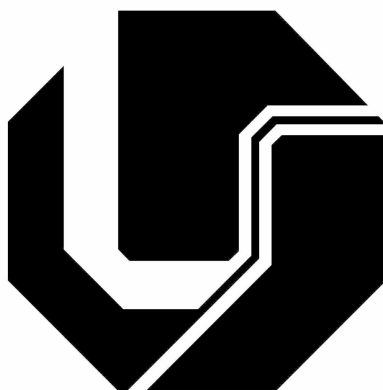


UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



**Interação Natural baseada em dispositivos de
rastreamento e projeção para visualização de informação**

Daniel Ramos Pimentel

Agosto
2016

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

P644i
2016 Pimentel, Daniel Ramos, 1984-
 Interação natural baseada em dispositivos de rastreamento e projeção
 para visualização de informação / Daniel Ramos Pimentel. - 2016.
 62 f. : il.

 Orientador: Alexandre Cardoso.
 Coorientador: Edgard Afonso Lamounier Júnior.
 Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.
 Inclui bibliografia.

 1. Engenharia elétrica - Teses. 2. Realidade virtual - Teses. I.
 Cardoso, Alexandre, 1964- II. Lamounier Júnior, Edgard Afonso, 1964-
 III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em
 Engenharia Elétrica. IV. Título.

CDU: 621.3

Interação Natural baseada em dispositivos de rastreamento e projeção para visualização de informação

Daniel Ramos Pimentel

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. Edgard A. Lamounier Jr, PhD.
Co-orientador

Prof. Darizon Alves de Andrade.
Coordenador do curso de Pós-Graduação

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

**Interação Natural baseada em dispositivos de
rastreamento e projeção para visualização de informação**

Daniel Ramos Pimentel

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

Banca examinadora:

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

Prof. Renato Aquino Lopes, Dr. (UFU)

Profa. Mônica Rocha Ferreira de Oliveira, Dr. (UEMG)

Resumo

PIMENTEL, Daniel R. Uma proposta de integração de periféricos para interação natural em ambientes virtuais, Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica – UFU, 2016.

Palavras-chave: Interação natural, realidade virtual, educação e treinamento.

Dispositivos específicos de entrada e saída de dados possibilitam a interação do usuário com sistemas de realidade virtual. Tal interação pode ocorrer por meio de uma utilização mecânica e manual destes dispositivos, por parte do utilizador, ou por meio de dispositivos que não necessitem de uma integração tátil entre estes e o utilizador. Utilizando uma combinação destes, este trabalho propõe uma integração entre dispositivos não vestíveis, que possibilite uma interação natural entre o usuário e um ambiente virtual tridimensional, baseado no conceito de Digital Desk, aplicando movimentação da câmera virtual e deformação da cena de acordo com a movimentação do usuário no mundo real, de forma a simular efeitos de profundidade, permitindo uma apresentação alternativa de conteúdo educacional ao tradicional utilizado em sala de aula.

Abstract

PIMENTEL, Daniel R. A peripheral integration proposal for natural interaction in virtual environments, Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica – UFU, 2016.

Palavras-chave: Natural interaction, virtual reality, education and training.

Specific device input and output enable user interaction with virtual reality systems. Such interaction may occur through a mechanical and manual use of these devices, by the user or by devices that do not require a tactile integration between these and the user. Using a combination of these, this work proposes an integration between non wearable devices that enable a natural interaction between the user and a three-dimensional virtual environment, based on the Digital Desk concept, applying movement of the virtual camera and deformation of the scene according to the movement user in the real world, to simulate depth effect, allowing an alternative presentation of educational content to traditional used in the classroom.

Publicações

São publicações resultantes deste trabalho:

- Pimentel, D. R.; Cardoso, A; Lamounire Jr., E. A.; **Uma proposta de integração de periféricos para Interação Natural em Sistemas de Realidade Virtual**. In: Anais do XVII Simpósio de Realidade Virtual e Realidade Aumentada - SVR 2015, 2015, São Paulo, SP, Brasil.

Sumário

Capítulo 1.....	1
1. Introdução	1
1.1 Contextualização e Motivação.....	1
1.2 Objetivos e Metas	2
1.3 Organização do trabalho	3
Capítulo 2.....	5
2. Fundamentos	5
2.1 Interação.....	5
2.1.2 Métodos e técnicas de interação em ambientes virtuais.....	5
2.2 Dispositivos de entrada e saída para Sistemas de Realidade Virtual	6
2.2.1 Dispositivos de Entrada de Dados.....	6
2.2.2 Dispositivos de Saída de Dados	7
Capítulo 3.....	9
3. Trabalhos Correlatos	9
3.1 The DigitalDesk Calculator: Tangible Manipulation on a Desk Top Display	9
3.2 Integrating Paper and Digital Information on EnhancedDesk	10
3.3 Curve: Revisiting the Digital Desk.....	11
3.4 A Virtual Touchscreen with Depth Recognition.....	12
3.5 Transparent Tabletop Interface for Multiple Users on Lumisight Table.....	13
3.6 Resumo Comparativo dos Trabalhos Analisados.....	15
Capítulo 4.....	18
4. Arquitetura e Tecnologias de apoio	18
4.1 Descrição da estratégia.....	18
4.1.1 Fluxo de atualização do SRV	19
4.2 Tecnologias de apoio.....	20
4.2.1 Google SketchUp	20
4.2.2 Unity 3D	23
4.2.3 MonoDevelop.....	25
4.2.4 Microsoft Kinect	26
Capítulo 5.....	29

5. Desenvolvimento da Prova de Conceito.....	29
5.1 Estrutura física	29
5.1.1 Monitor.....	29
5.1.2 Kinect	31
5.2 Implementação do Software	32
5.2.1 Criação da cena	32
5.2.2 Movimentação do usuário: mapeamento	33
5.2.3 Movimentação da Câmera na cena	35
5.2.4 Ponto de vista: alteração da perspectiva anamórfica dos modelos em tempo real.	37
Capítulo 6.....	45
6. Análise de Resultados	45
6.1 Apresentação do protótipo.....	45
6.2 Critérios de Análise	46
6.2.1 Reações gerais ao sistema	46
6.2.2 Aprendizagem de uso do sistema.....	47
6.2.3 Capacidades do sistema.....	49
6.2.4 Aspectos de envolvimento do usuário.....	51
6.2.5 Conteúdo	53
6.2.6 Comentários propostos.....	54
Capítulo 7.....	55
Conclusão.....	55
7.1 Trabalhos futuros	56
Referências Bibliográficas.....	58
Apêndice I.....	61

Lista de Figuras

Figura 3.1: Disposição dos periféricos na Digital Desk de Wellner (Wellner, 1991) ...	9
Figura 3.2: Integração entre objetos reais (à esquerda) e virtuais (à direita) (Wellner, 1991)	10
Figura 3.3: Exemplo de uma aplicação virtual, específica, de acordo com o conteúdo reconhecido em uma página de um livro real (Koike et al., 2001).....	11
Figura 3.4: Projeção em curva de uma área de trabalho (Wimmer et al., 2010)	12
Figura 3.5: Disposição proposta pelo trabalho de Hartmann & Wünsche (Adaptado de Hartmann & Wünsche, 2012)	13
Figura 3.6: Visão de cada um dos quatro lados da mesa, permitindo uma visualização diferente para cada um deles (Kakehi et al., 2006).....	14
Figura 3.7: Disposição dos dispositivos necessários para a implementação do trabalho proposto por Kakehi et al. (Kakehi et al., 2006).....	15
Figura 4.1: Vista superior e em perspectiva anamórfica da imagem projetada no monitor	18
Figura 4.2: Disposição física dos periféricos	19
Figura 4.3: Fluxo de atualização da proposta	20
Figura 4.4: Interface do software Google SketchUp (SketchUp, 2014).....	21
Figura 4.5: Tela inicial do Extension Warehouse (Extension Warehouse, 2014)	22
Figura 4.6: Modelos gratuitos disponíveis (Extension Warehouse, 2014).....	23
Figura 4.7: Exemplo de cena pronta no Unity 3D	24
Figura 4.8: Interface do MonoDevelop (MonoDevelop, 2014).....	25
Figura 4.9: Kinect (Microsoft, 2014).....	26
Figura 4.10: Componentes físicos encontrados no Kinect (Micorosft, 2014)	27
Figura 4.11: Mapeamento do esqueleto humano pelo Kinect SDK (Microsoft, 2014)	28
Figura 5.1: Disposição do monitor.....	30
Figura 5.2: Disposição do Kinect.....	31
Figura 5.3: Objeto 3D a ser utilizado na cena.....	32
Figura 5.4: Cena pronta para uso no Unity 3D	33
Figura 5.5: Calibragem do sistema	34
Figura 5.6: Área de movimentação do usuário	35
Figura 5.7: Área de movimentação da câmera virtual	36

Figura 5.8: Relação entre a movimentação do usuário e da câmera virtual	37
Figura 5.9: Exemplo de uma imagem anamórfica (Beever, 2015).....	38
Figura 5.10: Modelo 3D sem deformação	39
Figura 5.11: Modelo 3D em processo de deformação anamórfica	40
Figura 5.12: Modelo 3D antes e depois da aplicação da deformação anamórfica.....	42
Figura 5.13: Posição do usuário em relação à mesa	43
Figura 5.14: Visão em 1ª pessoa do usuário	43
Figura 5.15: Visão por cima da mesa.....	44

Lista de Tabelas

Tabela 3.1: Resultado da análise dos trabalhos correlatos.....	17
Tabela 4.1: Especificações técnicas do Kinect (Microsoft, 2014).....	27

Lista de Gráficos

Gráfico 6.1: Grau de satisfação.....	46
Gráfico 6.2: Grau de estímulo durante o uso	46
Gráfico 6.3: Grau de flexibilidade	46
Gráfico 6.4: Grau de dificuldade de uso	47
Gráfico 6.5: Grau de adequação.....	47
Gráfico 6.6: Dificuldade em iniciar o uso.....	47
Gráfico 6.7: Aprendizagem de utilização do sistema	48
Gráfico 6.8: Tempo de aprendizagem.....	48
Gráfico 6.9: Exploração por tentativa e erro.....	48
Gráfico 6.10: Variedade na realização de tarefas	49
Gráfico 6.11: Velocidade de atualização da tela.....	49
Gráfico 6.12: Grau de fluidez	50
Gráfico 6.13: Confiabilidade	50
Gráfico 6.14: Nível de experiência do usuário	50
Gráfico 6.15: Grau de empatia.....	51
Gráfico 6.16: Grau de interesse	51
Gráfico 6.17: Grau de envolvimento	51
Gráfico 6.18: Grau de realismo.....	52
Gráfico 6.19: Qualidade gráfica.....	52
Gráfico 6.20: Grau de satisfação na utilização	52
Gráfico 6.21: Dificuldade da tarefa proposta.....	53
Gráfico 6.22: Realização da tarefa.....	53
Gráfico 6.23: Possibilidade de mais conteúdos	54
Gráfico 6.24: Ritmo da aula utilizando o sistema.....	54

Capítulo 1

1. Introdução

1.1 Contextualização e Motivação

A utilização de dispositivos específicos para entrada e saída de informações visa aumentar os níveis de imersão com os sistemas de Realidade Virtual (RV), criando maneiras mais intuitivas de interação. Tais interações podem ser obtidas diretamente através de dispositivos de entrada especialmente dedicados a esta função ou indiretamente, como por exemplo, através de dispositivos de rastreamento [Machado & Cardoso, 2006]. Tais dispositivos podem oferecer uma interação multi-usuário ou mono-usuário, de acordo com suas especificações e empregabilidade.

Segundo Tori & Kirner (2006), a RV é, antes de tudo, uma interface avançada do usuário desenvolvida para o acesso de aplicações computacionais, tendo como principais características a visualização de ambientes tridimensionais em tempo real, além de sua movimentação, e a possibilidade de interação com elementos deste ambiente, podendo a experiência do usuário ser maximizada através do estímulo dos demais sentidos, como o tato e a audição.

Intrínseco ao contexto de interface de sistemas, estão as interações no ambiente virtual, onde as interações realizadas pelo usuário podem resultar em ações passivas dentro do ambiente virtual, que serão apenas observados pelo usuário, ou ações ativas, que irão interferir em seu funcionamento.

As interações do usuário classificam-se em: navegação, seleção e manipulação, controle do sistema e entrada simbólica [Bowman et al., 2004].

A navegação é responsável pela movimentação do usuário no ambiente virtual, através de dois componentes básicos: a viagem (*travel*) e a definição do trajeto (*wayfinding*). A viagem é responsável pela movimentação do ambiente, como a movimentação do usuário e da câmera pelo mapa. A definição do trajeto consiste no processo de tomada de decisão por parte do usuário a respeito do caminho a ser seguido [Teichrieb & Kelner, 2007].

Ainda na navegação, existem técnicas apropriadas utilizadas pelo usuário para que este explore o mundo virtual. Dentre elas: 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 [Bastos, Teichrieb & Kelner, 2006].

Para a interação do usuário com o ambiente virtual, este dispõe de dispositivos de entrada e saída para Sistemas de Realidade Virtual (SRV). Aprofundando-se em duas das técnicas de navegação citadas anteriormente, Locomoção Física e Direcionamento, estas podem fazer uso de um Dispositivo de Rastreamento Óptico (dispositivo de entrada), capaz de captar a posição e a orientação de um dado objeto em um espaço pré-determinado, e um Monitor, atuando como um dispositivo de saída, responsável por projetar uma nova imagem de acordo com o posicionamento e orientação do usuário, captado pelo dispositivo de entrada. O sistema proposto classifica-se como monousuário, pois um monitor convencional só é capaz de exibir uma imagem de cada vez, em toda sua área de projeção. Em Machado & Cardoso (2006), encontram-se outros dispositivos de entrada e saída para SRV, bem como seus detalhes e características.

Diante da possibilidade de contribuir com as técnicas convencionais de apresentação de conteúdos diversos, antes limitados por representações 2D destes, propõe-se o desenvolvimento de uma estratégia capaz de utilizar o conceitos de realidade virtual, tornando esta apresentação mais dinâmica e interativa, visando propiciar um melhor aprendizado e absorção de informação para seus usuários, utilizando dispositivos específicos para proporcionar uma interação entre o usuário e o ambiente virtual.

1.2 Objetivos e Metas

Como principal objetivo, propõe-se uma estratégia que apresente uma integração de dispositivos e periféricos de baixo custo, no caso um dispositivo de rastreamento óptico e um monitor de tela plana convencional, unido a conceitos de interação natural, apresentando uma projeção em perspectiva anamórfica de um ambiente virtual, oferecendo uma opção de visualização de fácil compreensão para ambientes tridimensionais, baseando-se no conceito de *Digital Desk*.

Dentre os objetivos específicos, destacam-se:

- Utilização de dispositivos não vestíveis.
- Definir que elementos de interação natural podem ser empregados na estratégia.
- Interação com o ambiente virtual, aplicando deformação da malha presente no ambiente e movimentação da câmera virtual.
- Como prova de conceito, desenvolver um SRV para a aplicação da estratégia proposta.
- Validar a interação com o ambiente virtual.
- Avaliar a aplicação proposta com potenciais usuários.

Para alcançar os objetivos propostos, as seguintes metas foram definidas:

- Estudar técnicas de interação natural e os ambientes virtuais ideais para sua utilização.
- Pesquisar os dispositivos de entrada e saída de SRV que se adequem à captação desejada, em especial os dispositivos de rastreamentos ópticos.
- Analisar diferentes dispositivos de projeção e rastreamento de posição, bem como técnicas de comunicação entre eles.
- Levantar conceitos da área de educação que possam se beneficiar do sistema para auxiliar no ensino destes.
- Realizar testes de eficácia, usabilidade e desempenho, já com a prova de conceito sendo executada no sistema.
- Apresentar a aplicação à comunidade de testes, para avaliação.
- Coletar a avaliação dos usuários por meio de formulários, para análise.

1.3 Organização do trabalho

Esta dissertação apresenta a seguinte estruturação:

O primeiro capítulo trata da contextualização, objetivos e metas traçados para a realização desta pesquisa. O segundo capítulo relata os conceitos utilizados para apoiar a pesquisa. O terceiro capítulo apresenta os trabalhos correlatos ao tema da pesquisa. O quarto capítulo demonstra a estratégia desenvolvida, bem como suas tecnologias de apoio.

O quinto capítulo descreve o desenvolvimento da prova de conceito. O sexto capítulo apresenta e discute os resultados obtidos com a aplicação da prova de conceito para um grupo de usuários. O sétimo capítulo relata as conclusões encontradas e os trabalhos futuros para esta pesquisa.

Capítulo 2

2. Fundamentos

2.1 Interação

Interação é uma forma de troca de informação específica, que só será recebida mediante uma ação do receptor da informação. No contexto de interface homem-máquina, interação é a forma com que usuário e aplicação se comunicam, podendo esta comunicação ser realizada por meio de dispositivos ou de forma simbólica [Schneiderman & Plaisant, 2004 apud Kelner & Teichrieb, 2007].

Segundo Bowman et. al. (2004), interação é um método que permite a um usuário efetuar uma tarefa através de uma interface de usuário. Técnicas de interação utilizam tanto componentes de *hardware* (dispositivos de entrada/saída) quanto de *software*. Os componentes de *software* são responsáveis por interpretar as informações recebidas pelos dispositivos de entrada, durante a execução de uma ação, e por mapear as informações de saída do sistema, a fim de que os dispositivos de saída possam interpretá-las.

2.1.2 Métodos e técnicas de interação em ambientes virtuais

Técnicas de Interação tridimensional em sistemas de realidade virtual são, segundo Bowman (2004), classificadas em quatro categorias: seleção e manipulação, navegação, controle de sistemas e entrada simbólica.

Sendo a Navegação a principal técnica utilizada nesta pesquisa, ela é responsável pela movimentação do usuário no ambiente virtual, sendo um dos principais fatores que contribuem para a imersão do usuário, visto que são as técnicas de interação de navegação que permitirão que ele explore o lugar [Kelner & Teichrieb, 2007].

As técnicas de Locomoção Física utilizam do esforço físico do usuário para que este se locomova também no ambiente virtual.

As técnicas de Direcionamento são utilizadas a partir do controle contínuo da direção do movimento, fornecidos pelo usuário. Esta direção pode tratar-se de uma

navegação absoluta (transformando a informação em coordenadas mundiais) ou em uma navegação relativa (criando um movimento de translação entre esquerda e direita, por exemplo).

Diferente das outras técnicas, a Orientação do *Viewpoint* ajusta a o *viewpoint* de acordo com a posição do usuário em relação ao sistema de projeção escolhido [Bastos, Teichrieb & Kelner, 2006].

As três técnicas de navegação descritas acima (Locomoção Física, Direcionamento e Orientação do Viewpoint) serão utilizadas em conjunto no sistema de realidade virtual desenvolvido nesta pesquisa e serão novamente abordados nos capítulos seguinte.

