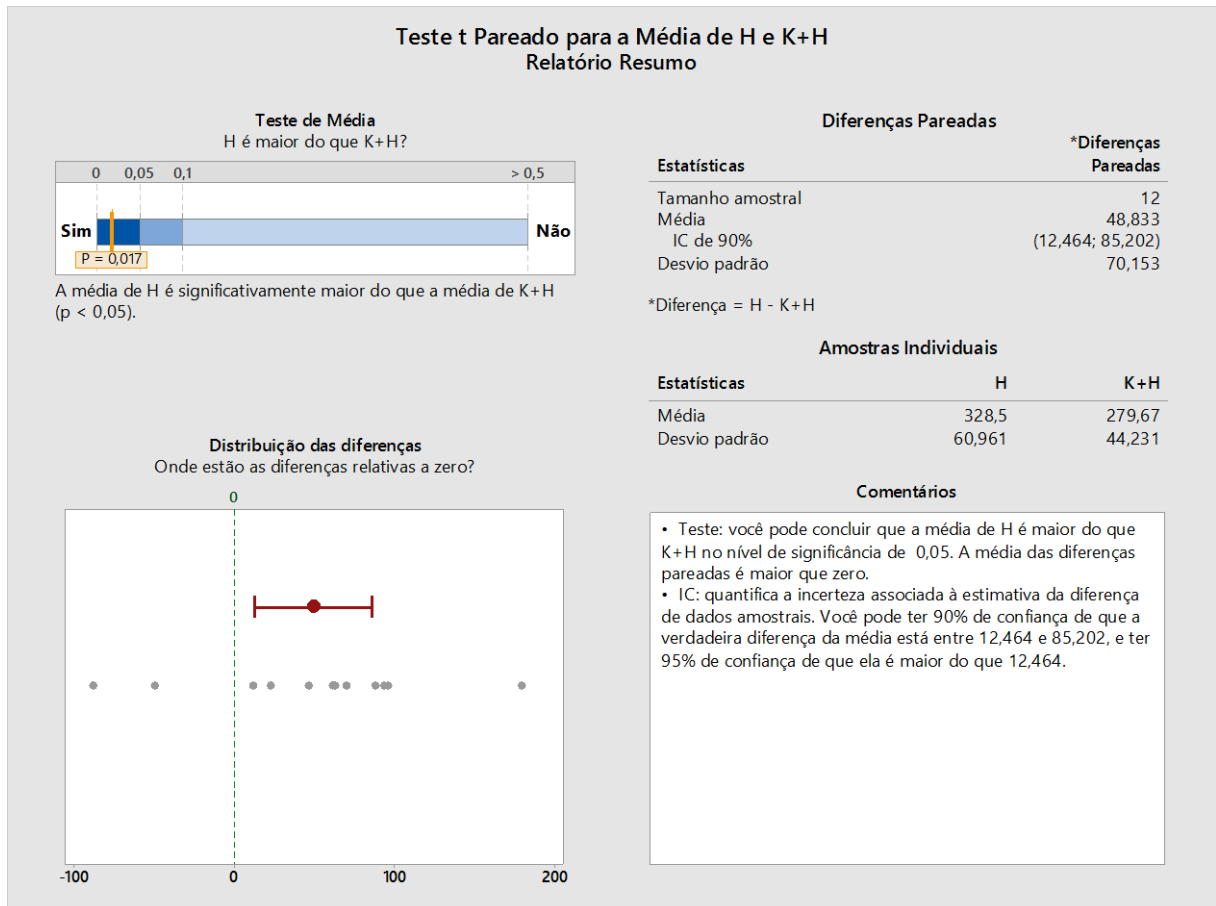


Figura 20 Relatório gerado pelo Teste t pareado para a variável Tempo

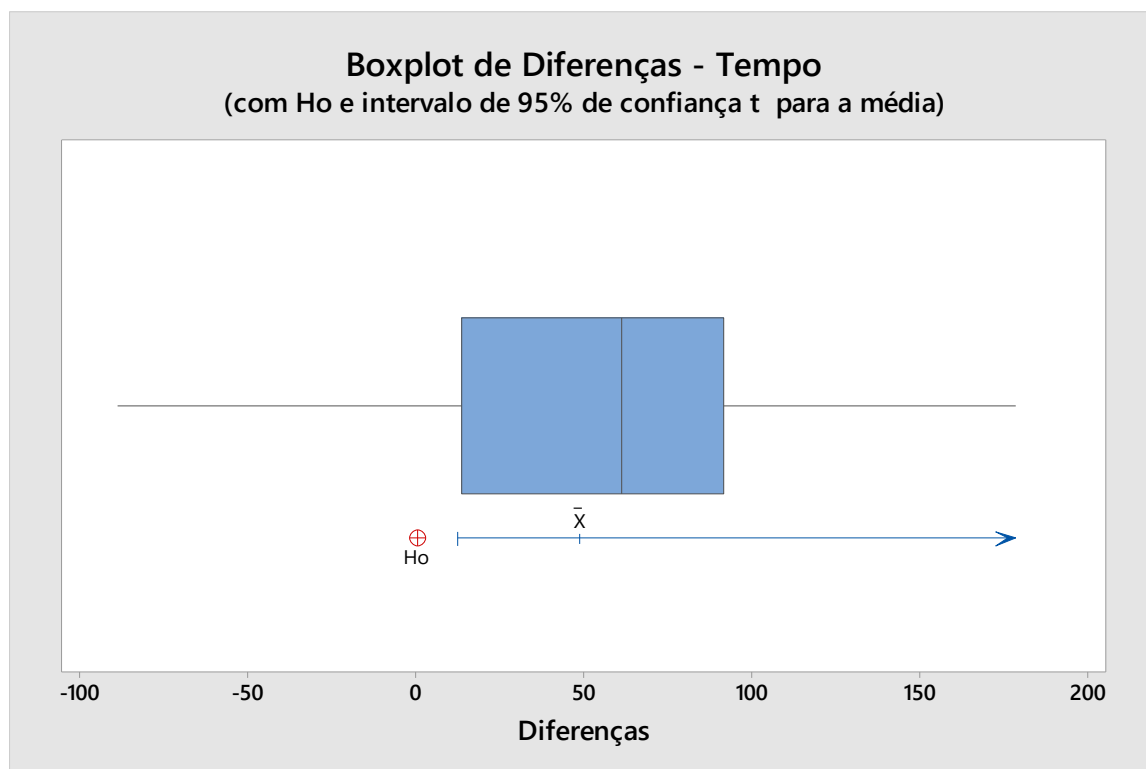


Gráfico 1 Distribuição das diferenças da variável Tempo

7.3 Análise da variável Usabilidade

A variável Usabilidade, de característica qualitativa, foi quantizada e normalizada de forma a se adequar ao formato exigido pela análise estatística escolhida. A Tabela 7 Resultados obtidos após aplicação do teste SUS para o nível Hydra apresenta os valores obtidos a partir das respostas ao questionário de usabilidade utilizando a escala SUS para o sistema de teste utilizando apenas o Razer Hydra. Já a Tabela 8 Resultados obtidos após aplicação do teste SUS para o nível Kinect+Hydra apresenta os valores obtidos para o sistema de teste composto pela integração do Kinect com o Razer Hydra.

A média do teste SUS é 68 pontos (Lewis, 2006). Para calcular o *score* SUS deve-se primeiramente somar as contribuições de cada pergunta, a qual varia de 0 a 4. Para as perguntas ímpares (1, 3, 5, 7 e 9), a contribuição de pontuação é a posição da escala (de 1 a 5) menos 1. Para as perguntas pares (2, 4, 6, 8 e 10), a contribuição é 5 menos a posição da escala. Esses valores estão indicados na Tabela 7 e na Tabela 8 pelo nome SS (número da questão). Após calculados os valores das contribuições de cada pergunta, deve-se multiplicar a soma desses valores por 2,5, de forma a obter o SUS final (Brooke, 1996). Na Tabela 7 é possível verificar que para quatro dos doze participantes (participantes 4, 6, 8 e 10) o sistema possui

problemas de usabilidade quando utilizado apenas o Hydra. De mesmo modo, na Tabela 8 observa-se que apenas dois participantes (participantes 6 e 7) classificaram o nível Kinect+Hydra abaixo da média SUS.

