



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL  
CAMPUS CHAPECÓ  
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**ALINE MENIN**

**MOVIMENTAÇÃO DA CÂMERA VIRTUAL UTILIZANDO GESTOS  
EXTRAÍDOS DE SENSORES DE MOVIMENTOS**

**CHAPECÓ  
2014**

**ALINE MENIN**

**MOVIMENTAÇÃO DA CÂMERA VIRTUAL UTILIZANDO GESTOS  
EXTRAÍDOS DE SENSORES DE MOVIMENTOS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção do  
grau de Bacharel em Ciência da Computação da  
Universidade Federal da Fronteira Sul.

Orientador: Prof. Dr. Rafael Torchelsen

**CHAPECÓ**

2014

Menin, Aline

Movimentação da câmera virtual utilizando gestos extraídos de sensores de movimentos / Aline Menin. – 2014.

98 f.: il.;

Orientador: Rafael Torchelsen

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de Ciência da Computação, Chapecó, SC, 2014.

1. Gestos. 2. Sensores de movimentos. 3. Câmera virtual. 4. Entrada 3D. I. Torchelsen, Rafael, orient. II. Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

---

© 2014

Todos os direitos autorais reservados a Aline Menin. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: enilamenin@gmail.com

ALINE MENIN

**MOVIMENTAÇÃO DA CÂMERA VIRTUAL UTILIZANDO GESTOS  
EXTRAÍDOS DE SENSORES DE MOVIMENTOS**

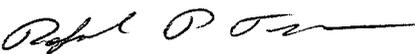
Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação da Universidade Federal da Fronteira Sul.

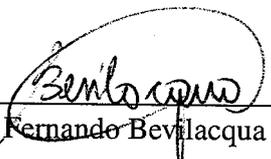
Orientador: Prof. Dr. Rafael Torchelsen

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em: 15/12/14

BANCA EXAMINADORA:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Rafael Torchelsen - UFFS

  
PARTICIPOU POR VIDEOCONFERÊNCIA  
Dr. João L. D. Comba - UFRGS

  
\_\_\_\_\_  
Me. Fernando Bevilacqua - UFFS

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar saúde e perseverança para alcançar a realização de mais esta conquista.

Aos meus pais, por sempre reforçarem a importância do estudo em minha vida e por me apoiarem nas decisões que me levaram a cursar Ciência da Computação. Pelos conselhos e pelo exemplo de pessoas de bom caráter e trabalhadoras, o que certamente serviu de base para construção do meu caráter. Agradeço a eles e a minha irmã pela paciência e compreensão pela minha ausência.

Dedico agradecimento especial ao Professor Rafael P. Torchelsen, pela oportunidade de participar de um projeto de pesquisa no início do curso, o qual propiciou agregar meus conhecimentos. Agradeço pela atenção e paciência dedicadas à minha orientação e por acreditar no meu potencial.

Aos Professores Fernando Bevilacqua e João Comba por contribuírem para este trabalho participando da banca de avaliação.

A todos os professores de modo geral que repassaram um pouco de seu conhecimento a cada etapa do curso, agregando ao meu conhecimento e propiciando que a formatura fosse algo possível.

Aos meus amigos, amigas e a todos que contribuíram de alguma forma para que eu pudesse alcançar mais esta vitória.

## RESUMO

Atualmente, a manipulação da câmera virtual no espaço 3D é realizada utilizando combinações de mouse/teclado ou gestos executados sobre superfícies sensíveis ao toque. Note que estes dispositivos geram entradas de dados limitados ao plano. Mesmo com a recente introdução de técnicas para obter entrada 3D, utilizando câmeras RGB e sensores de movimento, a entrada 2D ainda é a mais usada. Acreditando que o uso de entrada 3D mapeada diretamente para comandos de manipulação da câmera virtual no espaço 3D gera resultados mais eficientes, este trabalho implementa movimentação da câmera virtual utilizando gestos manuais extraídos de sensores de movimentos. Comparando esta tecnologia com dispositivos tradicionais, através de estudos de usuários, concluiu-se que o uso de entrada 3D pode se tornar uma tecnologia eficiente, principalmente, treinando os usuários previamente.