2.2 Dispositivos de entrada e saída para Sistemas de Realidade Virtual

Dispositivos de entrada e saída para a utilização em sistemas de realidade virtual são dispositivos de *hardware* específicos, que permitem a interação entre o usuário e o ambiente virtual da forma mais intuitiva possível, contribuindo para o fator de imersão da experiência.

São normalmente classificados em duas categorias: os dispositivos de entrada, responsáveis por capturar as ações do usuário, desde sua movimentação, posicionamento e entrada de dados, cabendo ao SRV mapear estas informações e transmiti-las à outra categoria, os dispositivos de saída, responsáveis por atualizar o ambiente virtual e devolver ao usuário reações, baseadas em suas ações, afetando diretamente um ou mais dos cinco sentidos humanos.

Machado & Cardoso (2006), descrevem, em seu trabalho, os principais dispositivos de entrada e saída de dados e suas aplicações em detalhes, sendo descritos aqui somente os dispositivos utilizados nesta pesquisa.

2.2.1 Dispositivos de Entrada de Dados

São utilizados para o envio de informações sobre as ações do usuário ao sistema. Podem ser de dois tipos: de interação e de rastreamento.

Os Dispositivos de Rastreamento monitoram frequentemente os movimentos do usuário (corpo todo ou determinadas partes do corpo) a fim de criar a sensação de presença no mundo virtual, cabendo ao sistema de RV atualizar o ambiente virtual.

Estes dispositivos funcionam baseando-se na diferença de posição ou orientação em relação a um estado anterior de referência. Possui a técnica de *tracking* ativo, onde sensores são colocados sobre o corpo (ou parte dele), utilizando de técnicas eletromagnéticas, ultrassônicas, mecânicas ou óticas para realizar a detecção do movimento, e também a técnica de *tracking* passivo, que utiliza câmeras ou sensores óticos para monitorar um objeto e determinar sua posição e orientação.

Dispositivos de Rastreamento Ópticos

Não exigem o contato com o usuário, já que são utilizados sensores ópticos, como câmeras, para determinar a posição e a orientação dos objetos.

2.2.2 Dispositivos de Saída de Dados

São os dispositivos de saída os responsáveis por enviar ao usuário, as informações fornecidas pelo sistema de RV, sejam elas geradas automaticamente ou a partir das informações coletadas de dispositivos de entrada. Buscando a estimulação dos sentidos humanos, durante a experiência, estes dispositivos trabalham, principalmente, com os sentidos da visão, da audição e do tato.

2.2.2.1 Dispositivos Visuais

Responsável por gerar imagens do ambiente virtual, atualizadas frequentemente, pode gerar imagens para sistemas monoscópicos, onde a mesma imagem é exibida para ambos os olhos, ou para sistemas estereoscópicos, onde imagens diferentes são exibidas para cada um dos olhos, criando uma maior sensação de profundidade, após o processamento cerebral.

Machado & Cardoso (2006) também citam a importância da taxa de quadros por segundo que as imagens devem ser exibidas no vídeo e informam uma taxa ideal entre 15 a 22 quadros por segundo, para uma simulação de RV. No entanto, os mesmos autores avisam que esta taxa pode variar de acordo com o tipo de interação utilizada no sistema.

Os dispositivos visuais dividem-se em duas categoria: visualização individual e visualização coletiva.

Monitores e Sistemas de Projeção

Não oferecem, por si só, um alto nível de imersão e necessitam de um dispositivo de entrada responsável por coletar informações do usuário e permitir sua movimentação pelo ambiente virtual, aumentando então, seu nível de imersão.

A escolha por monitores, nesta pesquisa, viabiliza a montagem física dos dispositivos, necessitando apenas de uma mesa para seu posicionamento, ao contrário de um sistema de projeção, que necessitaria de uma estrutura especial para manter o projetor sobre a mesa, direcionando sua projeção para a mesma.

Atualmente os monitores e televisores possuem alto nível de contraste e resolução de alta definição, possibilitando excelente qualidade de imagem.

Capítulo 3

3. Trabalhos Correlatos

A seguir, é apresentado o trabalho responsável por introduzir o conceito de *Digital Desk*, bem como outros trabalhos que utilizam este conceito para oferecer uma interface gráfica de usuário utilizando interação natural.

3.1 The DigitalDesk Calculator: Tangible Manipulation on a Desk Top Display

O conceito de mesa digital (*Digital Desk*), foi apresentado por Wellner (1991), onde uma interface gráfica de usuário (GUI) é exibida sobre uma área de trabalho física, como uma mesa tradicional, por meio de um projetor, possibilitando ao usuário interagir com esta GUI usando seu dedo, funcionando com um cursor, capturado por uma câmera. Este trabalho deu origem a diversos outros inspirados neste conceito.

A Figura 3.1 apresenta a disposição do projetor e da câmera, em relação à mesa.

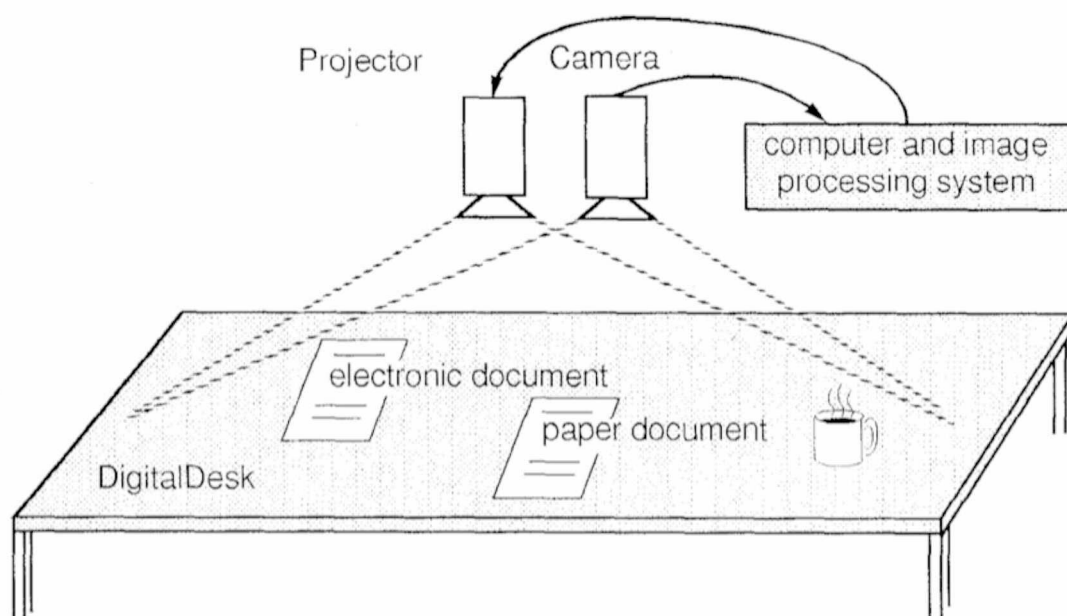


Figura 3.1: Disposição dos periféricos na Digital Desk de Wellner (Wellner, 1991)

Este trabalho permite a integração tanto de objetos virtuais, quanto reais, em sua manipulação. Em sua prova de conceito, Wellner projeta uma calculadora virtual sobre a superfície, onde o usuário pode realizar cálculos tocando sobre os botões

virtuais. Simulando uma situação cotidiana, onde um usuário tem de, constantemente, digitar números impressos em documentos reais em uma calculadora, a aplicação permite o reconhecimento de números impressos em documentos reais colocados sobre a mesa, permitindo que o usuário toque este número (e posteriormente delimite sua posição através de um retângulo virtual) e este número será, automaticamente, carregado na calculadora virtual, evitando sua digitação manual.

Na Figura 3.2 é possível ver esta integração, onde documentos reais são colocados sobre a mesa, à esquerda, e a calculadora virtual é projetada, à direita.

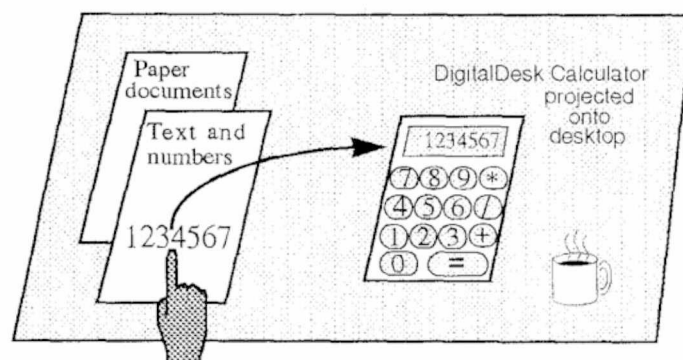


Figura 3.2: Integração entre objetos reais (à esquerda) e virtuais (à direita) (Wellner, 1991)

Com relação ao trabalho analisado, percebem-se as seguintes limitações:

- Necessidade de baixa iluminação.
- Movimentação do usuário limitada, posição fixa.
- Oclusão visual dos objetos, onde a mão do usuário poderá esconder os objetos que o usuário deseja interagir. O uso de um projetor, como dispositivo visual de saída, contribui para a oclusão, pois a sombra criada pela mão do usuário será maior que sua mão, graças à distância desta e da mesa.

3.2 Integrating Paper and Digital Information on EnhancedDesk

O trabalho de Koike et al. (2001) apresenta, como estratégia de interação, o rastreamento dos dedos combinado com o uso de marcadores (comuns em aplicações de realidade aumentada) inseridos nas páginas de um livro. O sistema é responsável por projetar uma diferente imagem na “mesa”, obedecendo a temática do assunto tratado nesta página, de acordo com o marcador, permitindo que o usuário interaja com os objetos virtuais utilizando seus dedos.

Para isto, além de um projetor e uma câmera convencional, é utilizada uma câmera infravermelha, responsável por detectar a mão do usuário, regulando sua captura para uma temperatura próxima à do corpo humano. Após a captura da imagem referente do usuário, a detecção dos dedos e da palma é realizada através de processamento de imagem.

A Figura 3.3 exemplifica o funcionamento da aplicação, onde um marcador, no canto superior direito da página do livro é reconhecido e, de acordo com este marcador, uma imagem é projetada na área à direita, permitindo que o usuário interaja com esta imagem utilizando sua mão.

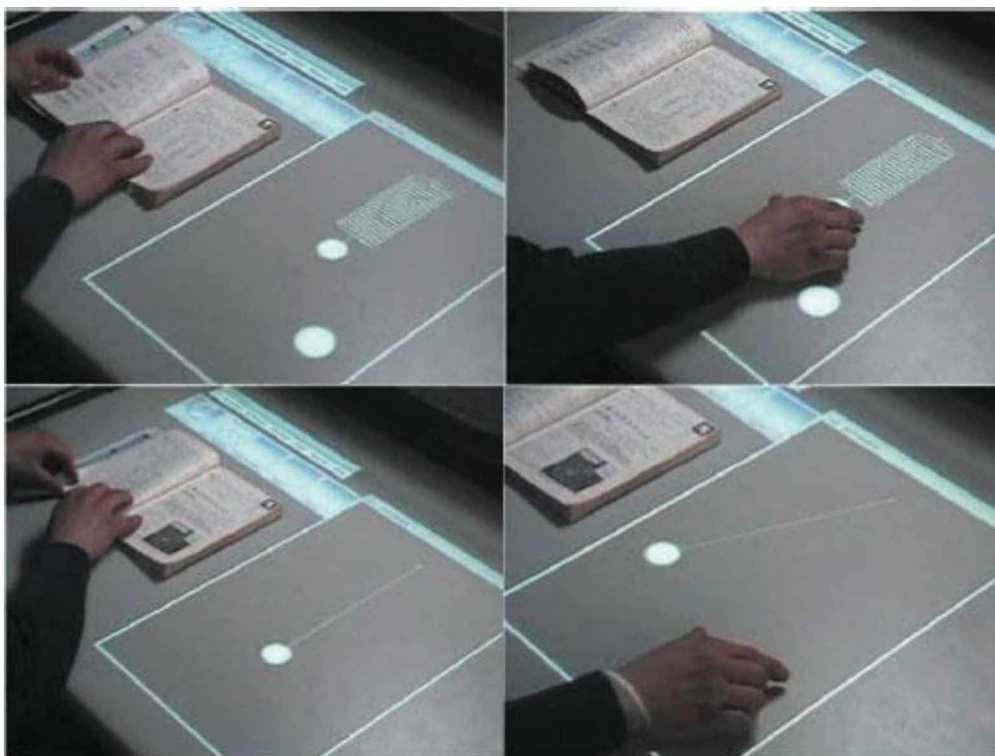


Figura 3.3: Exemplo de uma aplicação virtual, específica, de acordo com o conteúdo reconhecido em uma página de um livro real (Koike et al., 2001)

Com relação ao trabalho analisado, percebem-se as seguintes limitações:

- Necessidade de baixa iluminação.
- Movimentação do usuário limitada, posição fixa.
- Oclusão visual dos objetos.

3.3 Curve: Revisiting the Digital Desk

Wimmer et al. (2010), propõem uma projeção em curva, diferente das tradicionais projeções horizontais, com melhorias significativas no quesito ergonomia, visto que o usuário possui um alcance total da tela sem a necessidade de

sair de sua posição de conforto para isto. A Figura 3.4 apresenta a projeção realizada por este trabalho.



Figura 3.4: Projeção em curva de uma área de trabalho (Wimmer et al., 2010)

Uma das propostas do trabalho é sanar a “quebra” em aplicações que utilizam uma interface horizontal e vertical, como um sistema onde um usuário pode interagir com uma interface *touchscreen* na mesa, funcionando como um teclado e outra funcionando como uma tela, onde, neste caso, ambas estariam separadas. Já a projeção em curva permite, por exemplo, mover um objeto virtual entre as superfícies horizontal e vertical.

Com relação ao trabalho analisado, percebe-se as seguintes limitações:

- Necessidade de baixa iluminação.
- Movimentação do usuário limitada, posição fixa.
- Oclusão visual dos objetos.

3.4 A Virtual Touchscreen with Depth Recognition

Hartmann & Wünsche (2012) desenvolveram, em seu trabalho, uma proposta de interação *touchscreen* com profundidade. Para isso é analisada a sombra projetada pela mão do usuário.

Para este sistema, a fonte de luz deve ser colocada em uma posição específica e bem configurada, possibilitando a captura da sombra pela câmera (de forma que a

sombra não fique encoberta) e permitindo que o SRV realize os cálculos necessários com relação entre a mão e sua sombra.

A Figura 3.5 apresenta o posicionamento da câmera e da fonte de luz, bem como a mão do usuário e sua sombra.

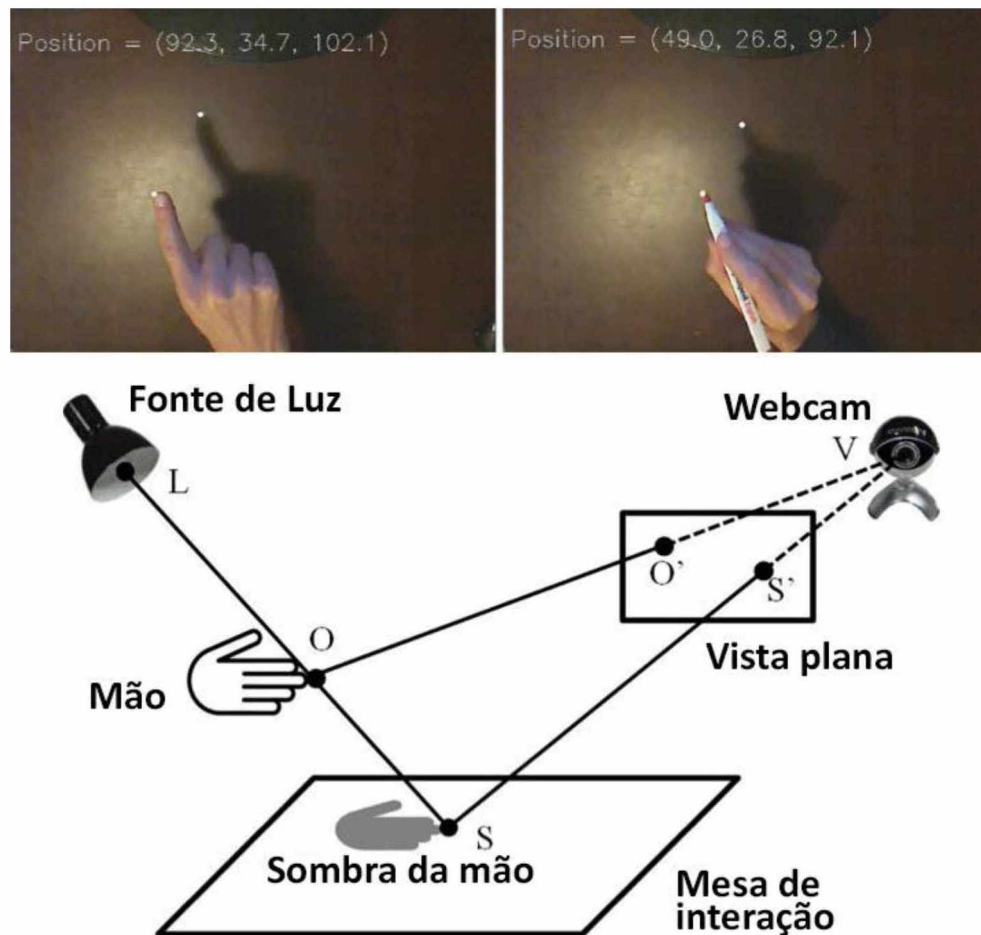


Figura 3.5: Disposição proposta pelo trabalho de Hartmann & Wünsche (Adaptado de Hartmann & Wünsche, 2012)

Com relação ao trabalho analisado, percebe-se as seguintes limitações:

- Necessidade de baixa iluminação.
- Movimentação do usuário limitada, posição fixa.
- Oclusão visual dos objetos.

3.5 Transparent Tabletop Interface for Multiple Users on Lumisight Table

De outra forma, Kakehi et al. (2006) utilizam uma integração de dispositivos totalmente diferente dos trabalhos apresentados anteriormente. Por meio de uma superfície transparente, quatro projetores e uma câmera são posicionados em baixo da

mesa, voltados para esta superfície transparente. Esta técnica permite que o usuário interaja com suas mãos sobre a mesa, pois estas sempre estarão visíveis pela câmera, e também através de objetos, captados pela mesma câmera e reconhecidos pelo SRV por meio de sua forma ou de marcadores inseridos na base destes objetos.

A utilização de 4 projetores, simultaneamente, possibilita que cada um dos 4 usuários, sentados nos 4 lados da mesa, visualizem 4 imagens diferentes, como pode ser visto na Figura 3.6.