A Figura 21 apresenta o relatório resumido dos resultados gerados pelo Teste t pareado para os valores SUS H (sistema com Hydra) e SUS K+H (sistema integrando Kinect e Hydra). O nível α foi de 0,05. Para os dados analisados e conforme Figura 21, o valor- p associado é 0,009, o que indica que só há uma chance de 0,9% de obter a diferença da amostra se a média das diferenças fosse 0. Além disso, foi possível concluir, com 95% de confiança, que a verdadeira diferença da média é menor do que -2,1551 (limite superior).

Seguindo as mesmas especificações da avaliação da variável Tempo, a variável de teste utilizada aqui foi a variável t_{n-1} , onde n é o tamanho da amostra, da distribuição t de Student, de acordo com a tabela apresentada no Apêndice 2 (adaptada de (Barbetta, 2010)). Uma vez que h_1 deve ser maior que zero, o teste foi unilateral (também chamado unicaudal) com $n-1$ graus de liberdade. Para o tamanho da amostra igual a 12, tem-se da distribuição t de Student com 11 graus de liberdade e confiança de 95% que $t_{n-1} = -1,796$. O valor t resultante foi -2,791. Assim, como $-1,796 = t_{n-1} > -2,791 = t$, concluiu-se que há evidência para rejeitar a hipótese nula de que as médias são iguais, ou seja, há evidências de que a usabilidade do sistema integrando Kinect e Hydra seja melhor que o sistema que utiliza apenas o Hydra.

O Gráfico 2 mostra a diferença média entre as observações pareadas (\bar{X}), o intervalo de confiança (linha e os colchetes nos dois lados da média) e o valor de referência da hipótese nula ($H_0 = 0$). Com o intervalo de confiança de 95% da diferença da média, observa-se que a diferença de médias é menor que 0. H_0 está fora do intervalo de confiança. Logo, pode-se inferir que h_1 é menor que 0, aceitando assim a hipótese de que a integração dos dispositivos provê melhoria na usabilidade do sistema.