## **ABSTRACT**

Currently, the user interacts with a virtual camera in three-dimensional space using mouse, keyboard or gestures over a multi-touch surface. However, these results in two-dimensional inputs to control a camera in three-dimensional space. Even with the recent introduction of techniques to obtain three-dimensional inputs using RGB cameras and motion sensors, the bidimensional input remains the most widely used. Our proposal is to map hand gestures (3D), captured using a motion sensor, to the movement of a virtual camera (3D). Our hypothesis is that one-to-one mapping will result in an improved usability. A set of gestures was constructed and user studies were conducted, from these studies it was concluded that this technology can be effective, especially having prior training of the users.

Keywords: gestures; motion sensor; virtual camera; 3D input.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Aplicativo FreeForm, que permite criar modelos 3D utilizando gestos manuais extraídos do sensor de movimentos Leap Motion. [24] .....	16
Figura 2.1 – Informações do esqueleto fornecidas pelo Microsoft Kinect [21]. .....	18
Figura 2.2 – Eixos de coordenadas do Leap Motion. [33] .....	19
Figura 2.3 – (a) Para transladar nos eixos x e y, seleciona e arrasta o objeto com um toque "conjugado". (b) Para transladar no eixo z, utiliza um toque "conjugado" para selecionar o objeto e outro dedo para arrastá-lo. [15]. .....	20
Figura 2.4 – A linha azul contínua representa o eixo selecionado. Os círculos vermelhos representam dois dedos, a partir da orientação dos quais o eixo foi definido. [2]. .....	21
Figura 2.5 – Dois pontos de toque definem o eixo de rotação e um terceiro ponto de toque realiza a rotação. [11] .....	22
Figura 2.6 – Translação e rotação 3D com as tecnologias apresentadas por Herrlich, M. et al. [12] .....	22
Figura 2.7 – Rotação com quatro pontos de toque. As flechas indicam a direção em que os dedos são arrastados. [25] .....	22
Figura 2.8 – Conjunto de gestos estáticos. (a) Pausar interação. (b) Mover o cursor. (c) Agarrar um objeto. (d) Rotacionar. (e) Mudar escala do objeto. [13] .....	25
Figura 2.9 – Usando a pose de mão aberta atrás do dispositivo é possível rotacionar o objeto livremente. Uma câmera de profundidade acoplada ao dispositivo é utilizada para capturar o movimento da mão. [16]. .....	26
Figura 2.10 – Máquina de estados ilustrando como um objeto pode ser solto ou agarrado. Os limites $T_G$ e $T_R$ são aplicados para modificar a velocidade determinada de agarrar o objeto $v_G^i$ . [28] .....	27
Figura 2.11 – Transformações suportadas. (a) Posição inicial. (b) Rotação. (c) Escala. (d) Translação. [19] .....	27
Figura 2.12 – Gestos para navegação. (a) Ativar o modo de navegação. (b) Andar para frente. (c) Virar à esquerda. (d) Virar à direita. (e) Parar. (f) Sair do modo de navegação. (g) Sistema de coordenadas. [17] .....	28
Figura 2.13 – Gestos para montagem. (a) Ativar o modo de montagem. (b-c) Rotação (eixos y e z). (d-e) Translação nas direções y e z. (f) Soltar um bloco. [17] ..	28
Figura 2.14 – Gestos suportados pelo Leap Motion e pelo Kinect. Os retângulos brancos indicam a orientação da tela do computador. Os gestos são realizados com uma mão para o Leap Motion e com duas mãos para o Kinect. [26] .....	29
Figura 2.15 – (a) Manipulação e deformação do objeto por gestos feitos em (b). (b) Sequência de gestos: pausar, selecionar, rotacionar, transladar (direção z), selecionar (vértice do objeto), e rotacionar. (c) Criação de um objeto a partir de uma simples forma primitiva por (d). (d) O formato do objeto desenhado pelo movimento da mão. [13] .....	32
Figura 2.16 – Criação de formas primitivas por gestos manuais. As flechas indicam a direção em que o usuário deve mover as mãos. (a) Elipse. (b) Cubo. (c) Cilindro. [22] .....	33
Figura 2.17 – Processo para criação de um objeto. As flechas indicam o movimento das mãos. (Figura adaptada de [22]) .....	33
Figura 4.1 – Eixos de coordenadas da câmera virtual. ....	35