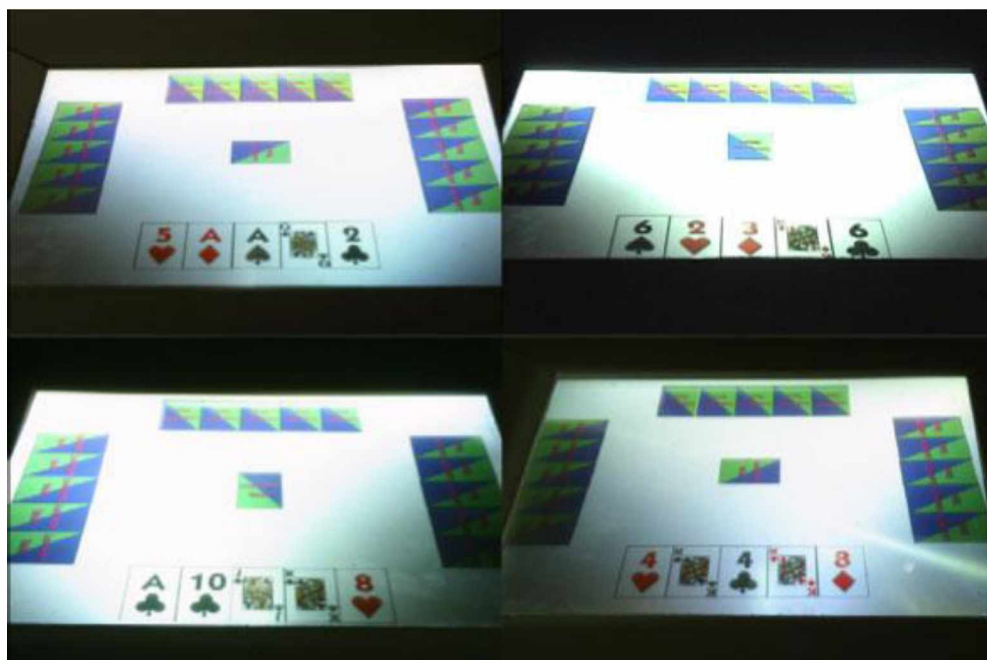


Figura 3.6: Visão de cada um dos quatro lados da mesa, permitindo uma visualização diferente para cada um deles (Kakehi et al., 2006)

Para um perfeito redirecionamento das imagens, sem sobreposições, é utilizada uma lente de Fresnel, responsável por receber a projeção de um dos projetores e, através de seus cortes internos, redirecioná-lo para a direção correta.

A Figura 3.7 apresenta a disposição dos projetores, câmera, lente de Fresnel e usuários, em relação à mesa.

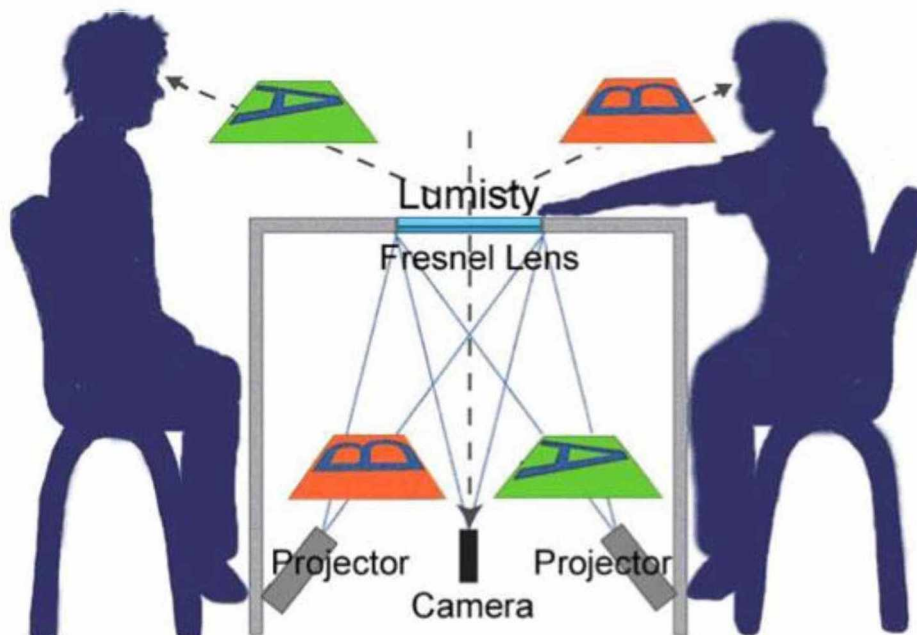


Figura 3.7: Disposição dos dispositivos necessários para a implementação do trabalho proposto por Kakehi et al. (Kakehi et al., 2006)

Com relação ao trabalho analisado, percebe-se as seguintes limitações:

- Alto custo de implementação.
- Movimentação do usuário limitada, apesar de possuir mais de uma posição fixa.
- Qualidade de imagem ruim, devido à deformação causada pela lente de Fresnel.

3.6 Resumo Comparativo dos Trabalhos Analisados

A análise dos trabalhos foi baseada nos seguintes critérios:

- **Tipo de interação:** a forma como o usuário interage com o sistema.
- **Movimentação do usuário:** analisa a possibilidade de o usuário poder se posicionar e se movimentar com certa liberdade ao utilizar o sistema ou se deve assumir uma posição fixa.
- **Oclusão visual dos objetos virtuais na cena:** se os objetos virtuais aos quais o usuário deseja interagir podem ser temporariamente impedidos de serem vistos durante esta interação, causada, normalmente, pela própria mão do usuário. Ocorrem normalmente quando o usuário se posiciona entre a superfície de projeção e o projetor.

- **Custo do projeto:** analisa o custo dos dispositivos necessários para implementação do sistema, considerando como custo baixo sistemas que utilizem dispositivos convencionais em SRVs, já com custo reduzido devido à alta demanda, como projetores convencionais, monitores, câmeras, entre outros.
- **Qualidade de imagem projetada:** referente à qualidade de imagem apresentada ao usuário através do sistema de projeção. Projetores convencionais apresentam uma boa qualidade de imagem, permitindo que o usuário consiga distinguir bem objetos e cores na cena, monitores apresentam uma qualidade ainda maior, permitindo uma riqueza maior de detalhes, já projeções que sofram algum tipo de interferência entre o projetor e a superfície podem apresentar uma qualidade de imagem ruim, como por exemplo a distorção realizada pela lente de Fresnel no trabalho de Kakehi et al.
- **Características de iluminação ambiente:** verifica se o sistema necessita de uma iluminação específica para sua boa utilização.

Dentre os trabalhos analisados, percebeu-se que a movimentação do usuário é uma das principais limitações em projetos que utilizam o conceito de *Digital Desk*, já que o usuário deveria assumir uma posição fixa, devido ao posicionamento da câmera para seu rastreamento, onde sua movimentação livre poderia contribuir para sua imersão, durante a utilização. A oclusão visual dos objetos virtuais também se mostrou presente na maioria.

O uso de projetores também traz a necessidade de uma iluminação especial, baixa, a fim de manter uma boa visualização da imagem projetada, causando queda de qualidade da imagem, caso esta iluminação adequada não seja aplicada.

A Tabela 3.1 apresenta o resultado desta análise.

Tabela 3.1: Resultado da análise dos trabalhos correlatos

	Wellner	Koike et al.	Wimmer et al.	Hartmann & Wünsche	Kakehi et al.
Interação	Finger tracking	Finger tracking	Finger tracking	Finger tracking	Natural/Objeto
Movimentação do usuário	Fixa	Fixa	Fixa	Fixa	4 posições fixas distintas
Oclusão de objetos	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
Custo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Alto
Qualidade de imagem	Boa	Boa	Boa	Boa	Ruim
Iluminação ambiente	Baixa	Baixa	Baixa	Específica	Indiferente

Capítulo 4

4.Arquitetura e Tecnologias de apoio

Neste capítulo são apresentadas as características da estratégia proposta, bem como as tecnologias de apoio envolvidas para seu desenvolvimento.

4.1 Descrição da estratégia

A estratégia proposta consiste em implementar um sistema de projeção que funcione como uma “mesa virtual”, capaz de capturar a posição do usuário ao redor da “mesa” e projetar uma imagem adequada ao ângulo de visão do usuário em tempo real, de acordo com sua movimentação.

A Figura 4.1 apresenta uma visão geral da mesa virtual.

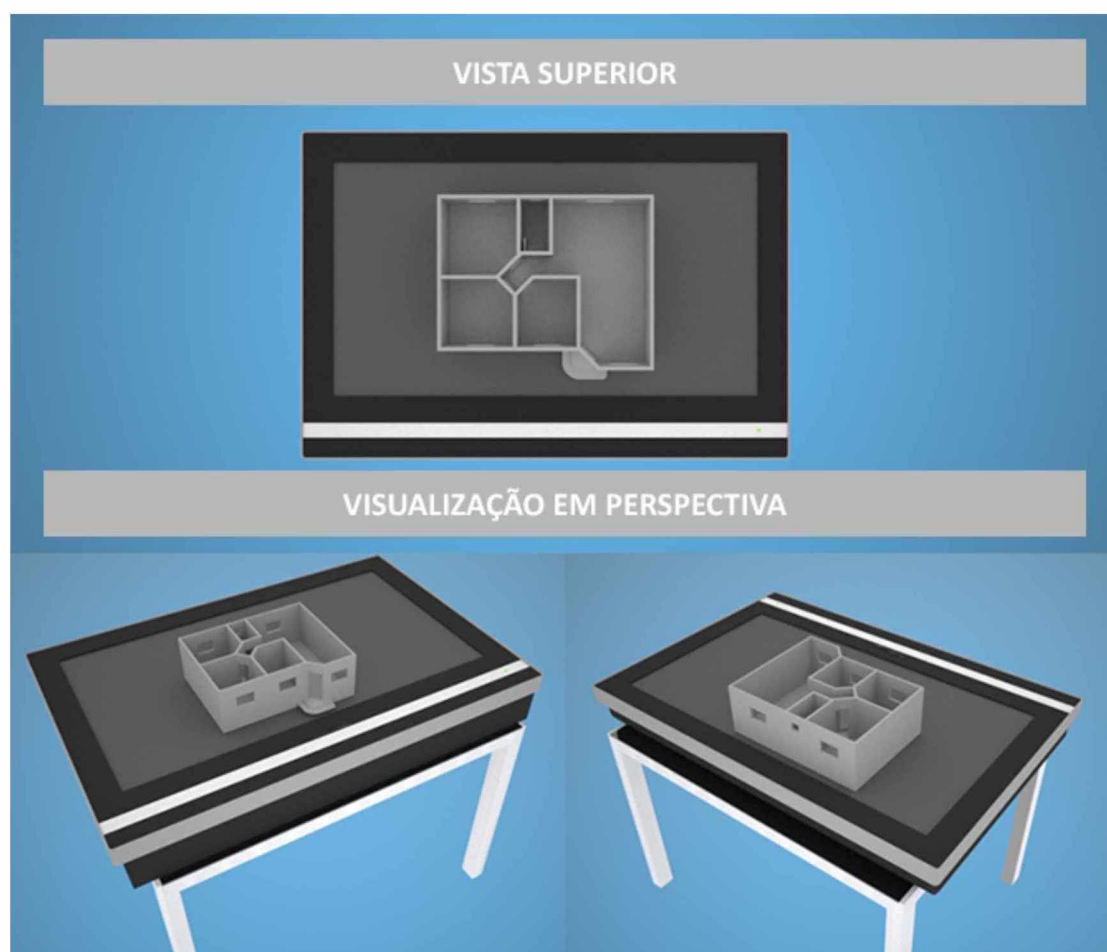


Figura 4.1: Vista superior e em perspectiva anamórfica da imagem projetada no monitor

O sistema de projeção utilizado trata-se de um monitor comum, com sua tela voltada para cima, com espaço para que o usuário possa movimentar-se ao seu redor. Este monitor teria suas imagens renderizadas a partir de um SRV, onde em sua função de transferência da interface tem por objetivo receber as informações coletadas pelo dispositivo de entrada, responsável pelo rastreamento de posição do usuário, e mapear estas informações a fim de gerar a nova imagem com um novo ponto de vista. A arquitetura do SRV foi desenvolvida com a *engine Unity*.

Por fim, o dispositivo de entrada, responsável pelo rastreamento do usuário foi o *Microsoft Kinect*, capaz de mapear o esqueleto humano do usuário fornecendo informações como posição, distância e orientação do usuário, como um todo, ou de partes específicas do mesmo, como cabeça, braços e pernas. A comunicação entre o *Kinect* e o *Unity* se faz a partir de um SDK aberto, denominado *UnityOpenNI*.

A Figura 4.2 apresenta um infográfico da disposição dos dispositivos de rastreamento (*Kinect*) e projeção (monitor), sem considerar aspectos da escala real.

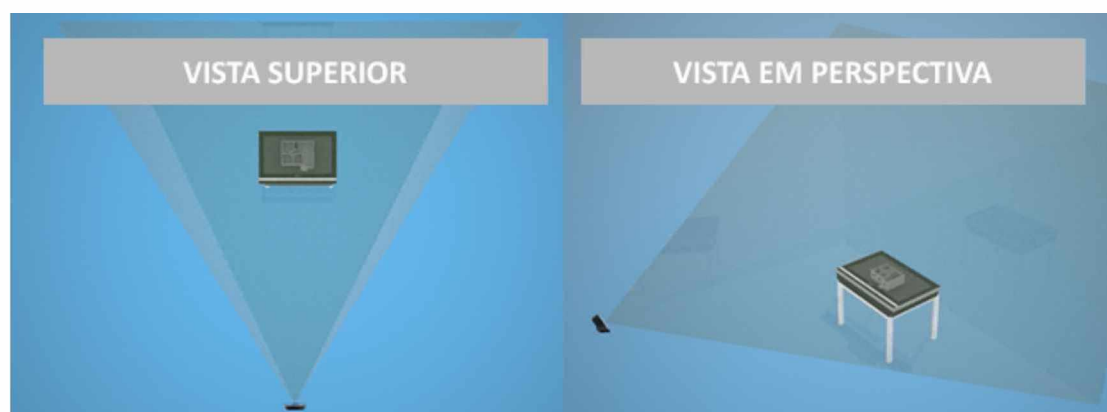


Figura 4.2: Disposição física dos periféricos

4.1.1 Fluxo de atualização do SRV

A atualização de imagens o mais próximo do tempo real possível deve ser alcançado para colaborar com a experiência de imersão do usuário, para isso o fluxo entre o dispositivo de entrada e de saída deve ser realizado com desempenho e uma taxa de atualização eficaz o suficiente para evitar congelamentos na tela. Esta frequência de atualização é definida no SRV, responsável pela comunicação entre tais dispositivos.

A Figura 4.3 exemplifica o processo de comunicação entre o usuário e os dispositivos da proposta, onde:

- A movimentação do usuário é capturada pelo dispositivo de rastreamento (*Kinect*);
- O *Kinect* se comunica com o *software* desenvolvido como prova de conceito, responsável por mapear as coordenadas de movimentação do usuário no mundo real, para coordenadas virtuais;
- De acordo com tais coordenadas, todos os objetos tridimensionais da cena são renderizados respeitando a perspectiva de visualização do usuário;
- A cena é apresentada ao usuário, no monitor, com sua ajuste da projeção perspectiva à posição de visualização correta.

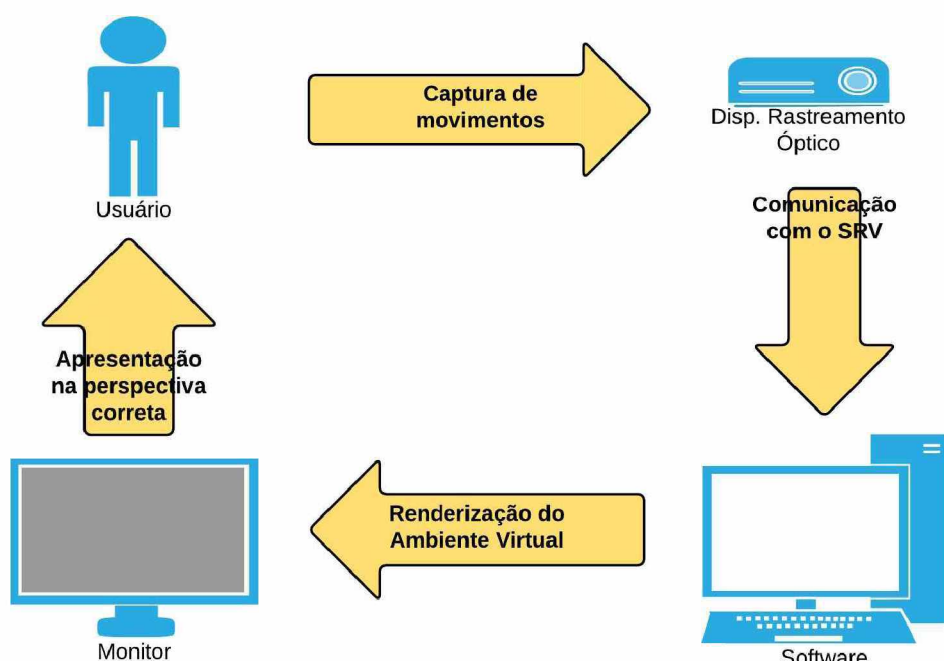


Figura 4.3: Fluxo de atualização da proposta

4.2 Tecnologias de apoio

A seguir, são descritas as tecnologias utilizadas no desenvolvimento do sistema, tanto na parte de *software* quanto na de *hardware*.

4.2.1 Google SketchUp

Para sistemas de Realidade Virtual que se utilizam de um ambiente tridimensional, são necessários objetos tridimensionais para popular este ambiente. Para isso, cada um destes objetos deve ser modelado em um *software* de modelagem

3D, capaz de criar um modelo de qualquer objeto (ou personagem/avatar) a partir de operações de corte e extrusão em polígonos. Além de modelar, alguns *softwares* permitem a aplicação de materiais e iluminação nos objetos, tornando sua semelhança com seus correspondentes no mundo real mais realistas.

Mantido pela empresa *Google*, o *SketchUp* é um destes *softwares*, que oferece ferramentas para modelagem de objetos 3D nos mais diferentes ramos de atuação, incluindo arquitetura, engenharia, edificações, paisagismo, *design* de jogos, cinema, entre outros. Distribuído em duas versões, a versão convencional, distribuída gratuitamente, oferece um número menor de ferramentas nativas dentro do *software* do que sua versão Pro [SketchUp, 2014].