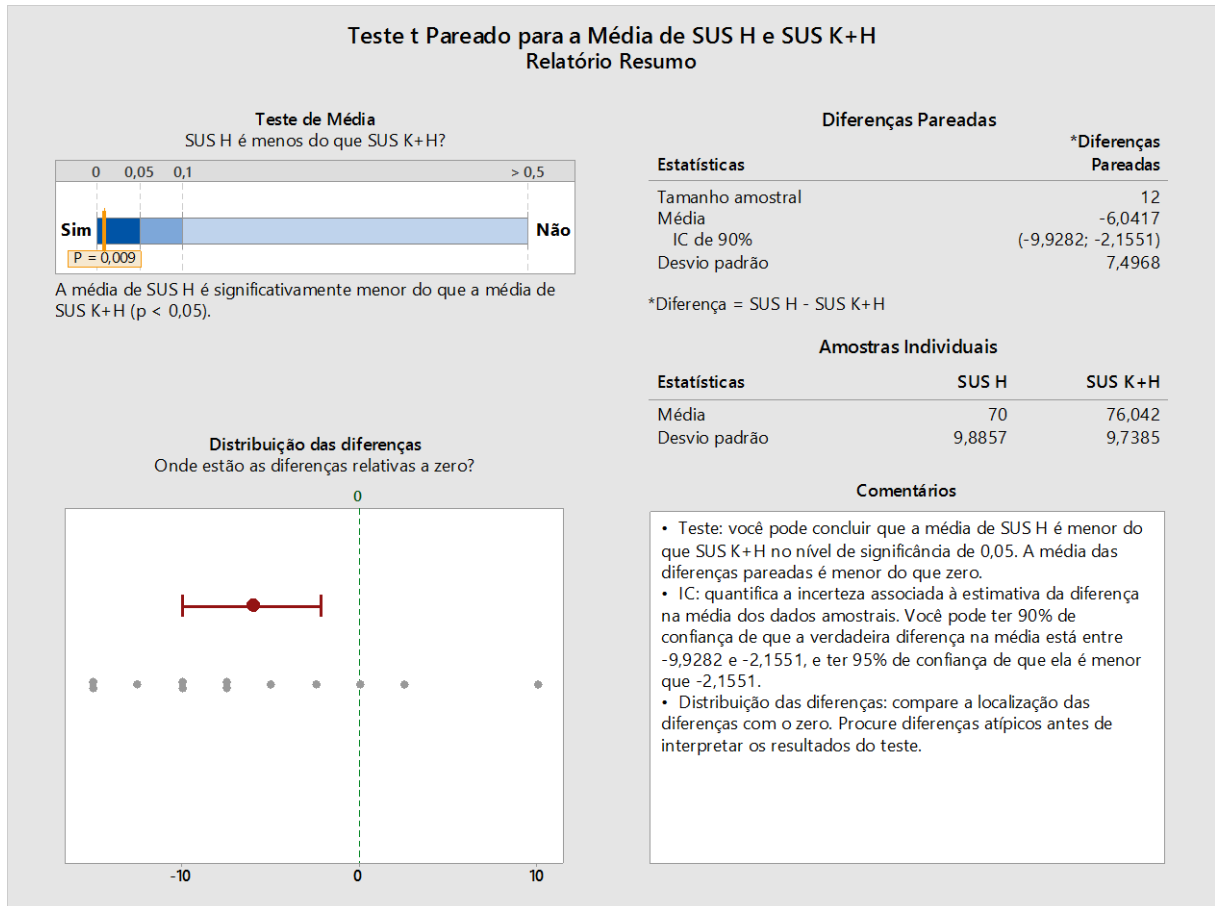


Figura 21 Relatório gerado pelo Teste t pareado para a variável Usabilidade

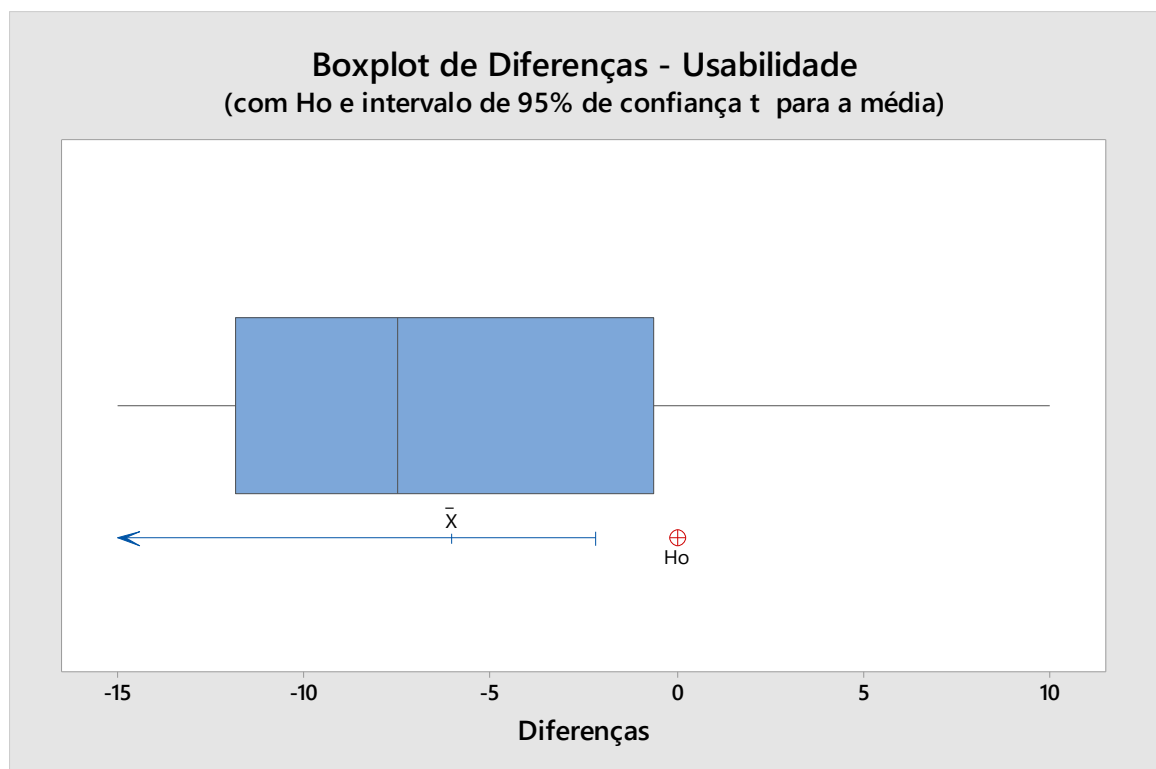


Gráfico 2 Distribuição das diferenças da variável Usabilidade

7.4 Considerações finais

Neste Capítulo destacou-se as contribuições desta pesquisa, baseado na análise dos resultados obtidos na avaliação experimental do protótipo. Com isso, o próximo Capítulo resumirá as conclusões advindas desses dados.

Capítulo 8

Conclusões e Trabalhos Futuros

8.1 Introdução

Neste capítulo, apresentam-se os aspectos da pesquisa e conclusões do trabalho apresentado nesta dissertação. Além disso, são apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros e a contribuição científica do presente trabalho.

8.2 Conclusões

Uma abordagem híbrida de rastreamento combina mais de uma tecnologia com o intuito de ampliar a precisão, reduzir a latência e proporcionar uma melhor experiência geral de interação 3D. A maior dificuldade dessa abordagem é que mais componentes produzem mais complexidade. Ainda assim, essa complexidade é compensada se a precisão do rastreamento for significativamente aprimorada.

Neste contexto, este trabalho apresentou a pesquisa, desenvolvimento e avaliação de um protótipo híbrido que integra os dispositivos Hydra e Kinect com o intuito de aprimorar a interação natural oferecida ao usuário. O AV implementado foi exposto à um experimento controlado de forma a estimar sua contribuição e validar a estratégia descrita.