Figura 4.2 – Translação. (a) As flechas azuis indicam a direção em que o dedo pode ser deslocado. (b) A flecha verde indica a direção que o dedo é movimentado para realizar a translação ilustrada em (c). (c) Comportamento da câmera ao ser transladada sobre o eixo y.....	36
Figura 4.3 – Zoom. (a) As flechas azuis ilustram a direção em que os dedos devem ser deslocados. (b) A flecha verde indica a direção em que os dedos são deslocados para realizar o zoom ilustrado em (c). (c) Comportamento do frustum da câmera ao aumentar o zoom.....	36
Figura 4.4 – Rotação. (a) As flechas azuis ilustram a direção em que os dedos devem ser deslocados. (b) A flecha verde indica a direção em que os dedos são deslocados para realizar a rotação ilustrada em (c). (c) Comportamento da câmera ao rotacioná-la para a esquerda. ....	37
Figura 4.5 – Órbita. (a) As flechas azuis ilustram a direção em que os dedos devem ser deslocados. (b) A flecha verde indica a direção em que os dedos são deslocados para realizar a órbita ilustrada em (c). (c) Comportamento da câmera ao orbitá-la para a direita. ....	37
Figura 4.6 – Órbita contínua. (a) As flechas azuis ilustram a direção em que o gesto de tapa pode ser executado. (b) A flecha verde indica a direção do tapa e as mãos ilustram o movimento. A órbita contínua executada a partir deste gesto é ilustrada em (c). (c) Comportamento da câmera ao realizar uma órbita contínua sobre o eixo y. ....	38
Figura 4.7 – Rotação contínua. (a) O círculo azul ilustra o gesto que deve ser executado. (b) Comportamento da câmera ao realizar rotação contínua sobre o eixo z. ..	39
Figura 4.8 – Navegação. (a) As flechas azuis indicam as direções em que a mão pode ser movimentada. (b) Comportamento da câmera ao navegar conforme a linha vermelha. Abaixo da câmera, é ilustrada a posição da mão para realizar tal movimento. ....	39
Figura 4.9 – Gesto para fixar o vetor pra cima. ....	40
Figura 4.10 – Deslocar a câmera 180 graus. (a) Pose da mão para executar o comando. (b) Comportamento da câmera ao deslocá-la 180 graus a partir da sua posição atual. ....	40
Figura 4.11 – Gesto para pausar a interação. ....	40
Figura 5.1 – Representação sobre como determinou-se que o objeto estava posicionado dentro do círculo. Foi posto um círculo na posição do objeto, e calculado a direção da câmera até cada ponto deste novo círculo (seta azul claro). Dessa forma analisando em relação a direção da câmera (seta azul escuro), quantos vértices estavam dentro do círculo principal. ....	42
Figura 5.2 – Primeiro cenário da tarefa de encontrar um objeto alvo. ....	42
Figura 5.3 – Segundo cenário da tarefa de encontrar um objeto alvo. ....	43
Figura 5.4 – Caminhos utilizados para o experimento. (a) Nível 1: Apenas para introduzir a tarefa para o participante. (b) Nível 2: As curvas íngremes começam a ser apresentada para que o participante treine a mudança de direção da navegação. (c) e (d) Níveis 3 e 4: Diferem no comprimento, ambos possuem curvas de 90 graus. ....	45
Figura 6.1 – Tempos de execução das sub tarefas no primeiro e segundo cenários utilizando gestos. Valores detalhados podem ser encontrados no Anexo 9.2: Figuras 9.6 e 9.7.....	47