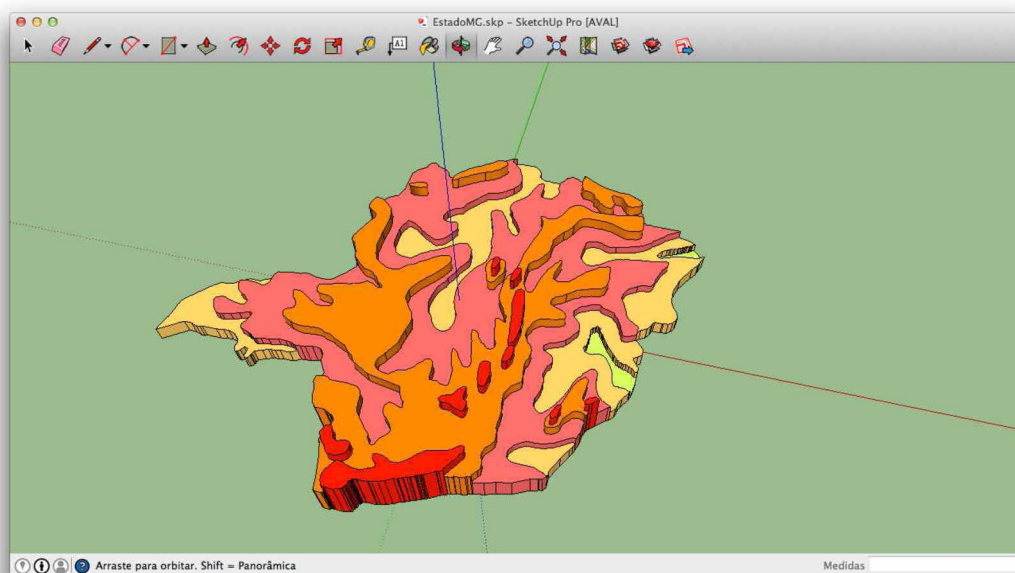


Figura 4.4: Interface do software Google SketchUp (SketchUp, 2014)

Se comparado a outros *softwares* do ramo, como *Autodesk 3D Studio Max*, *Autodesk AutoCAD*, *Autodesk Maya* (todos comerciais) e *Blender* (livre), o *SketchUp* possui um número de ferramentas nativas, para modelagem e outros recursos, bastante reduzido, visto que a ideia principal do *software* é permitir que o modelador utilize poucas ferramentas para fazer muito, diminuindo a curva de aprendizado do usuário [SketchUp, 2014].

No entanto, este número reduzido de ferramentas nativas pode ser ampliado através do *Extension Warehouse*, ambiente integrado ao *SketchUp* que permite o *download* e a instalação de extensões, desenvolvidas por usuários e empresas, capazes de maximizar os recursos do sistema. Dentre estes recursos extras, encontram-se

ferramentas para renderização (*render*), iluminação, criação de animações, ambiente de programação integrado, entre outros [Warehouse, 2014].



Figura 4.5:Tela inicial do Extension Warehouse (Extension Warehouse, 2014)

Outro recurso útil, para o desenvolvimento do projeto, consiste na vasta biblioteca de modelos gratuitos disponibilizada pelo *software* e criados por sua comunidade de usuários. A importação destes modelos para a cena é um processo simples, bastando o usuário escolher o modelo e, com apenas um clique, trazê-lo para sua cena. Os modelos vão desde objetos simples, com mesas e cadeiras, até objetos complexos, como carros, estações de trem e universidades completas. Muitas edificações famosas e pontos turísticos, são disponibilizados nesta biblioteca e também utilizadas em conjunto com o *software Google Earth*, inserindo estes modelos diretamente no mapa, enquanto o usuário navega por uma cidade.

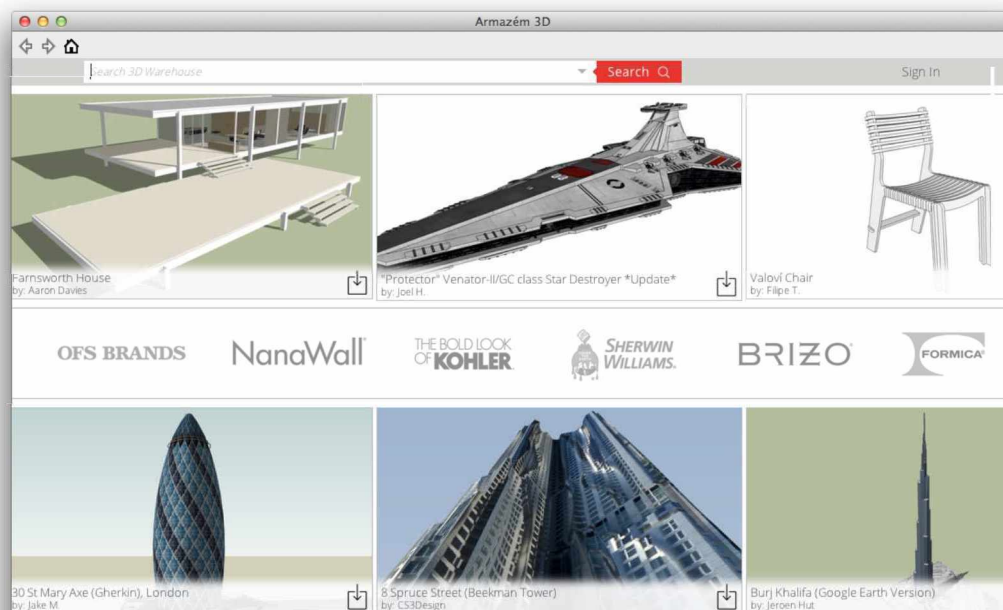


Figura 4.6: Modelos gratuitos disponíveis (Extension Warehouse, 2014)

Em suma, o fato de o *software* possuir uma versão gratuita, aliado a vasta biblioteca de modelos prontos gratuitos e por permitir uma curva de aprendizado menor, se comparado a outros *softwares* do gênero, foram fatores decisivos para a sua escolha como o *software* de modelagem 3D do projeto.

4.2.2 Unity 3D

Para a criação do ambiente virtual, foi utilizado o *Unity 3D*, popular *game engine* entre os desenvolvedores de games e de soluções de realidade virtual.

Apesar de ser voltado, principalmente, para o desenvolvimento de jogos, o *Unity 3D* não se limita a esta área, sendo definido como um ecossistema de desenvolvimento de jogos e conteúdo interativo 3D e 2D, com ferramentas intuitivas e um poderoso motor de renderização. Além disso, possui uma comunidade ativa e uma fácil publicação multiplataforma, sendo capaz de gerar conteúdo para as principais plataformas do mercado, como *Windows*, *Linux* e *Mac*, entre os *desktops*, *iOS*, *Android*, *Blackberry* e *Windows Phone 8*, entre os *mobiles*, diretamente para os navegadores, através de um web player e, finalmente, *Playstation 3*, *Playstation 4*, *XBOX 360*, *XBOX ONE* e *Wii U*, entre os consoles de videogame [Unity 3D, 2014].

O *Unity 3D* é responsável pela criação e manipulação de todo o ambiente tridimensional do projeto, onde a cena é construída através da importação dos objetos 3D exportados pelo *SketchUp*, onde tais objetos serão posicionados e suas escalas e rotações corrigidas. Também é nele que ocorre todo o processo de captura de posicionamento do usuário, seu processamento e mapeamento, atualizando o posicionamento de câmera da cena e a movimentação dos vértices dos objetos para suas novas posições, a fim de renderizar a imagem correta.

A Figura 4.7 apresenta o *Unity 3D* já com os objetos de cena posicionados.

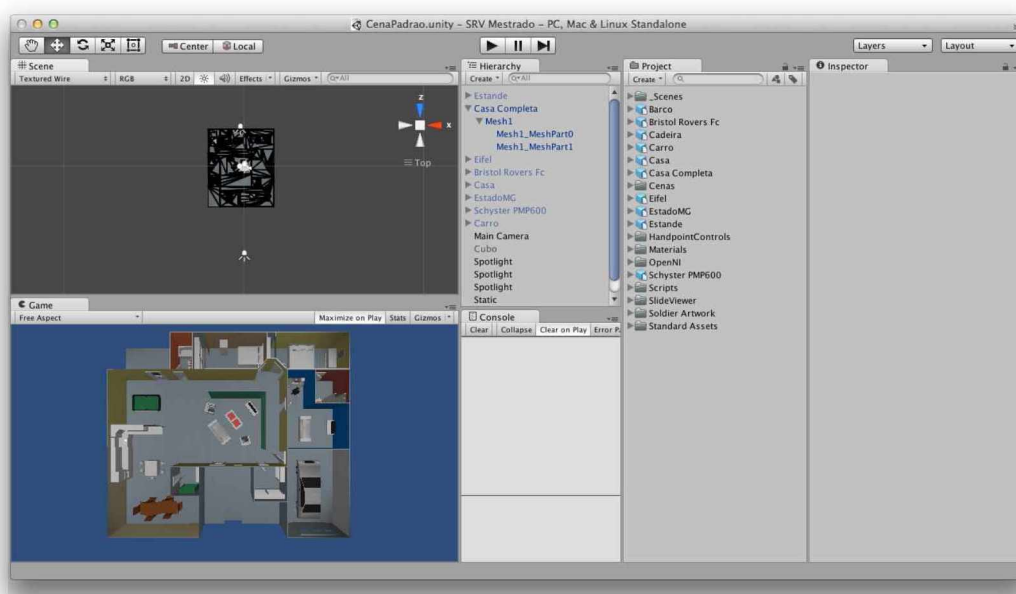


Figura 4.7: Exemplo de cena pronta no *Unity 3D*

A escolha desta *engine* se deu por ela possuir um ambiente de programação integrado flexível, permitindo a utilização de três linguagens de programação (*C#*, *JavaScript* e *Boo Script*), por possuir documentação completa e uma comunidade de desenvolvedores ativa, facilitando a busca por informações a respeito de todos os recursos oferecidos pelo *software*. O *Unity 3D* possui uma versão gratuita, que limita a utilização de determinados *plugins* e a publicação do projeto para determinadas plataformas (*mobile* e consoles), no entanto estas limitações não foram um problema para o desenvolvimento deste projeto.

Outro recurso que contribuiu bastante para a sua escolha, foi o fato de possuir compatibilidade com a biblioteca *OpenNI*, através do *wrapper UnityOpenNI*, facilitando o uso do sensor *Kinect*.

4.2.3 MonoDevelop

Presente nativamente junto à instalação do *Unity 3D*, o *MonoDevelop* se torna a primeira opção na etapa de codificação do sistema, no entanto o seu uso não é obrigatório, visto que qualquer *software* que ofereça um ambiente de desenvolvimento para as linguagens de programação suportadas pelo *Unity 3D* pode ser utilizado.

O *MonoDevelop* possui os principais recursos disponíveis em *softwares* voltados para o desenvolvimento de aplicações, como auto-completar, *templates* de códigos, *layout* customizável, *debug*, entre outros. Outro ponto a favor, é sua disponibilidade multiplataforma, possuindo versões para *Windows*, *Linux* e *Mac OS X* [MonoDevelop, 2014].

A Figura 4.8 apresenta a interface do *MonoDevelop*.

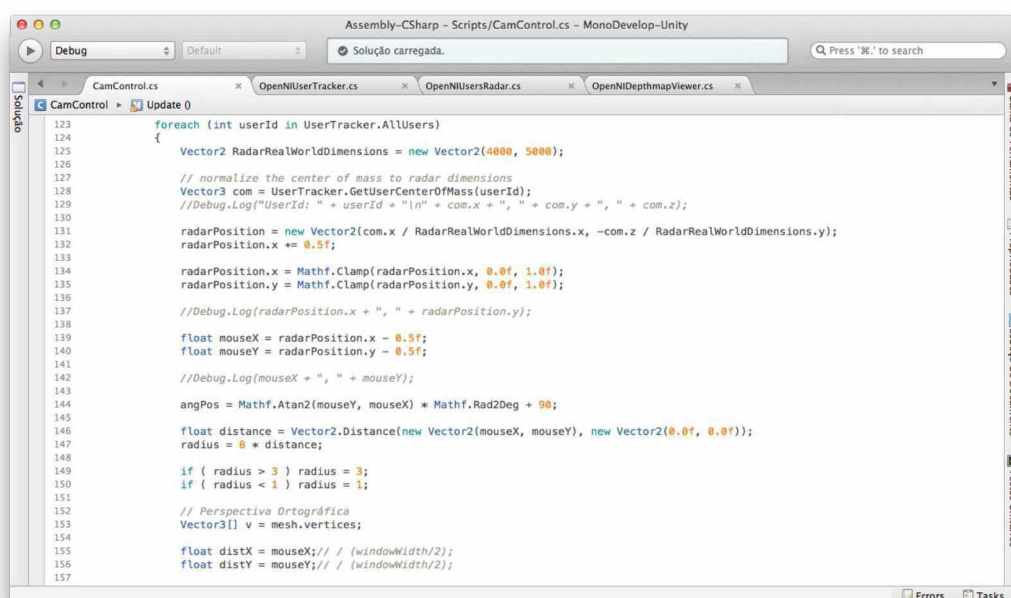


Figura 4.8: Interface do MonoDevelop (MonoDevelop, 2014)

Apesar de não possuir nenhum grande recurso exclusivo, o *MonoDevelop* foi escolhido por sua compatibilidade nativa com o *Unity 3D*, já que arquivos de código-fonte listados no *Unity* são abertos, para edição, diretamente nele, por padrão, aliado ao fato de ser multiplataforma, já que o projeto foi desenvolvido utilizando as plataformas *Windows* e *Mac OS X*, facilitando a compatibilidade durante esta troca de plataforma.

4.2.4 Microsoft Kinect

Kinect é um sensor RGB-D (*Red, Green, Blue* e *Depth*) capaz de capturar imagens coloridas e também imagens de profundidade desenvolvido pela *Microsoft*, lançado, inicialmente, como um acessório para o console de videogame *XBOX 360*, também da *Microsoft*. Com um algoritmo de captura de movimento humano em 3D, permite a interação entre o jogador e o jogo sem a necessidade de um *joystick*, pois as ações do jogo são realizadas através dos movimentos do jogador. Mesmo sendo apresentado como um dispositivo voltado para jogos, a *Microsoft* demonstrou que o sensor poderia ser utilizado como um dispositivo de interação entre usuário e diversas aplicações, não se limitando a jogos. A capacidade da câmera em profundidade aliada a uma captura de imagem visual convencional, disponibilizada pelo sensor, acabou potencializando possíveis novas soluções para clássicos problemas da computação visual, gerando um alto número de artigos científicos e demonstrações técnicas em conferências e publicações na área de computação visual [Han, J. et al, 2013].

Na Figura 4.9 é possível visualizar o *Kinect*.



Figura 4.9: *Kinect* (Microsoft, 2014)

O sensor ainda é capaz de realizar reconhecimento facial e conta com 4 microfones para reconhecimento de comandos de voz e redução de ruído. A seguir, algumas informações sobre os principais componentes físicos do sensor (Microsoft, 2014):

- Uma câmera RGB capaz de coletar a imagem em três canais distintos com resolução de 1280x960 pixels, o que torna a captura de imagens coloridas possível.
- Um emissor infravermelho e um sensor de profundidade infravermelho. O emissor é responsável por emitir feixes de luzes infravermelhas e o receptor

receber a reflexão destes feixes, analisando e convertendo a informação em distância entre o sensor e os objetos.

- Quatro microfones distribuídos pelo sensor capazes de, além de capturar o som, determinar de onde este som está vindo, devido à posição de cada um dos microfones.
- Um acelerômetro de 3 eixos, capaz de determinar a orientação atual do *Kinect*.

A Figura 4.10 mostra a localização destes componentes.

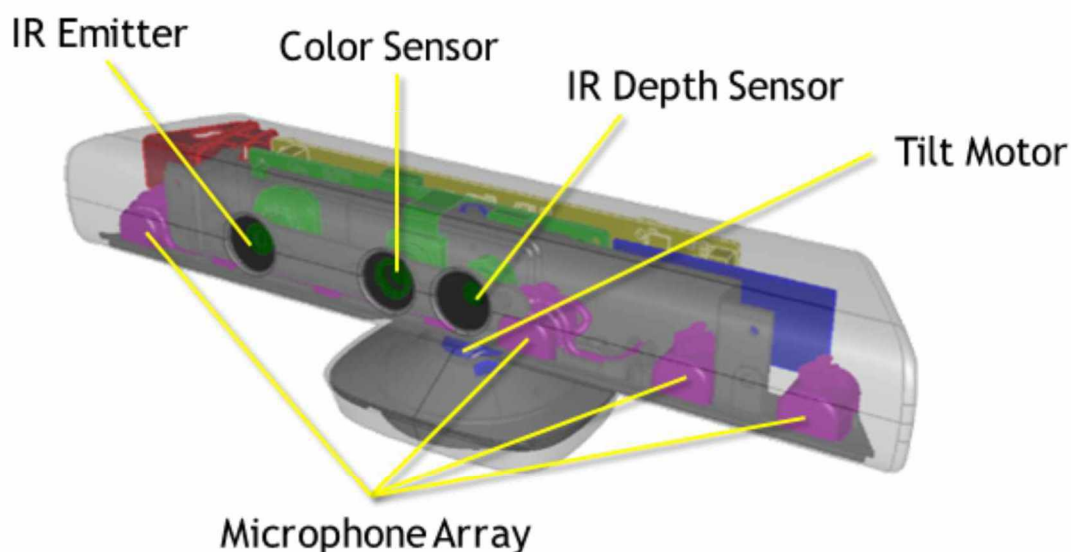


Figura 4.10: Componentes físicos encontrados no Kinect (Micorosft, 2014)

A Tabela 4.1 apresenta algumas especificações técnicas do *Kinect* (Microsoft, 2014):

Tabela 4.1: Especificações técnicas do Kinect (Microsoft, 2014)

Kinect	Especificação
Ângulo de visão	43° vertical por 57° horizontal (campo de visão)
Faixa de inclinação vertical	+ - 27°
Taxa de quadros (profundidade e cor)	30 FPS (<i>frames per second</i> – quadros por segundo)
Formato de áudio	16-kHz, 24-bit mono (PCM)
Características da entrada de áudio	4 microfones com 24-bit com conversor analógico para digital (ADC) e um processamento de sinais interno do

	<i>Kinect</i> para cancelamento de eco e supressão de ruído.
Características do acelerômetro	Um acelerômetro 2G/4G/8G configurado para uma faixa de 2G, com 1° de precisão.

No entanto, a grande inovação do *Kinect* foi seu poderoso processamento para reconhecimento de esqueleto humano, capaz de capturá-lo independentemente do biotipo físico da pessoa ou qualquer tipo de pré-calibragem, permitindo que esta captura e processamento ocorra em tempo hábil até a próxima atualização de imagem, tornando a experiência próxima ao tempo real do movimento do usuário. Para este reconhecimento, o corpo humano é representado por um determinado número de *joints* (juntas), onde cada uma delas é correspondente a uma parte do corpo humano, como cabeça, pescoço, ombros, cotovelos, mãos, joelhos e pés. Cada *joint* é representada por sua coordenada no espaço 3D, tornando o objetivo do sensor determinar estas coordenadas (Zhang, Z., 2012).