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que a estratégia desenvolvida e apresentada proporciona melhoria na qualidade da interação, nos parâmetros de interação natural. Baseado nas variáveis de tempo e facilidade de aprendizagem, a abordagem de integração de dois dispositivos – sendo um de acessório anexo ao corpo e outro de corpo livre – se mostrou promissora para aplicação em Sistemas de Realidade Virtual que simulem operações e atividades rotineiras. A naturalidade da interação é garantida pelo rastreamento corporal que os dispositivos possuem.

8.3 Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros, pode-se pensar em três linhas de ação: aprimoramento do sistema proposto, possibilidade de integração com outros dispositivos, e desenvolvimento de

aplicações para outras áreas do conhecimento. Com base nestes caminhos, são propostos os trabalhos a seguir:

- Implementação de tarefas como subir um morro ou uma escada. Essas tarefas exigem uma metáfora de interação mais complexa, pois a simulação dessas ações é difícil de ser reproduzida com realismo para o Ambiente Virtual;
- Adequação do protótipo para integração de outros dispositivos, tais como o Leap Motion e Oculus Rift, bem como nova avaliação experimental e comparativa entre os diferentes níveis de imersão proporcionados;
- Extensão do protótipo para suporte a cenas com outros propósitos e aplicadas a diferentes áreas como saúde e entretenimento.