Figura 6.2 – Tempos de execução das sub tarefas no primeiro e segundo cenários utilizando comandos de mouse e teclado. Valores detalhados podem ser encontrados no Anexo 9.2: Figuras 9.12 e 9.13. ....	47
Figura 6.3 – Tempo para posicionar o círculo no primeiro e segundo cenários utilizando gestos. Valores detalhados podem ser encontrados no Anexo 9.2: Figuras 9.8 e 9.9. ....	48
Figura 6.4 – Tempo para posicionar o círculo no primeiro e segundo cenários utilizando combinações de mouse e teclado. Valores detalhados podem ser encontrados no Anexo 9.2: Figuras 9.14 e 9.15. ....	49
Figura 6.5 – Quantidade do objeto posicionada dentro do círculo no primeiro e segundo cenários utilizando gestos. Valores detalhados podem ser encontrados no Anexo 9.2: Figuras 9.10 e 9.11. ....	50
Figura 6.6 – Quantidade do objeto posicionada dentro do círculo no primeiro e segundo cenários utilizando combinações de mouse e teclado. Valores detalhados podem ser encontrados no Anexo 9.2: Figuras 9.16 e 9.17. ....	50
Figura 6.7 – Tempo para fixar o vetor "pra cima" utilizando gestos e combinações de mouse e teclado. Os valores detalhados podem ser observados no Anexo 9.3: Tabela 9.24. ....	51
Figura 6.8 – Tempos para completar o caminho, mantendo o objeto dentro do círculo e dentro da distância determinada utilizando gestos. Os valores detalhados podem ser encontrados no Anexo 9.3: Seção 9.3.2. ....	52
Figura 6.9 – Tempos para completar o caminho, mantendo o objeto dentro do círculo e dentro da distância determinada utilizando combinações de mouse e teclado. Os valores detalhados podem ser encontrados no Anexo 9.3: Seção 9.3.3. ....	52
Figura 6.10 – Quantidade do objeto mantida dentro do círculo maior, utilizando gestos (barras azuis) e combinações de mouse e teclado (barras vermelhas). Valores detalhados podem ser encontrados no Anexo 9.3: Seções 9.3.2 e 9.3.3. ..	55
Figura 6.11 – Quantidade do objeto mantida dentro do círculo menor, utilizando gestos (barras azuis) e combinações de mouse e teclado (barras vermelhas). ....	55
Figura 6.12 – Opinião dos participantes em relação a intuitividade dos gestos. ....	56
Figura 6.13 – Opinião dos participantes em relação a dificuldade de execução dos gestos. .	56
Figura 9.1 – Resposta dos participantes em relação à pergunta sobre intuitividade dos gestos. ....	63
Figura 9.2 – Resposta dos participantes em relação à pergunta sobre dificuldade de execução dos gestos. ....	63
Figura 9.3 – Resposta dos participantes quanto à pergunta sobre a dificuldade de posicionar o alvo dentro do círculo. ....	63
Figura 9.4 – Resposta dos participantes quanto à pergunta sobre a dificuldade de manter o alvo dentro do círculo durante o percurso. ....	64
Figura 9.5 – Resposta dos participantes quanto à pergunta sobre a dificuldade de manter o alvo dentro da distância determinada. ....	64
Figura 9.6 – Tempo de execução de cada participante para as tarefas do primeiro cenário. Valores detalhados são encontrados nas tabelas 9.4, 9.5, 9.6. ....	67
Figura 9.7 – Tempo de execução de cada participante para as tarefas do segundo cenário. Valores detalhados são encontrados nas tabelas 9.7, 9.8, 9.9. ....	69
Figura 9.8 – Tempo de cada participante para posicionar o círculo no primeiro cenário utilizando gestos. Valores detalhados são encontrados na tabela 9.10. ....	71