A Figura 4.11 mostra uma representação de como a detecção de esqueleto funciona, mapeando as juntas do corpo humano:

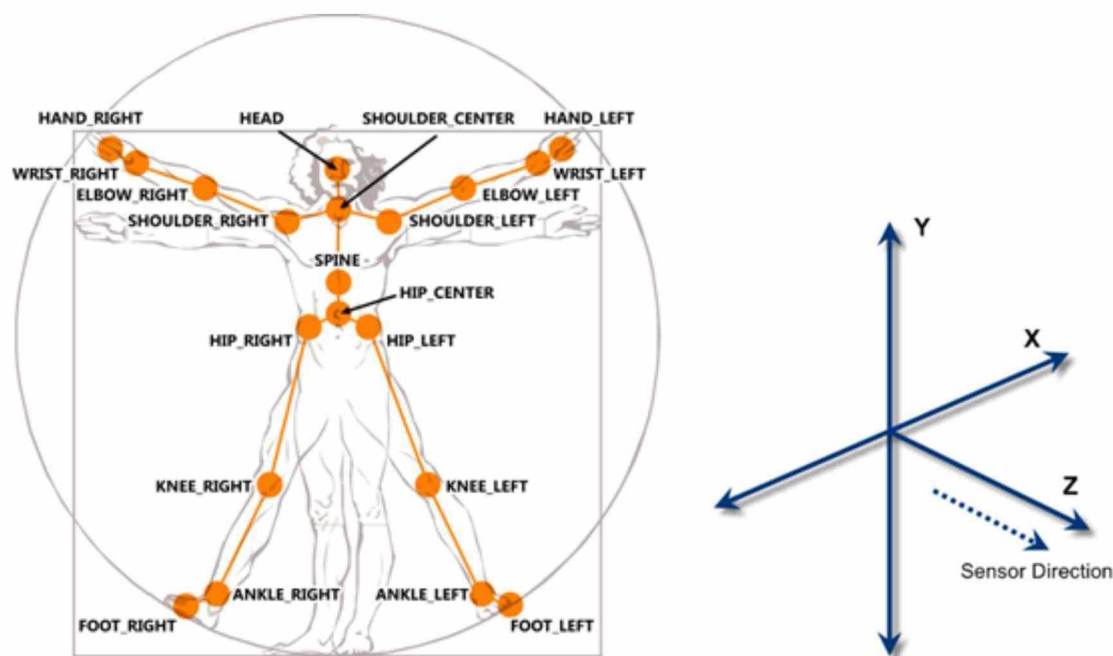


Figura 4.11: Mapeamento do esqueleto humano pelo Kinect SDK (Microsoft, 2014)

Capítulo 5

5. Desenvolvimento da Prova de Conceito

Neste capítulo são demonstradas todas as etapas para o desenvolvimento do SRV utilizado como prova de conceito, desde a parte física até a codificação do *software*.

Na área da educação, o aprendizado se aproveita de técnicas que mantenham o estudante motivado, motivação esta que acaba refletindo em melhores resultados no processo. Para isso são necessárias ferramentas adequadas para este fim, visto que, de acordo com a natureza do assunto a ser apresentado, a compreensão acaba de tornando mais difícil devido à sua natureza abstrata ou por não permitir o contato físico com estes [Rizzato & Nunes, 2007].

Já na competitiva área comercial, a empregabilidade de ferramentas de Tecnologia da Informação (TI) ganham destaque e, se usadas de forma eficiente, garantem um melhor desempenho no mercado, gerando um maior valor ao produto, marca ou serviço [Velooso et. al, 2011].

Em ambas as situações, a RV pode se tornar uma aliada, na condição de ferramenta de apoio à visualização e apresentação da informação ou produto, garantindo a interatividade que os métodos convencionais não dispõem.

5.1 Estrutura física

Para o perfeito funcionamento do SRV, a disposição dos elementos físicos envolvidos deve ser analisada com cuidado. Levando em consideração que o sistema de projeção, no caso o monitor, deve possuir espaço livre para a movimentação do usuário ao seu redor e o *Kinect* deve estar na posição correta, em relação ao monitor, para o mapeamento correto da posição do usuário para as imagens exibidas no monitor.

5.1.1 Monitor

O sistema de projeção utilizado para exibir o ambiente virtual pode ser um monitor convencional de tela plana, específico para uso em computadores ou mesmo

televisores. O tamanho da tela pode afetar significativamente a experiência do usuário, pois telas pequenas podem não oferecer o ângulo de visão adequado para o “efeito 3D” dos objetos com resultado satisfatório, visto que os objetos teriam de ser muito pequenos para que o ângulo fosse adequado, impedindo uma visualização em detalhes dos mesmos.

O monitor deve ser disposto sobre uma estrutura a fim de servir como uma mesa, ou seja, com sua tela voltada para cima, com espaço ao seu redor para que o usuário possa movimentar-se à sua volta. A altura da tela em relação ao chão também deve ser observada, pois a relação de altura entre a mesa e altura do usuário irão oferecer diferentes ângulos de visão. A altura padrão é 80 cm em relação ao chão e, em caso de um valor diferente, o mesmo deverá ser informado na aplicação.

A Figura 5.1 apresenta a disposição do monitor no cenário da aplicação.

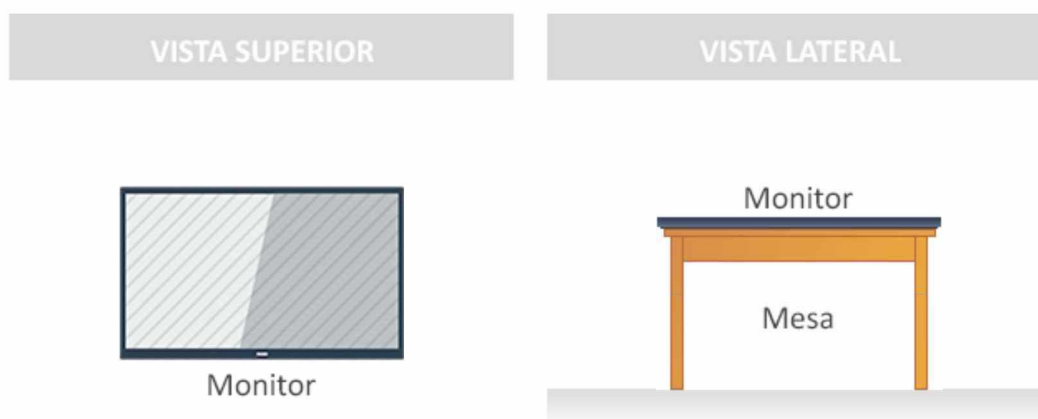


Figura 5.1: Disposição do monitor

Durante o desenvolvimento, foram utilizados, primordialmente, dois modelos de televisores como monitor, um com 40” de tamanho e outro com 47”, ambos com tela LED e resolução de até 1920x1080 (*Full HD*). No entanto, o computador responsável por fornecer as imagens ao monitor possuía saída limitada a uma resolução de 1280x800 (*HD*).

O televisor de 40” foi o mais utilizado, sendo o de 47” em apenas duas ocasiões. Apesar de possuir uma tela maior, possibilitando uma riqueza maior de detalhes na visualização dos objetos, o monitor de 47” não se mostrou ideal para esta aplicação pois, justamente por seu tamanho elevado, acabou criando uma área de movimentação muito grande para o usuário, afastando-o muito do *Kinect*, que possui um alcance limitado. Este fato resultou em uma perda no rastreamento do usuário,

quando este se encontrava “do outro lado” do monitor. Uma tela de 32” a 40” acaba oferecendo um ângulo de visão e tamanho de objetos satisfatórios para a aplicação.

5.1.2 Kinect

A disposição do *Kinect* deve ser toda analisada em relação à posição do monitor, já que é ali que se encontra a área de movimentação do usuário. Ele deve ser posicionado voltado para o lado correspondente à base da tela do monitor, alinhado ao seu centro, a uma altura de 0.5 metro, aproximadamente, em relação à altura da tela, aumentando assim o campo de visão para a detecção do esqueleto do usuário quando este estiver do lado oposto do monitor, com parte de seu corpo sendo encoberta pela mesa. Este valor foi obtido por meio de testes de alcance de visualização do usuário, pelo *Kinect*.

O *Kinect* possui um alcance, em sua câmera de profundidade, de 80 cm a 4 metros (Microsoft, 2014), logo, o monitor e a área de movimentação do usuário deve estar neste intervalo. Durante os testes, a detecção dos esqueletos de usuários muito próximos ao limite de 80 cm do *Kinect* apresentaram dificuldades, portanto é recomendado que todo o espaço de movimentação e monitor sejam “nivelados” a partir de seu limite máximo, 4 metros, priorizando que a “área livre” fique mais próxima ao sensor.

A Figura 5.2 mostra a disposição do *Kinect* no ambiente.

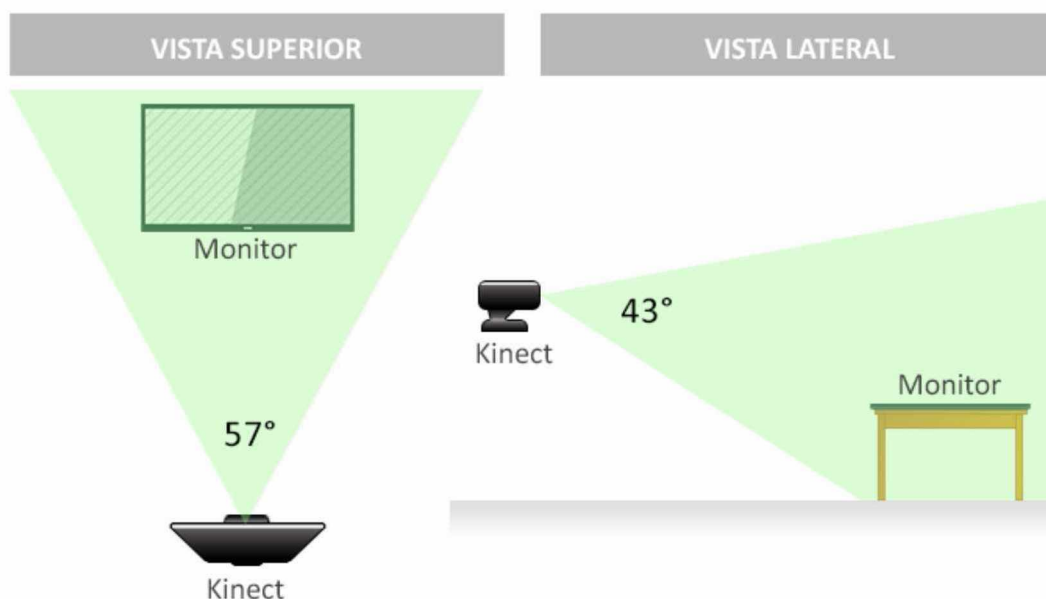


Figura 5.2: Disposição do Kinect (fora de escala)

5.2 Implementação do Software

A implementação do *software* engloba desde a montagem da cena, com os objetos 3D que popularão o ambiente virtual, até a fase de conversão das informações recebidas pelo *Kinect* e alteração da câmera e dos vértices de cada objeto em cena.

5.2.1 Criação da cena

Após a modelagem dos objetos que povoarão a cena, ou mesmo sua importação na biblioteca de modelos do *SketchUp*, estes serão exportados no formato *Filmbox* (.FBX), popular formato para transferência de modelos 3D de um *software* para outro, desenvolvido inicialmente por uma empresa denominada Kaydara's Filmbox, sendo de propriedade da Autodesk desde 2006 (File Format, 2015), se tornando um dos padrões de arquivos para transição de objetos 3D entre *softwares* de modelagem 3D. Além de arquivos .FBX permitirem armazenar todas as informações geométricas dos objetos da cena, como vértices, linhas, polígonos e curvas, também podem armazenar configurações de textura e iluminação (Autodesk, 2015).

A Figura 5.3 mostra objetos de uma cena no *SketchUp*, que será usada na prova de conceito e validação do sistema.

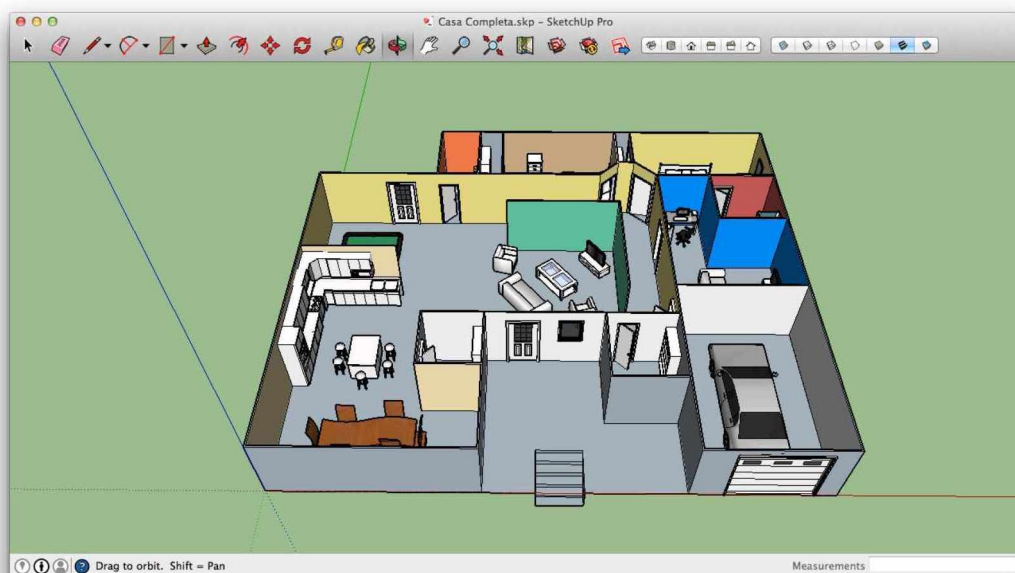


Figura 5.3: Objeto 3D a ser utilizado na cena

Nesta etapa, os objetos exportados para .3DS são importados no *Unity 3D*, podendo alguns ajustes de rotação, escala e posição serem necessários para que todos

os objetos da cena caibam na tela ou fiquem em tamanho aceitável para visualização no monitor. Estes ajustes devem ser realizados manualmente. Aplicações de texturas e iluminação tanto podem ser realizadas no *SketchUp* quanto no *Unity*, mas é recomendado que estes sejam configurados no *SketchUp*, minimizando os pré-ajustes a serem realizados no *Unity*, a fim de tornar o ambiente das cenas o mais genérico possível, pois cada aplicação utilizada (Educativa: Química, Física, História; Comercial: Apartamento mobiliado) poderá exigir uma configuração de iluminação completamente diferente de outra. Quanto mais a cena vir pronta, dentro do arquivo .3DS, menos ajustes de escala, posicionamento e rotação terão de ser feitos no *Unity*.

A Figura 5.4 mostra a representação da cena da prova de conceito na Engine de Jogos (Unity 3D).



Figura 5.4: Cena pronta para uso no Unity 3D

5.2.2 Movimentação do usuário: mapeamento

A classe *OpenNIUserTracker*, disponível através do *wrapper* para *Unity* da biblioteca *OpenNI*, chamado *UnityOpenNI*, é a responsável por capturar o esqueleto do usuário e fornecer as coordenadas de todas as juntas do esqueleto capturado, além de outras informações, como a distância do usuário em relação ao Kinect.

Após a montagem da estrutura física é necessária uma calibração para definir a área de movimentação do usuário, onde um parâmetro do sistema deve ser alterado a fim de definir qual a distância entre o sensor e o centro da tela do monitor. Para isso,

o usuário deve posicionar-se imediatamente à frente do monitor e observar o valor exibido na caixa de diálogo correspondente, depois se posicionar do outro lado da tela e observar o valor exibido na mesma caixa de diálogo. O valor médio entre estes dois valores será o centro da tela.

A Figura 5.5 exemplifica o processo de calibragem.

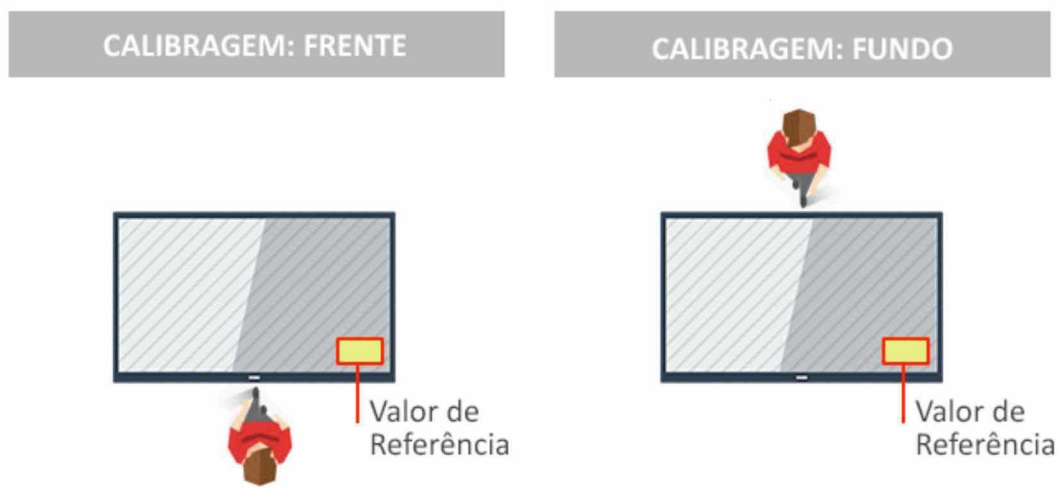


Figura 5.5: Calibragem do sistema

Baseando-se no centro da tela, é traçada uma circunferência imaginária de aproximadamente 2 metros de diâmetro ao redor da tela, onde qualquer movimentação do usuário dentro desta área será mapeada para a atualização da tela. Caso o usuário saia desta área o processo de atualização é interrompido e a última imagem processada continua a ser exibida até uma nova detecção de um esqueleto. Este processo se faz necessário para evitar que os objetos da cena se deformem de maneira exagerada, podendo estragar a experiência de imersão.

A Figura 5.6 mostra o resultado da área de movimentação do usuário, após a calibragem.

ÁREA DE MOVIMENTAÇÃO DEFINIDA

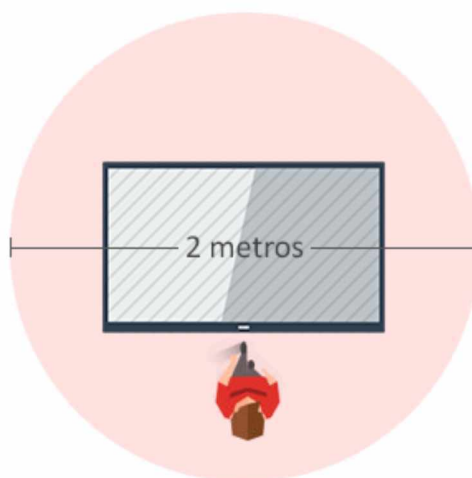


Figura 5.6: Área de movimentação do usuário

Enquanto o usuário se manter nesta área, suas informações de posicionamento estarão disponíveis para as próximas etapas do sistema.

5.2.3 Movimentação da Câmera na cena

Em ambientes virtuais tridimensionais, a câmera é a responsável por selecionar o que será captado no mundo virtual e exibido ao usuário, funcionando como o olho humano no mundo real, que possui todo o mundo virtual à sua disposição mas possui um campo de visão limitado de acordo com o campo de visão oferecido pela câmera, sua posição e sua orientação.