Referências Bibliográficas

- Almeida, M. (2007). *Desvendando o 3Ds Max*. São Paulo: Digerati Bools.
- Autodesk. (Outubro de 2015). *3Ds Max Overview*. Fonte: Autodesk: <http://www.autodesk.com/products/3ds-max/overview>
- Azmi, N. Z., Wyvill, G., & Knott, A. (2014). Adapting a Cheap Game Controller as a Natural 3D Input. *7th International Conference on Human System Interactions*.
- Barbetta, P. A. (2010). *Estatística aplicada às Ciências Sociais*. Florianópolis: Editora da UFSC.
- Bastos, N. C. (Fevereiro de 2005). *Arquitetura para Dispositivos Não-Convencionais de Interação Utilizando Realidade Aumentada: Um Estudo de Caso*. Recife, Pernambuco, Brasil.
- Bowman, D., Kruijff, E., LaViola, J., & Poupyrev, I. (2005). *3D User Interfaces: Theory and Practice*. Boston: Addison-Wesley.
- Brooke, J. (1996). SUS-A quick and dirty usability scale. Em *Usability evaluation in industry* (pp. 4-7).
- Cabreira, A., & Mülling, T. (2012). Perspectivas para Novas Interfaces: Kinect e Interações Gestuais sob o Panorama de Interfaces Naturais do Usuário. *Anais 4 Congresso Sul Americano de Design de Interação*. São Paulo: SBC.
- Cirilo, C. E. (s.d.). *Computação Ubíqua: definição, princípios e tecnologias*. São Carlos. *Dicionário Michaelis*. (s.d.). Melhoramentos.
- Dix, A., Finlay, J., Abowd, G. D., & Beale, R. (2004). *Human-Computer Interaction*. England: Prentice Hall.
- Figueiredo, L., Souza, P., Simões, F., Roberto, R., & Teichrieb, V. (2012). Interação Natural a partir de Rastreamento de Mãos. Em *Tendências e Técnicas em Realidade Virtual e Aumentada*. Niterói: SBC.
- Filkov, R. (Outubro de 2015). *Technology*. Fonte: RFilkov.com - Technology, Health and More: <https://rfilkov.com/2013/12/16/kinect-with-ms-sdk/>
- Han, J., Shao, L., Xu, D., & Shotton, J. (Outubro de 2013). Enhanced Computer Vision with Microsoft Kinect Sensor: a Review. *IEEE Transactions on Cybernetics*, pp. 1318-1334.
- Hewett, B. C. (2009). Capítulo 2: Human-Computer Interaction. Em *ACM SIGCHI Curricula for Human-Computer Interaction*.

- Iacolina, S. e. (2010). Natural Interaction and Computer Graphics Applications. *Eurographics Italian Chapter Conference* (pp. 141-146). The Eurographics Association.
- Jacob, R. G. (2008). Reality-based Interaction: a Framework for Post-WIMP Interfaces. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 201-210.
- Jain, J., Lund, A., & Wixon, D. (2011). The Future of Natural User Interfaces. *Proceedings of the 2011 Annual Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (pp. 211-214). Nova York: ACM.
- Kelner, J., & Teichrieb, V. (2007). Técnicas de Interação para Ambientes de Realidade Virtual e Aumentada. Em C. Kirner, & R. Siscoutto, *Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projeto e Aplicações*. Petrópolis: SBC.
- Lewis, J. R. (2006). Usability Testing. Em *Handbook of Human Factors and Ergonomics*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Liao, H., & Qu, Z. (Dezembro de 2013). Virtual Experiment System for Electrician Training based on Kinect and Unity3D. *2013 International Conference on Mechatronic Sciences, Electric Engineering and Computer (MEC)*.
- Liu, W. (2010). Natural User Interface - Next Mainstream Product User Interface. *Computer-Aided Industrial Design Conceptual Design (CAIDCD)* (pp. 203-205). IEEE.
- MICROSOFT. (2011). *Kinect for Windows Features*. Acesso em 12 de Outubro de 2012, disponível em Kinect for Windows: <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/discover/features.aspx>
- Microsoft. (Outubro de 2015). *Microsoft Speech API (SAPI) 5.3*. Fonte: MSDN: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms723627.aspx>
- MiddleVR. (2015). *MiddleVR for Unity*. Fonte: MiddleVR: <http://www.middlevr.com/>
- Minitab. (2017). *Minitab17*. Fonte: www.minitab.com
- Netto, A., Machado, L., & Oliveira, M. (2002). *Realidade Virtual: Definições, Dispositivos e Aplicações*. Notas Didáticas, USP, ICMC, São Carlos.
- Norman, D. (2013). Natural User Interfaces Are Not Natural. *ACM CHI Interactions*. Fonte: jnd.org.
- Parmar, D., Bertrand, J., Shannon, B., Babu, S. V., & Madathil, K. (Março de 2014). Interactive Breadboard Activity Simulation (IBAS) for Psychomotor Skills Education in Electrical Circuitry. *IEEE Symposium on 3D User Interfaces*.