Figura 9.9 – Tempo de cada participante para posicionar o círculo no segundo cenário utilizando gestos. Valores detalhados são encontrados na tabela 9.11. ....	72
Figura 9.10 – Quantidade do objeto que cada participante manteve dentro do círculo no primeiro cenário utilizando gestos. Valores detalhados são encontrados na tabela 9.12. ....	73
Figura 9.11 – Quantidade do objeto que cada participante manteve dentro do círculo no segundo cenário utilizando gestos. Valores detalhados são encontrados na tabela 9.13. ....	74
Figura 9.12 – Tempo de execução de cada participante para as tarefas do primeiro cenário utilizando combinações de mouse e teclado. Valores detalhados são encontrados nas tabelas 9.14, 9.15, 9.16. ....	75
Figura 9.13 – Tempo de execução de cada participante para as tarefas do segundo cenário utilizando combinações de mouse e teclado. Valores detalhados são encontrados nas tabelas 9.17, 9.18, 9.19. ....	77
Figura 9.14 – Tempo de cada participante para posicionar o círculo no primeiro cenário utilizando combinações de mouse e teclado. Valores detalhados são encontrados na tabela 9.20. ....	79
Figura 9.15 – Tempo de cada participante para posicionar o círculo no segundo cenário utilizando combinações de mouse e teclado. Valores detalhados são encontrados na tabela 9.21. ....	80
Figura 9.16 – Quantidade do objeto que cada participante manteve dentro do círculo no primeiro cenário utilizando combinações de mouse e teclado. Valores detalhados são encontrados na tabela 9.22. ....	81
Figura 9.17 – Quantidade do objeto que cada participante manteve dentro do círculo no segundo cenário utilizando combinações de mouse e teclado. Valores detalhados são encontrados na tabela 9.23. ....	82
Figura 9.18 – Tempo de cada participante para percorrer os caminhos utilizando gestos. Valores detalhados são encontrados na Tabela 9.25. ....	83
Figura 9.19 – Tempo de cada participante mantendo o objeto dentro do círculo maior utilizando gestos. Valores detalhados são encontrados na Tabela 9.26. ....	84
Figura 9.20 – Tempo de cada participante mantendo o objeto dentro do círculo menor utilizando gestos. Valores detalhados são encontrados na Tabela 9.27. ....	85
Figura 9.21 – Tempo de cada participante mantendo o objeto dentro da distância estabelecida utilizando gestos. Valores detalhados são encontrados na Tabela 9.28. ....	86
Figura 9.22 – Quantidade do objeto que cada participante manteve dentro do círculo maior utilizando gestos. Valores detalhados são encontrados na Tabela 9.29. ....	87
Figura 9.23 – Quantidade do objeto que cada participante manteve dentro do círculo menor utilizando gestos. Valores detalhados são encontrados na Tabela 9.30. ....	88
Figura 9.24 – Tempo de cada participante para percorrer os caminhos utilizando combinações de mouse e teclado. ....	89
Figura 9.25 – Tempo de cada participante mantendo o objeto dentro do círculo maior utilizando combinações de mouse e teclado. Valores detalhados são encontrados na Tabela 9.26. ....	90
Figura 9.26 – Tempo de cada participante mantendo o objeto dentro do círculo menor utilizando combinações de mouse e teclado. Valores detalhados são encontrados na Tabela 9.27. ....	91

Figura 9.27 – Tempo de cada participante mantendo o objeto dentro da distância estabelecida utilizando combinações de mouse e teclado. Valores detalhados são encontrados na Tabela 9.34. ....	92
Figura 9.28 – Quantidade do objeto que cada participante manteve dentro do círculo maior utilizando combinações de mouse e teclado. Valores detalhados são encontrados na Tabela 9.35. ....	93
Figura 9.29 – Quantidade do objeto que cada participante manteve dentro do círculo menor utilizando combinações de mouse e teclado. Valores detalhados são encontrados na Tabela 9.36. ....	94