Possuindo dois modos básicos, a câmera em 1ª pessoa simula a visão real do usuário, como no mundo real. Já o modo de câmera em 3ª pessoa permite ao usuário ver o corpo de seu avatar no mundo virtual, seja esta câmara fixa em um ponto ou acompanhando o avatar, como se estivesse suspensa pouco atrás da posição deste. Para a navegação no ambiente virtual deste projeto, a visão em 1ª pessoa é a utilizada.

A área de movimentação da câmera virtual, neste SRV, é limitada a uma área circular sobre a cena, sempre com um alvo fixo, ou seja, independente da posição da câmera nesta área, ela sempre estará “olhando” para o centro da cena. No *Unity*, isso é possível graças ao método *LookAt()*, da classe *Transform* da câmera, tornando a orientação da câmera um processo automático.

Na Figura 5.7 podemos ver a área de movimentação da câmera virtual, em relação à cena.



Figura 5.7: Área de movimentação da câmera virtual

Esta área de movimentação da câmera se integra à circunferência imaginária da área de movimentação do usuário, permitindo que a câmera se posicione na cena de acordo com o posicionamento do usuário. Este mapeamento é realizado através de trigonometria apenas para seu posicionamento, visto que a orientação fica por conta do *Unity*.

A Figura 5.8 traça o paralelo entre as posições do usuário e da câmera virtual.

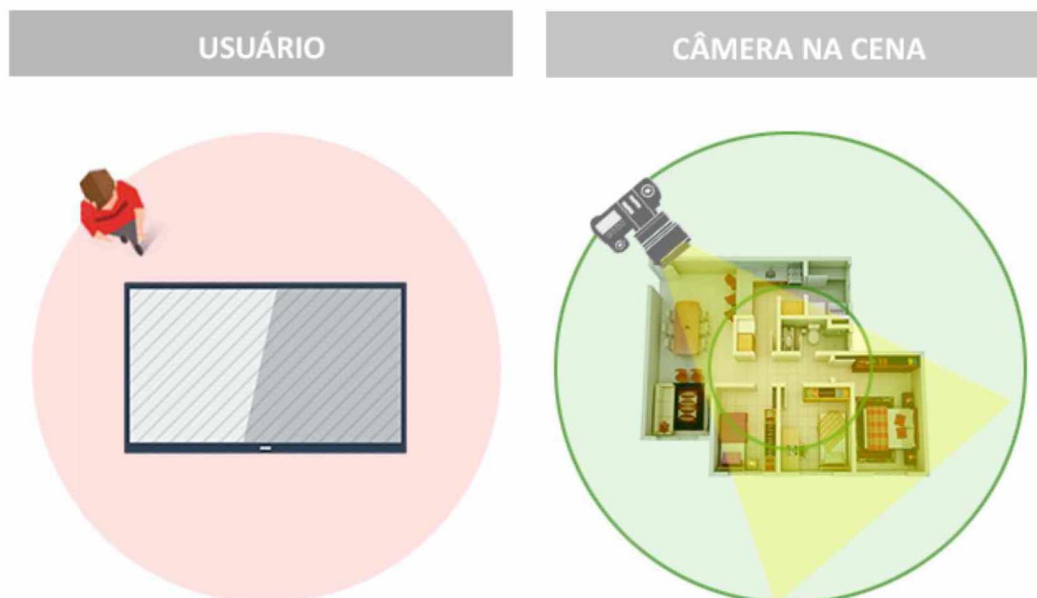


Figura 5.8: Relação entre a movimentação do usuário e da câmera virtual

É importante salientar que a relação entre o posicionamento da câmera virtual é atrelado apenas ao posicionamento do usuário, não levando em conta sua orientação ou a posição de sua coluna/pescoço, de forma que para alterar o ângulo de visualização, este deve se deslocar completamente para uma nova posição. Pretende-se eliminar esta limitação em trabalhos futuros.

5.2.4 Ponto de vista: alteração da perspectiva anamórfica dos modelos em tempo real

Para que a projeção exiba os objetos tridimensionais em perspectiva anamórfica, de acordo com o ponto de vista do usuário, e não apenas uma visualização plana dos mesmos, criando a impressão de que os objetos estão “sobre a mesa”, não basta apenas a movimentação da câmera ao redor da cena acompanhando a orientação do usuário, visto que qualquer imagem captada pela câmera, no ambiente virtual, será exibida normalmente no monitor, como se este ainda estivesse em sua posição convencional, na vertical.

A projeção de um ambiente virtual, em um monitor posicionado em sua orientação normal, na vertical, destina-se à uma visualização onde o usuário deve estar localizado à sua frente. Esta mesma projeção, em um monitor na horizontal, funcionando com uma mesa, acabaria prejudicando a visualização tridimensional dos

objetos, visto que o ponto de vista do usuário não seria mais de frente para a tela, o que tornaria os objetos com uma aparência chapada.

Para sanar este problema e provocar uma ilusão de que os objetos estão sobre a mesa é necessário que todos os objetos 3D da cena sejam deformados de modo a continuar a manter o seu efeito de solidez, de acordo com a perspectiva de visão do usuário, para isso é utilizado a anamorfose. Anamorfose é o processo de distorção de uma imagem de forma que esta só assuma sua real forma quando observada de um ponto de vista específico (Collins, 1992 apud Brod, G., 2010).

A Figura 5.9 exemplifica uma imagem anamórfica, vista de um ponto de vista qualquer (cima) e do ponto de vista correto (baixo).



Figura 5.9: Exemplo de uma imagem anamórfica (Beever, 2015)

O processo de anamorfose dos objetos 3D da cena é realizado no Unity 3D, onde o algoritmo desenvolvido no *software* da prova de conceito consiste em modificar a posição dos vértices desta imagem, de forma a produzir um efeito de profundidade, de acordo com o ponto de vista do usuário.

A Figura 5.10 apresenta o “esqueleto” de um cubo tridimensional, exibindo suas arestas e destacando os vértices localizados na posição 0 do eixo Y, referentes à base do objeto, e os vértices localizados com uma posição superior a 0, no mesmo eixo. A posição dos vértices no eixo Y é responsável por definir o nível de deformação que o objeto sofrerá, como explicado, em mais detalhes, a seguir.

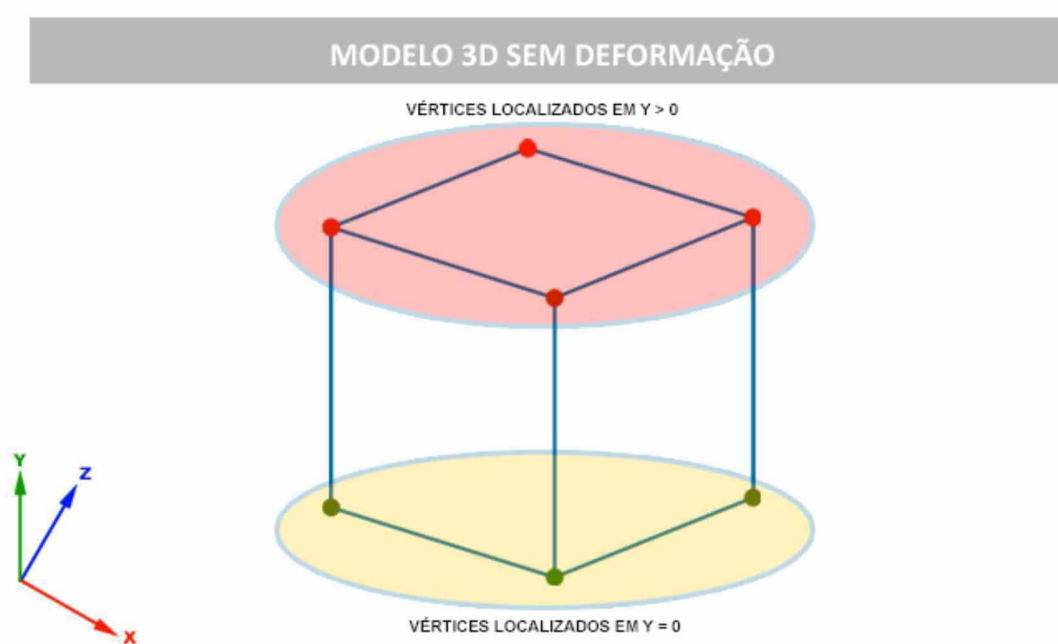


Figura 5.10: Modelo 3D sem deformação

Este processo de deformação é realizado através das seguintes etapas, sendo exemplificado visualmente na Figura 5.11:

- A posição do usuário é processada, o que irá determinar a direção em que os vértices serão movidos. Os vértices são movidos apenas nos eixos X e Z;
- Os vértices são movidos na direção oposta ao da posição do usuário. Logo, se o usuário estiver localizado ao norte da tela, os vértices se moverão para a direção sul, se estiver localizado à sudeste, os vértices se moverão na direção noroeste, etc. Esta relação é demonstrada na Figura 5.11 através das setas cinzas;

- Definida a direção em os vértices serão movimentados, o eixo Y irá determinar o quão estes vértices serão afetados, onde quanto maior o valor de Y, mais distantes eles ficarão do usuário;
- Na posição $Y=0$ os vértices não são afetados, do contrário os objetos no chão da cena sairiam do lugar;
- Todos os vértices dos modelos são analisados e, de acordo com sua altura em relação ao eixo Y, eles serão movidos para posições menos distantes de sua posição atual (caso estejam mais próximos a 0) ou mais distantes (caso estejam mais distantes de 0), sempre na direção oposta à posição do usuário em relação à mesa;
- Não há um limite em o quanto os vértices poderiam se distanciar de sua posição atual, no entanto, o limite de movimentação do usuário, ao redor da mesa, acaba criando este limite indiretamente, pois caso o usuário saia do diâmetro de 2 metros pré-estabelecido, a última posição válida, dentro deste intervalo, será utilizada, impedindo que os objetos se deformem ao ponto de ficarem irreconhecíveis;
- Todo o processo é reiniciado a cada atualização de imagem.

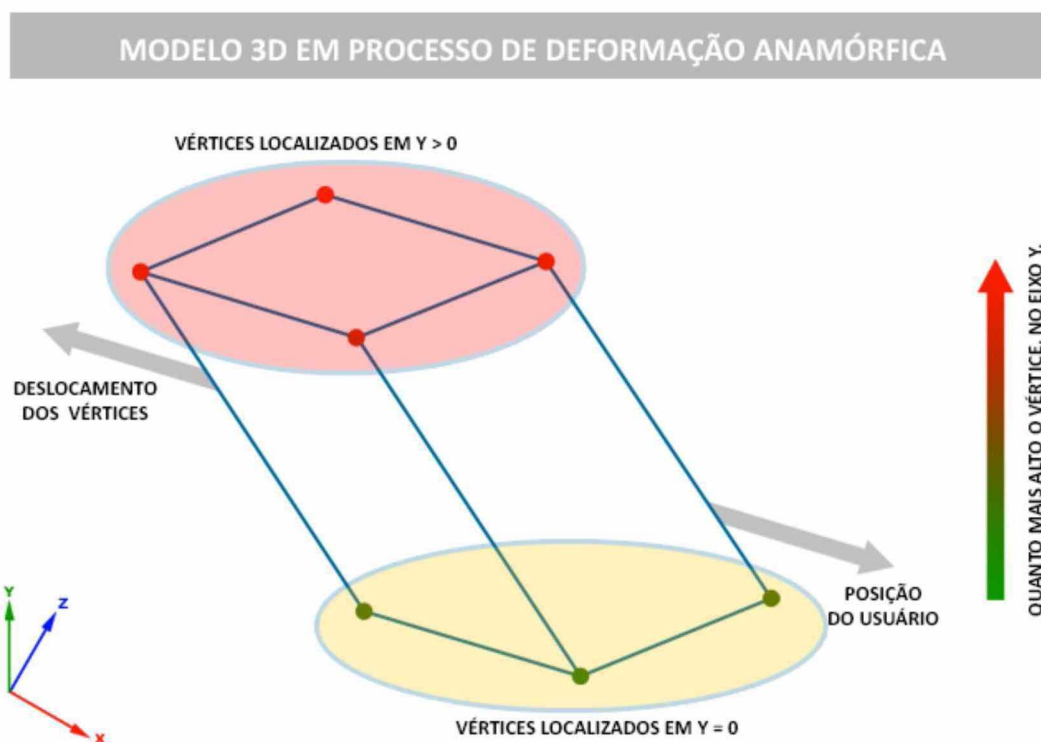


Figura 5.11: Modelo 3D em processo de deformação anamórfica

A seguir, trecho do código responsável por realizar a deformação da malha, alterando a posição dos vértices:

```
float altura = 1.7f;
float coefAltura = altura / 1.7f;
float distance = Vector2.Distance(new Vector2(mouseX, mouseY),
new Vector2(0.0f, 0.0f)) * coefAltura;
radius = 8 * distance;

if ( radius > 3 ) radius = 3;
if ( radius < 1 ) radius = 1;

// Perspectiva Anamórfica
Vector3[] v = mesh.vertices;

float distX = mouseX;// / (windowWidth/2);
float distY = mouseY;// / (windowWidth/2);

shear = new Vector3(1f*distX, 0f, 1f*distY);
Vector3 shearRel = radius * shear;

double escala;
for (var i = 0; i < v.Length; i++) {
    escala = (v[i].y + 0.5) * 100;

    if ( escala > 0 ) {
        v[i] = vert[i] + shearRel * vert[i].y;
    }
}

mesh.vertices = v;
mesh.RecalculateNormals();
```

A Figura 5.12 demonstra a cena com o objeto em sua forma normal e após a deformação anamórfica.

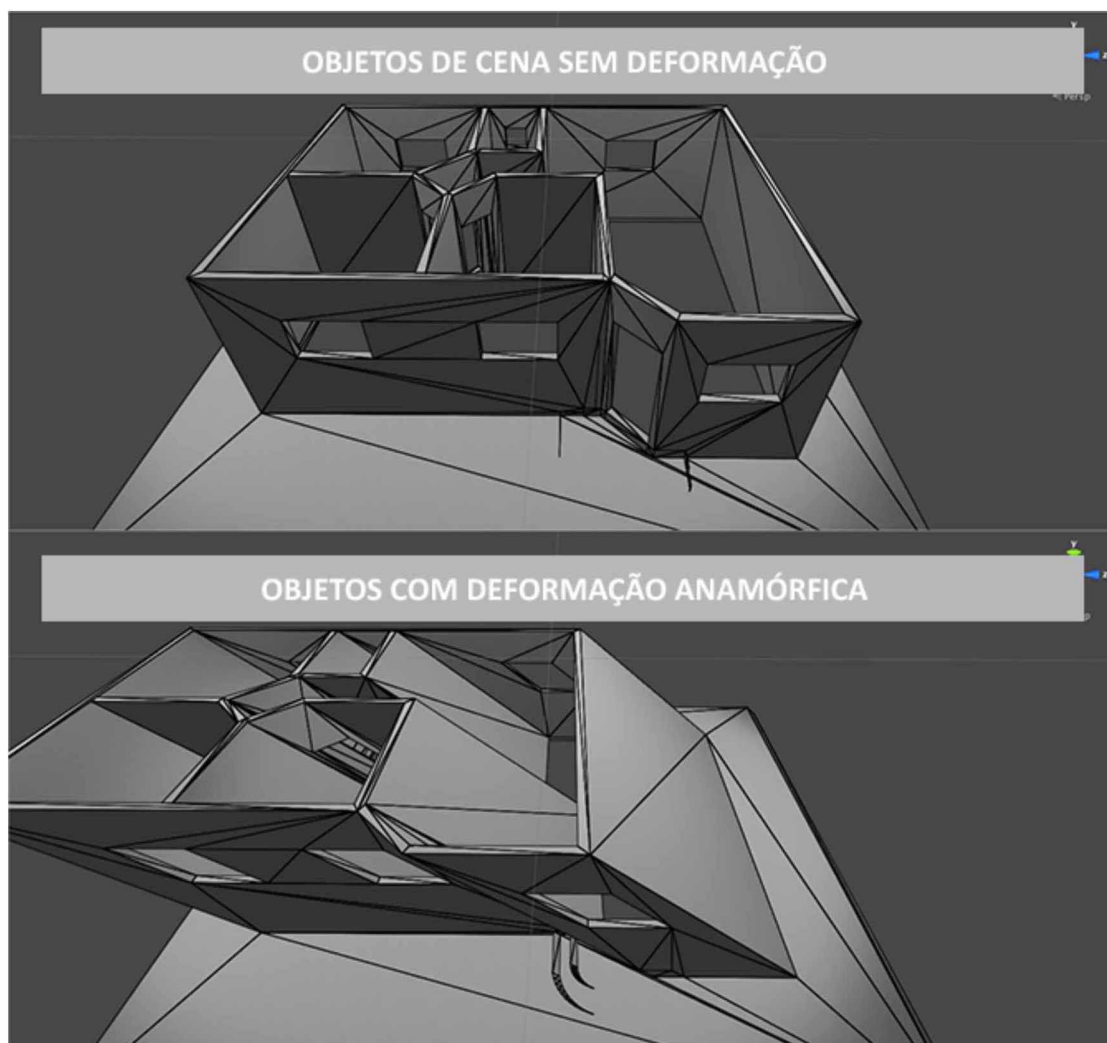


Figura 5.12: Modelo 3D antes e depois da aplicação da deformação anamórfica

No processo de deformação, o parâmetro definido para a altura da tela, em relação ao chão, é combinado com o parâmetro de altura do usuário, a fim de oferecer uma imagem anamórfica a mais precisa possível, de acordo com o ponto de vista do usuário.

Nas Figuras 5.13 e 5.14 é possível visualizar o protótipo em funcionamento.



Figura 5.13: Posição do usuário em relação à mesa



Figura 5.14: Visão em 1ª pessoa do usuário

A Figura 5.15 mostra a visão por cima da mesa, possibilitando a visualização da deformação anamórfica dos objetos tridimensionais.



Figura 5.15: Visão por cima da mesa

Este capítulo apresentou o desenvolvimento da prova de conceito, utilizada para a aplicação para o grupo de usuários de testes, descritos e discutidos no capítulo seguinte.

Capítulo 6

6. Análise de Resultados

Neste capítulo são apresentados a metodologia da aplicação do protótipo ao usuário, bem como os critérios de avaliação apresentados e o resultado desta análise.

6.1 Apresentação do protótipo

Durante o desenvolvimento da prova de conceito, em casos pontuais, o protótipo foi apresentado para usuário de forma que a opinião destes pudesse contribuir para o desenvolvimento de uma versão mais robusta e confiável.

Ao término deste, o protótipo foi apresentado a 50 usuários do setor de educação, entre discentes, docentes e demais setores administrativos, com uma aplicação voltada para a área educacional.