- Razer. (2014). *Enter the Hydra: PC Gaming Motion Sensing Controllers*. Fonte: Razer Zone: <http://www.razerzoner.com/minisite/hydra/what>
- Rouse, M. (2011). *Natural User Interface*. Fonte: WhatIs: <http://whatis.techtarget.com/definition/natural-user-interface-NUI>
- Serrarens, P. (Julho de 2014). *Instant VR*. Fonte: Passer VR: <https://serrarens.nl/passervr/downloads/instantvr-free/>
- Takala, T. M. (2014). RUIS: a Toolkit for Developing Virtual Reality Applications with Spatial Interaction. *Proceedings of the 2nd ACM Symposium on Spatial User Interaction* (pp. 94-103). Nova york: ACM.
- Takala, T., & Pugliese, R. (Outubro de 2015). *Reality-based User Interface - About*. Fonte: Reality-based User Interface - System Platform for Next Generation User Interfaces: <http://blog.ruisystem.net/about/>
- Unity Technologies. (Outubro de 2015). *Unity - Game engine*. Fonte: Unity: <http://unity3d.com/pt/>
- Valli, A. (2004). *Notes on Natural Interaction*. Fonte: Natural Interaction: <http://naturalinteraction.org>
- Valli, A. (2008). The Design of Natural Interaction. *Multimedia Tools and Applications*, pp. 295-305.
- Xbox. (Outubro de 2015). *Kinect for Xbox One*. Fonte: Xbox: <http://www.xbox.com/pt-BR/xbox-one/accessories/kinect-for-xbox-one>
- Zainudin, A., Yusof, A., Rusli, M., Yusof, M., & Mahalil, I. (2014). Implementing Immersive Virtual Reality: Lessons Learned and Experience using Open Source Game Engine. *IEEE Conference on Open Systems (ICOS)* (pp. 105-111). IEEE.

Apêndice 1

QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DE USABILIDADE

Nome: _____ Data de Nascimento: __/__/__

Avalie sua experiência em ambientes virtuais 3D:

- () Nenhuma Experiência
- () Alguma Experiência
- () Experiência Moderada
- () Experiência Moderadamente Alta
- () Experiência Alta

Nº	Questões	Discordo totalmente				Concordo totalmente
		1	2	3	4	5
1	Gostaria de usar esse sistema com frequência	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Achei o sistema desnecessariamente complexo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Achei o sistema fácil de usar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Acho que precisaria de ajuda de uma pessoa com conhecimentos técnicos para usar o sistema	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Achei que as várias funções do sistema estão muito bem integradas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	Achei que o sistema apresenta muita inconsistência	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

7	Imagino que as pessoas aprenderão como usar esse sistema rapidamente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	Achei o sistema atrapalhado de usar	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	Me senti confiante ao usar o sistema	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	Precisei aprender várias coisas novas antes de conseguir usar o sistema	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Apêndice 2

TABELA DE DISTRIBUIÇÃO T DE STUDENT

<i>Unicaudal/Graus de liberdade</i>	75%	80%	85%	90%	95%	97,5%	99%	99,5%	99,75%	99,9%	99,95%
1	1,000	1,376	1,963	3,078	6,314	12,71	31,82	63,66	127,3	318,3	636,6
2	0,816	1,061	1,386	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	14,09	22,33	31,60
3	0,765	0,978	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	7,453	10,21	12,92
4	0,741	0,941	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	5,598	7,173	8,610
5	0,727	0,920	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	4,773	5,893	6,869
6	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	4,317	5,208	5,959
7	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	4,029	4,785	5,408
8	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	3,833	4,501	5,041
9	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	3,690	4,297	4,781
10	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	3,581	4,144	4,587
11	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	3,497	4,025	4,437
12	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	3,428	3,930	4,318
13	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	3,372	3,852	4,221
14	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,326	3,787	4,140