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Resumo das abordagens para manipulação de objetos no espaço 3D utilizando entrada 2D. ....	23
Tabela 2.2 – Resumo das abordagens para translação e rotação de objetos 3D com entrada 3D. ....	30
Tabela 2.3 – Resumo das abordagens para navegação na cena, escala/zoom em objetos e pausar interação, com entrada 3D.....	30
Tabela 5.1 – Estrutura das tarefas de encontrar um alvo. ....	44
Tabela 5.2 – Combinações de mouse e teclado para realizar os comandos propostos. ....	45
Tabela 9.1 – Resposta dos participantes. ....	62
Tabela 9.2 – Respostas dos participantes sobre a dificuldade de executar os gestos. ....	65
Tabela 9.3 – Críticas e sugestões dos participantes em relação aos gestos.....	66
Tabela 9.4 – Tempos de execução das tarefas (em segundos) correspondentes a cada gesto no primeiro cenário. (Parte 1) .....	67
Tabela 9.5 – Tempos de execução das tarefas (em segundos) correspondentes a cada gesto no primeiro cenário. (Parte 2) .....	68
Tabela 9.6 – Tempos de execução das tarefas (em segundos) correspondentes a cada gesto no primeiro cenário. (Parte 3) .....	68
Tabela 9.7 – Tempos de execução das tarefas (em segundos) correspondentes a cada gesto no segundo cenário. (Parte 1) .....	69
Tabela 9.8 – Tempos de execução das tarefas (em segundos) correspondentes a cada gesto no segundo cenário. (Parte 2) .....	70
Tabela 9.9 – Tempos de execução das tarefas (em segundos) correspondentes a cada gesto no segundo cenário. (Parte 3) .....	70
Tabela 9.10 – Tempos para posicionar o círculo no primeiro cenário utilizando gestos. ....	71
Tabela 9.11 – Tempos para posicionar o círculo no segundo cenário utilizando gestos.....	72
Tabela 9.12 – Porcentagem do objeto posicionado dentro do círculo no primeiro cenário. ..	73
Tabela 9.13 – Porcentagem do objeto posicionado dentro do círculo no segundo cenário. ..	74
Tabela 9.14 – Tempos de execução das tarefas (em segundos) correspondentes às combinações de mouse e teclado no primeiro cenário. (Parte 1).....	75
Tabela 9.15 – Tempos de execução das tarefas (em segundos) correspondentes às combinações de mouse e teclado no primeiro cenário. (Parte 2).....	76
Tabela 9.16 – Tempos de execução das tarefas (em segundos) correspondentes às combinações de mouse e teclado no primeiro cenário. (Parte 3).....	76
Tabela 9.17 – Tempos de execução das tarefas (em segundos) correspondentes às combinações de mouse e teclado no segundo cenário. (Parte 1) .....	77
Tabela 9.18 – Tempos de execução das tarefas (em segundos) correspondentes às combinações de mouse e teclado no segundo cenário. (Parte 2) .....	78
Tabela 9.19 – Tempos de execução das tarefas (em segundos) correspondentes às combinações de mouse e teclado no segundo cenário. (Parte 3) .....	78
Tabela 9.20 – Tempos para posicionar o círculo no primeiro cenário. ....	79
Tabela 9.21 – Tempos para posicionar o círculo no segundo cenário.....	80
Tabela 9.22 – Quantidade do objeto posicionado dentro do círculo no primeiro cenário. ...	81
Tabela 9.23 – Quantidade do objeto posicionado dentro do círculo no segundo cenário.....	82
Tabela 9.24 – Tempo para fixar o vetor "pra cima", utilizando gestos e combinações de mouse e teclado. ....	83

Tabela 9.25 – Tempos para percorrer os caminhos (em segundos) utilizando gestos. ....	84
Tabela 9.26 – Tempo (em segundos) mantendo o objeto dentro do círculo maior utilizando gestos.....	84
Tabela 9.27 – Tempo (em segundos) mantendo o objeto dentro do círculo menor utilizando gestos. ....	85
Tabela 9.28 – Tempo (em segundos) mantendo o objeto dentro da distância estabelecida utilizando gestos.....	86
Tabela 9.29 – Quantidade do objeto mantida dentro do círculo maior utilizando gestos. ....	87
Tabela 9.30 – Quantidade do objeto mantida dentro do círculo menor utilizando gestos. ...	88
Tabela 9.31 – Tempos de execução da tarefa (em segundos) utilizando combinações de mouse e teclado. ....	89
Tabela 9.32 – Tempo (em segundos) mantendo o objeto dentro do círculo maior utilizando combinações de mouse e teclado. ....	90
Tabela 9.33 – Tempo (em segundos) mantendo o objeto dentro do círculo menor utilizando combinações de mouse e teclado. ....	91
Tabela 9.34 – Tempo (em segundos) mantendo o objeto dentro da distância estabelecida utilizando combinações de mouse e teclado. ....	92
Tabela 9.35 – Quantidade do objeto mantida dentro do círculo maior utilizando combinações de mouse e teclado.....	93
Tabela 9.36 – Quantidade do objeto mantida dentro do círculo menor utilizando combinações de mouse e teclado. ....	94