Inicialmente os usuários eram apresentados à mesa, apenas com a prerrogativa de que deveriam interagir com o sistema, sem nenhuma informação adicional. Também era solicitado ao usuário informar sua altura, para configuração correta da projeção do sistema. Para esta primeira etapa, uma planta tridimensional de uma casa mobiliada foi escolhida para ser projetada, pois por se tratar de objetos do convívio popular diário, os usuários poderiam se familiarizar mais facilmente com estes modelos.

Após o usuário aprender a interagir com a mesa, movimentando-se ao redor dela, era apresentada uma segunda cena, onde o mapa do estado de Minas Gerais foi projetado, com diferentes níveis de relevo, onde os usuários deveriam informar se a cidade onde eles se encontravam possui um relevo semelhante ou diferente da capital, Belo Horizonte.

Passada a dinâmica, os usuários eram convidados a responder um questionário *online* a fim de registrar suas impressões com relação ao uso do protótipo.

6.2 Critérios de Análise

A coleta de dados para análise se deu por meio de um questionário online, baseado no modelo QUIS (*Questionnaire for User Interaction Satisfaction*), capaz de mensurar a satisfação subjetiva de um usuário com aspectos específicos da interação homem-máquina (QUIS, 2015). Para analisar o critério de imersão, foi utilizado parte da adaptação do questionário apresentado no trabalho de Silva (2014).

A seguir são apresentados em detalhes cada um dos critérios avaliados, bem como a análise de seus resultados.

6.2.1 Reações gerais ao sistema

Critério responsável por analisar a satisfação do usuário ao utilizar o protótipo, em um âmbito geral.

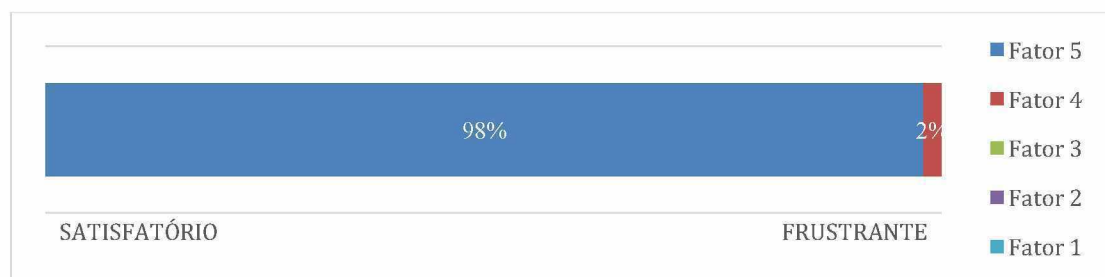


Gráfico 6.1: Grau de satisfação

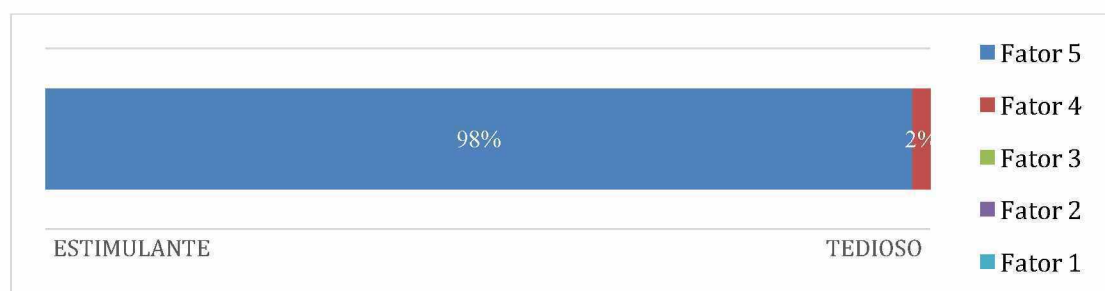


Gráfico 6.2: Grau de estímulo durante o uso

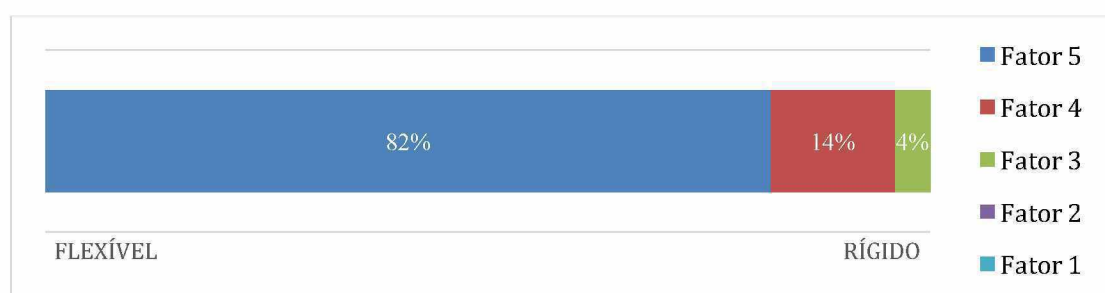


Gráfico 6.3: Grau de flexibilidade

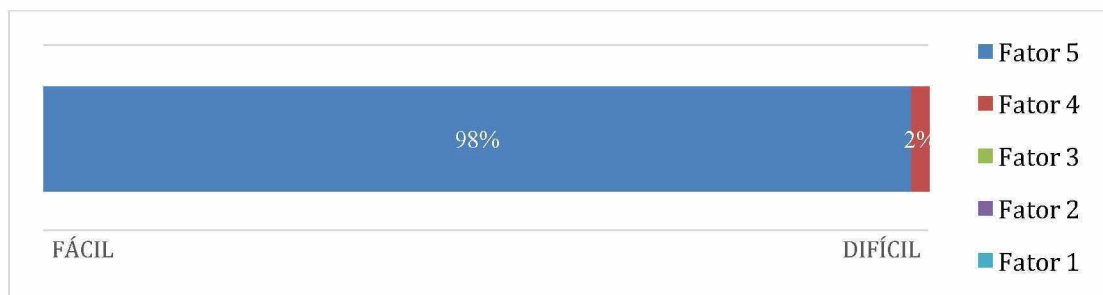


Gráfico 6.4: Grau de dificuldade de uso

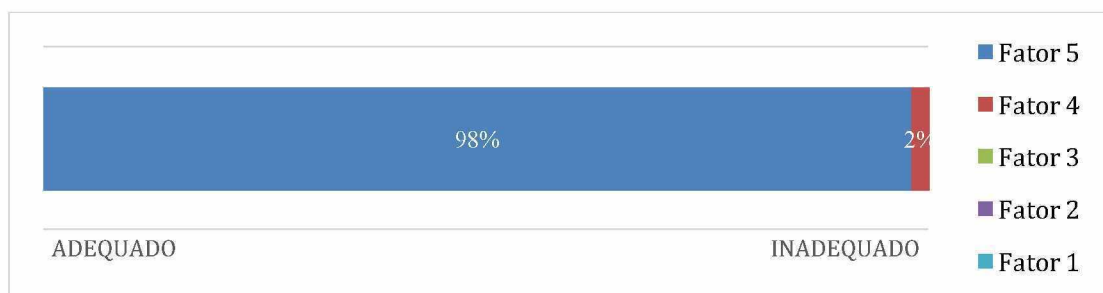


Gráfico 6.5: Grau de adequação

Baseado nos dados coletados, pode-se notar que o protótipo agradou a maioria dos usuários durante sua utilização. Dentre os usuários, 80% alegaram ter experiência de moderada a alta com relação à utilização de sistemas 3D, atribuindo aos jogos como a principal ferramenta para esta experiência.

6.2.2 Aprendizagem de uso do sistema

Critério que analisa o processo de aprendizagem do usuário em utilizar o sistema.

Os Gráficos 6.6 e 6.7 demonstram que iniciar o uso do sistema, bem como seu processo de aprendizagem, é um processo fácil.



Gráfico 6.6: Dificuldade em iniciar o uso



Gráfico 6.7: Aprendizagem de utilização do sistema

O Gráfico 6.8 mostra que o tempo de aprendizagem foi considerado, razoavelmente, curto.

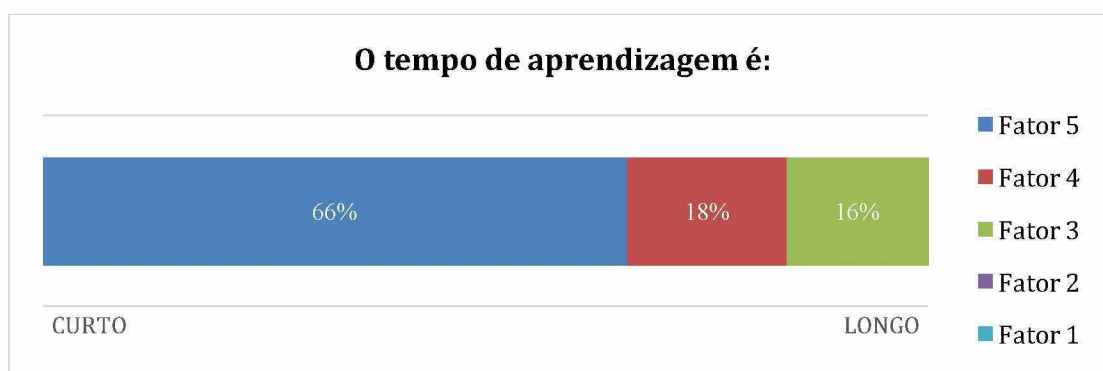


Gráfico 6.8: Tempo de aprendizagem

O Gráfico 6.9 mostra que a exploração por tentativa e erro concentrou a maioria dos usuários, no limiar entre fácil e difícil, com maior índice nos fatores referentes à dificuldade do que os fatores de facilidade. Com relação a este quesito, a tarefa proposta não apresentava uma possibilidade clara de erro ou acerto durante a utilização do sistema, provavelmente o motivo por não possuir um resultado satisfatório.



Gráfico 6.9: Exploração por tentativa e erro

O Gráfico 6.10 demonstra que os usuários sentiram um certo grau de liberdade na realização das tarefas propostas.

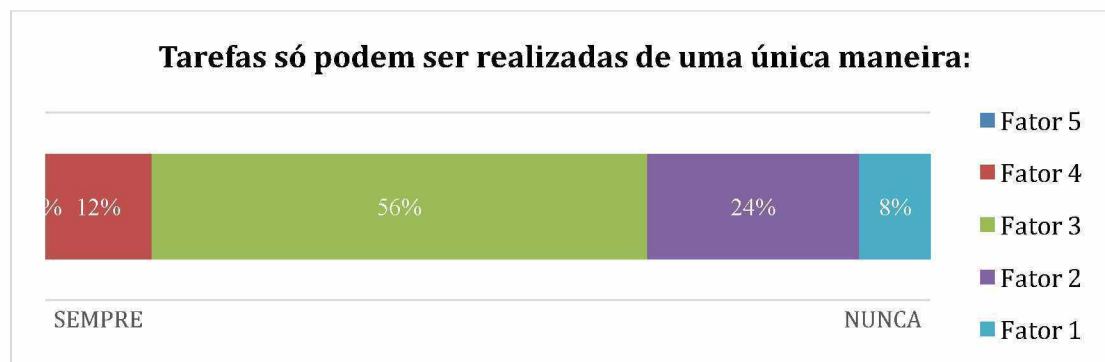


Gráfico 6.10: Variedade na realização de tarefas

6.2.3 Capacidades do sistema

Critério que analisa as características técnicas do sistema.

Os Gráficos 6.11 e 6.12 demonstram que o sistema apresenta um bom funcionamento técnico, com relação à atualização das imagens geradas, bem como sua fluidez na movimentação.



Gráfico 6.11: Velocidade de atualização da tela

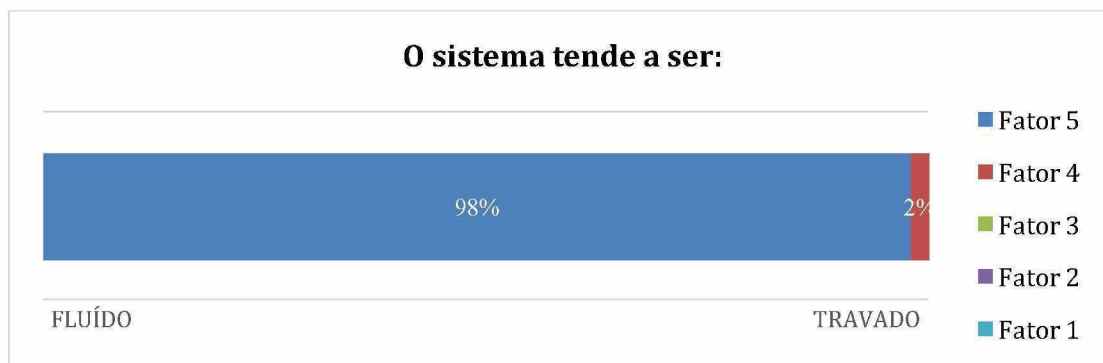


Gráfico 6.12: Grau de fluidez

O Gráfico 6.13 mostra uma taxa de 100% de confiabilidade no sistema, por parte dos usuário testados, no entanto é difícil para os usuário analisarem este critério em um período tão curto de utilização. Para aprimorar este resultado, seria necessário uma utilização à longo prazo, prevista para trabalhos futuros

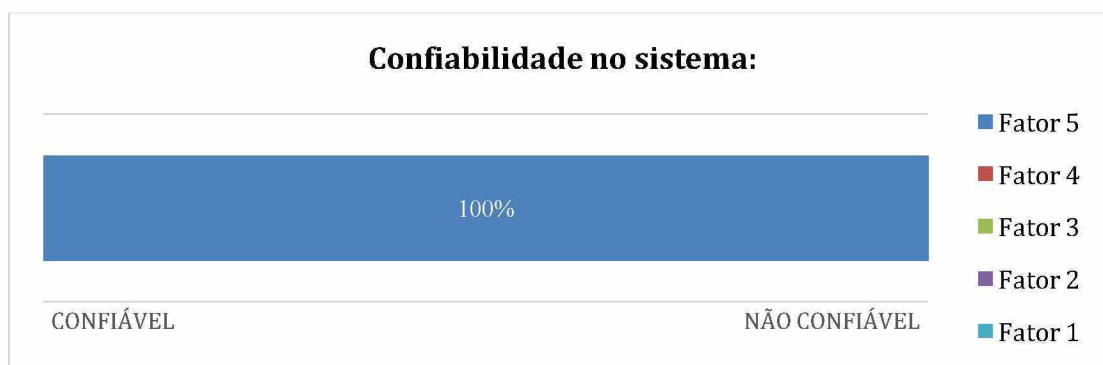


Gráfico 6.13: Confiabilidade

O Gráfico 6.14 demonstra que os usuários consideram que não é necessário um alto nível de experiência em sistemas 3D para a utilização do sistema.



Gráfico 6.14: Nível de experiência do usuário

6.2.4 Aspectos de envolvimento do usuário

Responsável por mensurar a sensação de presença do usuário no ambiente virtual, avaliando o quão próximo da realidade os objetos eram projetados sobre a mesa.

Os Gráficos 6.15, 6.16 e 6.17 mostram que o sistema obteve um bom nível de aceitação.

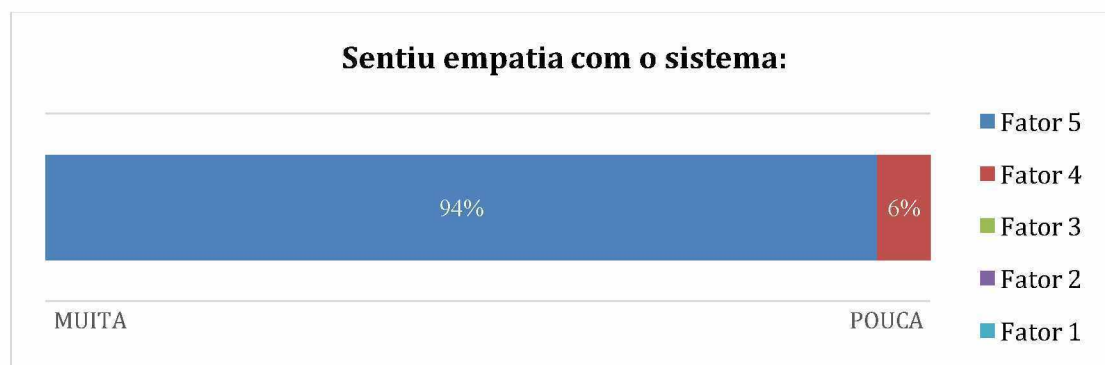


Gráfico 6.15: Grau de empatia

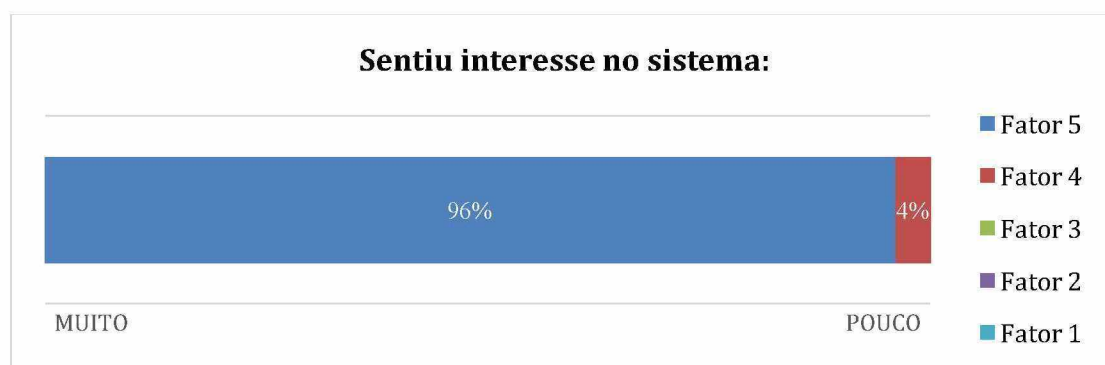


Gráfico 6.16: Grau de interesse

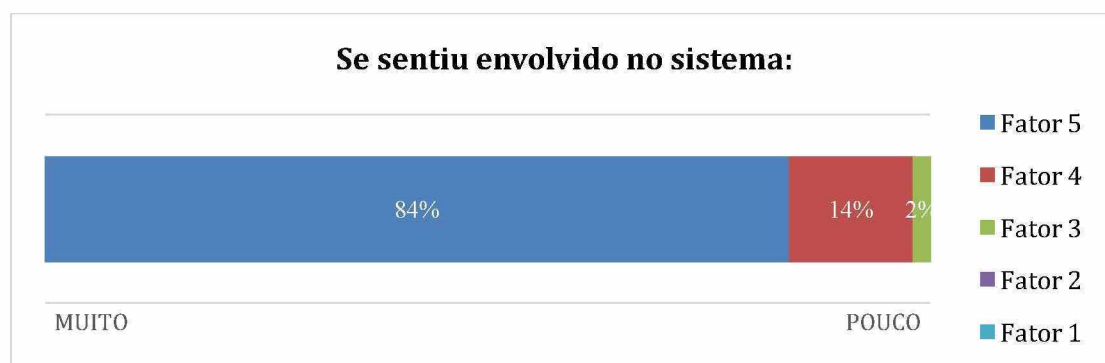


Gráfico 6.17: Grau de envolvimento

Os Gráficos 6.18 e 6.19 demonstram que, apesar de a maioria dos usuários terem classificado-os com bons níveis de aceitação, a qualidade gráfica e o realismo

podem melhorar. A aplicação de texturas mais realistas e outros detalhes de modelagem poderiam contribuir mais uma melhora neste quesito.