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	16
<b>2 TRABALHOS RELACIONADOS</b>	18
<b>2.1 Movimentos no espaço 3D a partir de entrada 2D</b>	19
2.1.1 Translação	19
2.1.2 Rotação	21
2.1.3 Controle da câmera virtual	23
<b>2.2 Movimentos no espaço 3D a partir de entrada 3D</b>	24
2.2.1 Manipulação de objetos	24
2.2.2 Controle da câmera virtual	29
<b>2.3 Modelagem Geométrica</b>	31
<b>3 OBJETIVOS</b>	34
3.1 Objetivo geral	34
3.2 Objetivos Específicos	34
<b>4 GESTOS E COMANDOS</b>	35
<b>5 ESTUDOS DE USABILIDADE</b>	41
5.1 Experimento: Encontrar objeto alvo	41
5.2 Experimento: Seguir um caminho	43
5.3 Comparação entre os modos de entrada	44
<b>6 RESULTADOS</b>	46
<b>6.1 Tarefa: Procurar objeto alvo</b>	46
6.1.1 Tempo de execução	46
6.1.2 Tempo para posicionar o círculo	48
6.1.3 Quantidade do objeto dentro do círculo	49
<b>6.2 Tarefa: Seguir um percurso</b>	51
6.2.1 Tempo para percorrer o caminho	51
6.2.2 Tempo mantendo o objeto dentro do círculo	53
6.2.3 Tempo mantendo o objeto dentro da distância determinada	54
6.2.4 Quantidade do objeto mantida dentro do círculo	54
<b>6.3 Questionário</b>	55
<b>7 DISCUSSÃO</b>	58
<b>8 CONCLUSÃO</b>	59
8.1 Trabalhos Futuros	59
<b>9 ANEXOS</b>	60
<b>9.1 Anexo I: Questionário</b>	60
9.1.1 Perguntas	60
9.1.2 Respostas	62
<b>9.2 Anexo II: Resultados para a tarefa de encontrar um alvo</b>	67
9.2.1 Execução da tarefa com gestos	67
9.2.2 Execução da tarefa com combinações de mouse e teclado	75
<b>9.3 Anexo III: Resultados para a tarefa de seguir um caminho</b>	83
9.3.1 Execução do comando para fixar o vetor "pra cima"	83
9.3.2 Execução da tarefa com gestos	83
9.3.3 Execução da tarefa com combinações de mouse e teclado	89
<b>REFERÊNCIAS</b>	95

# 1 INTRODUÇÃO

Modelos tridimensionais, geralmente, são descritos por triângulos. Um modelo 3D pode ser construído de diversas maneiras, muitas vezes são construídos manualmente em um processo conhecido como modelagem geométrica. A manipulação de objetos geométricos no espaço 3D é usualmente feita através de interações do usuário capturadas por periféricos como mouse e teclado. Superfícies sensíveis ao toque também tem sido utilizadas, mapeando gestos feitos sobre a tela para movimentos no espaço 3D. Mesmo com o surgimento de técnicas para mapear gestos diretamente de entrada 3D para saída 3D utilizando câmeras RGB e, nos últimos anos, sensores de movimentos, a utilização de entrada 2D ainda é a mais usada.

Este trabalho está incorporado em um projeto maior, no qual o objetivo é alcançar a modelagem geométrica utilizando entrada 3D mapeada diretamente para saída 3D. A Figura 1.1 é de um aplicativo desenvolvido para o Leap Motion, disponível em [1], no qual o usuário pode criar modelos 3D a partir de gestos extraídos pelo sensor de movimentos.