Gráfico 6.18: Grau de realismo

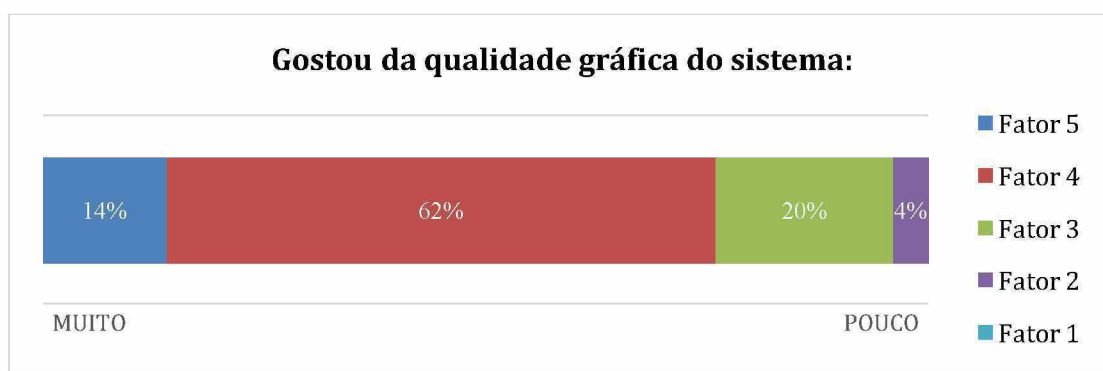


Gráfico 6.19: Qualidade gráfica

O Gráfico 6.20 mostra que, apesar do realismo gráfico não possuir um nível de aprovação tão alto, os usuários gostaram da experiência de utilização do protótipo.

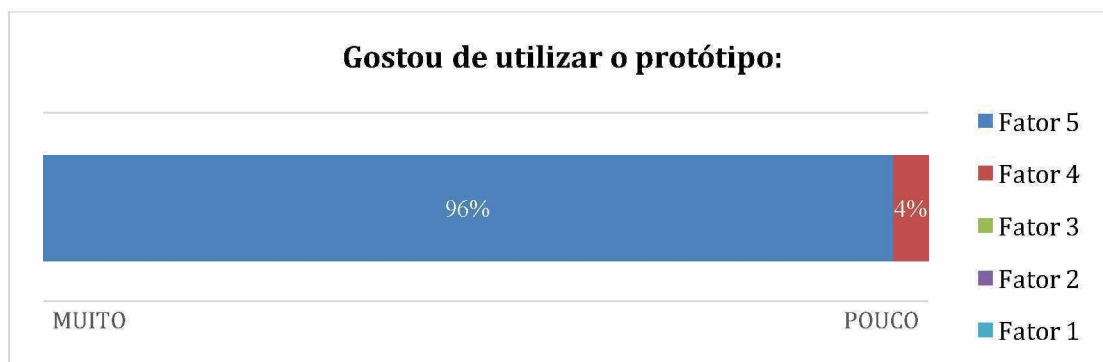


Gráfico 6.20: Grau de satisfação na utilização

6.2.5 Conteúdo

Por ser apresentado em um ambiente acadêmico, o protótipo focou sua utilização neste ambiente, oferecendo uma aplicação de um conteúdo que poderia ser apresentado em sala de aula, no caso, um conteúdo de uma aula de geografia. Este critério tem por finalidade analisar a apresentação deste conteúdo.

Os Gráficos 6.21 e 6.22 demonstram que a tarefa proposta foi aceita e realizada com certa facilidade, pela maioria dos usuários.

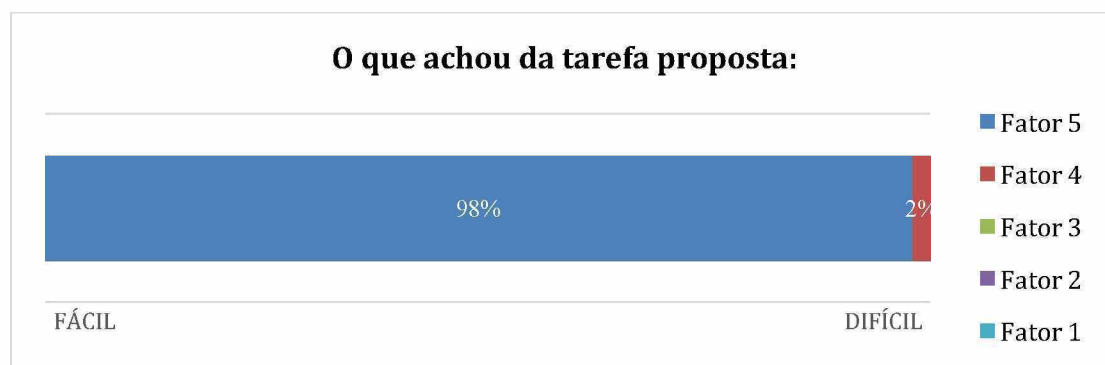


Gráfico 6.21: Dificuldade da tarefa proposta



Gráfico 6.22: Realização da tarefa

Já os Gráficos 6.23 e 6.24 mostra uma boa aceitação da proposta para o ambiente educacional, com possibilidade de novos conteúdos a serem apresentados.

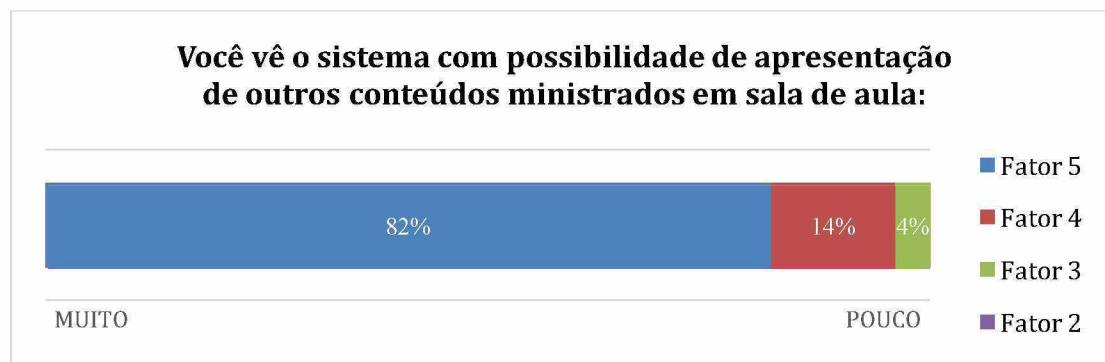


Gráfico 6.23: Possibilidade de mais conteúdos



Gráfico 6.24: Ritmo da aula utilizando o sistema

6.2.6 Comentários propostos

Ao final do questionário os usuários foram convidados a sugerir outras aplicações para o sistema. Por ser apresentado em um ambiente educacional, sugestões como outros conteúdos foram dadas, principalmente com conteúdos relacionados às ciências da natureza.

Também foi sugerido a utilização para apresentação de produtos, como automóveis e apartamentos, mas não limitando-se a estes.

Capítulo 7

Conclusão

A proposta apresentada possui uma gama de aplicações em diferentes áreas de atuação, no entanto, o objeto de estudo analisado neste trabalho fixou-se, especificamente, na área educacional.

Quanto ao dispositivo de rastreamento óptico utilizado, no caso o *Kinect*, o resultado foi satisfatório, tendo como um dos pontos negativos apenas sua incompatibilidade com a *engine Unity 3D* através de seu SDK oficial, tendo de ser utilizada uma biblioteca de terceiros, aberta, para esta integração. Como não foi possível testar ambas as alternativas, não é possível detectar se haveria um ganho de performance se utilizada a biblioteca oficial da *Microsoft*.

Com relação à *engine* gráfica utilizada para a renderização e apresentação da cena, o Unity 3D se mostrou eficiente tanto em número de recursos quanto em desempenho, mantendo sua taxa de atualização o suficiente para evitar travamentos.

A escolha do monitor também se mostrou satisfatória, visto que a alta resolução das imagens exibidas contribuiu para o realismo das cenas, limitadas apenas à qualidade da modelagem e texturização dos objetos, mas que apresentaria um realismo ainda maior se tais medidas forem tomadas.

Este trabalho apresenta a possibilidade de poder contribuir com o processo de aprendizagem, utilizando conceitos simples de interação natural para a navegação em um ambiente virtual tridimensional, apresentando ao usuário uma visualização em perspectiva, de acordo com seu ponto de vista, próxima à da realidade.

Baseando-se nas informações coletadas durante a etapa de testes, realizadas com profissionais da área de educação e estudantes, a proposta obteve um nível de aceitação satisfatório na maioria dos quesitos analisados, em ambos os perfis.

Apesar deste resultado, ficou claro que alguns pontos influenciam diretamente a qualidade do protótipo, bem como a imersão de seus utilizadores, principalmente com relação à qualidade gráfica. Uma modelagem profissional dos objetos em cena, com o uso de texturas reais e em boa resolução, poderia impactar positivamente o

resultado, visto que estes foram critérios que não receberam um resultado tão positivo.

A limitação de interação também prejudicou a possibilidade de propor tarefas para o protótipo, pois por possuir apenas a navegação como fonte de interação, qualquer desafio com uma tarefa se torna difícil de ser implementado. Uma interação direta com os objetos da cena pode ampliar, em muito, tal possibilidade.

Apesar disso, a proposta obteve uma boa aceitação como uma ferramenta de auxílio, já que a maioria dos usuários do grupo de teste vê a ferramenta com a possibilidade de apresentação de diversos conteúdos, não limitados aos exibidos durante os testes.

7.1 Trabalhos futuros

Como trabalhos futuros, pretende-se aumentar o nível de interação entre o usuário e o ambiente virtual, utilizando mais técnicas de interação natural que permitam que o usuário consiga alterar objetos da cena com gestos, controlar o zoom da cena, reposicionar objetos, alterar cores e texturas, entre outras modificações.

Planeja-se, também, oferecer a possibilidade de cenas animadas, onde o usuário poderá interagir com a reprodução direta, permitindo que ele inicie a animação, pause, reinicie ou assista ao *replay* instantâneo do trecho pretendido. Além disso, cenas animadas que dependam da interação do usuário e que sejam reproduzidas de forma diferente, dependendo da interação, como em jogos digitais, onde as animações reagem de forma diferente de acordo com a interação do jogador.

A capacidade de aplicação da proposta em outros setores, além do setor educacional, oferece a possibilidade de desenvolver ambientes virtuais próprios para estes setores, por exemplo na área comercial, permitindo a exibição de protótipos de produtos para possíveis clientes.

Aliado a esta gama de aplicações, pretende-se desenvolver uma interface intuitiva que permita ao usuário expositor, o qual irá configurar o ambiente para a exposição, carregar modelos 3D, além de posicioná-los e configurar a cena, eliminando a necessidade da criação prévia da cena antes da compilação do software. Esta interface colaboraria para a independência do usuário expositor, permitindo que

este desenvolvesse seus próprios modelos e cenas ou utilizasse modelos prontos, facilitando, inclusive o compartilhamento de ambientes entre usuários.

Pretende-se também aumentar o nível de rastreamento do usuário, não limitando-o apenas à sua posição, mas também de acordo com sua orientação e posição da coluna/pescoço, permitindo que o usuário não precise se deslocar completamente para visualizar algum detalhe, podendo-o realizar apenas com a inclinação de seu corpo. Outra melhoria seria a detecção automática da altura do usuário, hoje informada por um parâmetro, manualmente.

Por fim, outros modelos de rastreamento ópticos serão testados para comparativos com ganho de performance e adição de novos recursos.

Referências Bibliográficas

AUTODESK. **Adaptable file format for 3D animation software**. Disponível em <<http://www.autodesk.com/products/fbx/overview>>, acessado em 02/02/2015.

BASTOS, N. C.; TEICHRIEB, V.; KELNER, J. "**Interação com realidade virtual e aumentada**", Livro do Pré-Simpósio do VIII Symposium on Virtual Reality, Belém, pp. 129-148, 2006.

BEEVER. **Julian Beever**. Disponível em <http://www.julianbeever.net/index.php?option=com_phocagallery&view=category&id=2&Itemid=8>, acessado em 14/07/2015.

BOWMAN, D.; KRUIFF, E.; LAVIOLA, J.; POUPYREV, I. "**3D User interfaces - Theory and Practice**", Addison Wesley, 2004.

BROD, G. A.; BORDA, A.; PIEDRAS, E.; VASCONCELLOS, L. **Espaco digital para experimentos de anamorfose - um estímulo ao processo criativo em arquitetura, artes e design**. XII Enpos, 2010.

FILE FORMAT. Disponível em <<http://www.fileformat.info/format/fbx/internal.htm>>, acessado em 02/02/2015.

HAN, J.; SHAO, L.; XU, D.; SHOTTON, J. "**Enhanced Computer Vision with Microsoft Kinect Sensor - A Review**" em IEEE Transactions on Cybernetics, Vol. 43, N° 5, 2013.

HARTMANN, G., WÜNSCHE, B. C., "**A Virtual Touchscreen with Depth Recognition**". In: Conferences in Research and Practice in Information Technology Vol. 126, 2012, pp. 39-48.

KAKEHI, Y., HOSOMI, T., IIDA, M., NAEMURA, T., MATSUSHITA, M., **"Transparent Tabletop Interface for Multiple Users on Lumisight Table"**. In: First IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human-Computer Systems, 2006.

KELNER, J.; TEICHRIEB, V. **"Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projeto e Aplicações"**, Petrópolis: IX Symposium on Virtual and Augmented Reality, 2007.

KOIKE, H., SATO, Y., KOBAYASHI, Y., **"Integrating Paper and Digital Information on EnhancedDesk"**. In: ACM Transactions on Computer-Human Interaction, Vol. 8, No. 4, 2001, pp. 307–322.

MACHADO, L. S.; CARDOSO, A. **"Dispositivos de entrada e saída para realidade virtual"**, Livro do Pré-Simpósio do VIII Symposium on Virtual Reality, Belém, pp. 39-50, 2006.

MICROSOFT. **Kinect for Windows sensor components and specifications**. Disponível em <<https://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj131033.aspx>>, acessado em 16/10/2014.

MONODEVELOP. Disponível em <<http://www.monodevelop.com>>, acessado em 21/12/2014.

QUIS. **Questionnaire for User Interaction Satisfaction**. Disponível em <<http://www.lap.umd.edu/quis/>>, acessado em 21/08/2015.

RIZZATO, A. C.; NUNES, F. L. S. **"Realidade virtual aplicada à educação: reflexões sobre o estado da arte e o futuro"**, Anais do Workshop de Realidade Virtual e Aumentada 2007, Itumbiara, GO, 2007.

SILVA, A. C. **Uma proposta de camadas de objetos de interface para realidade virtual**. Tese de Mestrado, Uberlândia, 2014.

SKETCHUP. **Google SketchUp**. Disponível em <<http://www.sketchup.com/pt-BR/products/sketchup-pro>>, acessado em 20/12/2014.

TORI, R.; KIRNER, C. "**Fundamentos da realidade virtual**", Livro do Pré-Simpósio do VIII Symposium on Virtual Reality, Belém, pp. 02-21, 2006.

UNITY 3D. Disponível em <<http://unity3d.com/unity>>, acessado em 21/12/2014.

VELOSO, A. S.; RAMOS, C. A. C.; MORENO, E. S.; SANTOS, J. C. V.; SOUZA, P. I. L.; SILVA, W. A. "**Uso do FLARToolKit no e-commerce**", Uberlândia: XIII Symposium on Virtual Reality, 2011.

WAREHOUSE, **Extension Warehouse**. Disponível em <<http://extensions.sketchup.com/pt-BR>>, acessado em 20/12/2014.

WELLNER, P., "**The DigitalDesk Calculator - Tangible Manipulation on a Desktop Display**". In: Proceedings of UIST'91, ACM Symposium on User Interface Software and Technology, pp. 27-34, 1991.

WIMMER, R., HENNECKE, F., SCHULZ, F., BORING, S., BUTZ, A., HUFFMANN, H., "**Curve: Revisiting the Digital Desk**". In: NordiCHI 2010, Reykjavik, Iceland, 2010.

ZHANG, Z., "**Microsoft Kinect Sensor and Its Effect**" em IEEE Multimedia, April-June 2012, pp. 4-10.

Apêndice I

FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO DE INTERFACE

Analise sua experiência com ambientes virtuais 3D:

Idade: _____

- () Nenhuma experiência
 () Alguma experiência
 () Experiência moderada
 () Experiência moderadamente alta
 () Experiência alta

1. Reações gerais ao sistema		1	2	3	4	5	
Satisfação em relação ao protótipo	Péssimo						Excelente
	Frustrante						Satisfatório
	Tedioso						Estimulante
	Difícil						Fácil
	Inadequado						Adequado
	Rígido						Flexível
2. Aprendizagem		1	2	3	4	5	
Iniciar o uso é	Difícil						Fácil
Aprender a utilizar o sistema é	Difícil						Fácil
O tempo de aprendizagem é	Longo						Curto
Explorar o uso por tentativa e erro	Difícil						Fácil
Tarefas só podem ser realizadas de uma única maneira	Nunca						Sempre
3. Capacidades do sistema		1	2	3	4	5	
Velocidade em que a tela é atualizada	Muito lenta						Rápida o bastante
Confiabilidade do sistema	Não confiável						Confiável
O sistema tende a ser	Travado						Fluído
Corrigir seus erros	Difícil						Fácil
Nível de experiência em do usuário em sistemas/jogos 3D para usar o sistema	Muita experiência						Nenhuma

4. Imersão		1	2	3	4	5	
Sentiu empatia com o sistema	Pouca						Muita
Sentiu interesse no sistema	Pouco						Muito
Se sentiu envolvido no sistema	Pouco						Muito
Sentiu realismo com as ações exercidas	Pouco						Muito
Gostou da qualidade gráfica do sistema (modelagem e construção das cenas)	Pouco						Muito
Gostou de utilizar o protótipo	Pouco						Muito
5. Conteúdo		1	2	3	4	5	
O que achou da tarefa proposta	Difícil						Fácil
Realizou a tarefa de forma	Difícil						Fácil
Você vê o sistema com possibilidade de apresentação de outros conteúdos, ministrados em sala de aula	Pouco						Muito
Com o sistema, uma aula se tornaria mais	Cansativa						Dinâmica

Que outra aplicação você sugeriria para utilização no sistema? (conteúdo escolar, jogo, apresentação)