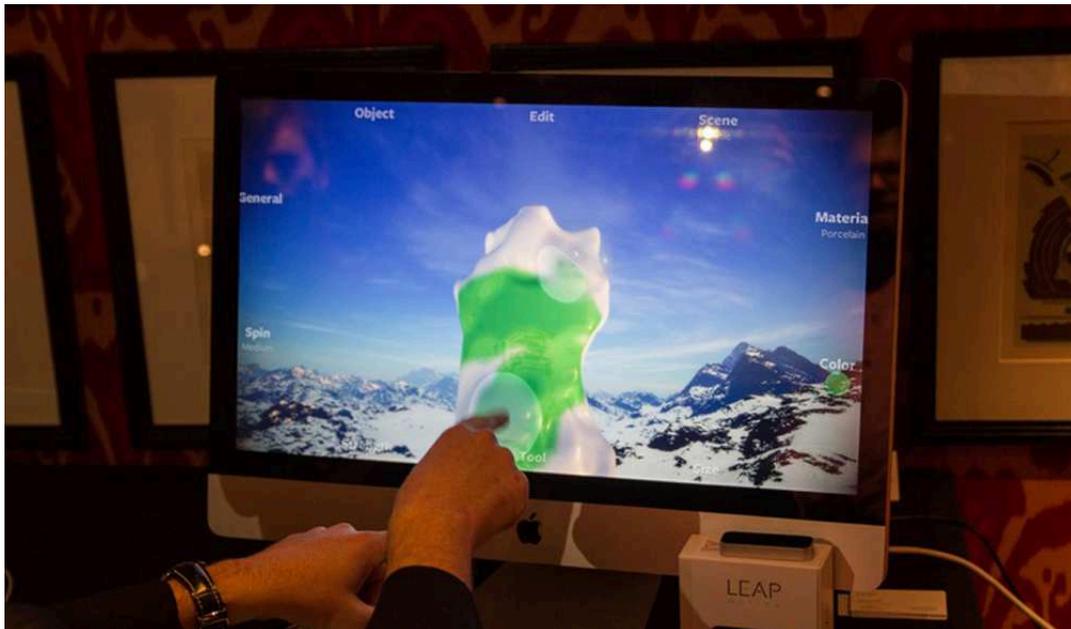


Figura 1.1: Aplicativo FreeForm, que permite criar modelos 3D utilizando gestos manuais extraídos do sensor de movimentos Leap Motion. [24]

Para modelar um objeto é desejável que ele possa ser visto de todos os lados, logo a importância de comandos para manipular a câmera virtual. No entanto, da mesma forma que para objetos, a manipulação da câmera virtual, atualmente, é realizada utilizando entrada 2D. Acreditando que o mapeamento direto da entrada 3D para a saída 3D aprimorará a usabilidade, neste trabalho foi implementado um conjunto de comandos para movimentar a câmera virtual,

os quais são ativados a partir da detecção de gestos manuais específicos para cada comando.

No trabalho de Sabir et al. [26] foi realizado um estudo de usuário, onde os voluntários executaram tarefas de seleção, rotação e zoom sobre um objeto virtual 3D, comparando o uso de combinações de mouse e teclado e gestos extraídos dos sensores de movimentos, Leap Motion e Microsoft Kinect. O tempo para realizar as tarefas foi maior utilizando os sensores de movimentos. Em questão de usabilidade, o sensor de movimentos Leap Motion foi julgado pelos usuários igualmente eficiente às combinações de mouse e teclado, o Kinect por sua vez teve uma avaliação negativa.

A fim de avaliar a usabilidade do protótipo implementado, foram conduzidos estudos de usuários, nos quais os participantes realizaram tarefas utilizando os gestos e combinações de mouse e teclado e responderam a um questionário que buscava avaliar a facilidade e intuitividade dos gestos. A partir das tarefas executadas foi obtido o tempo de execução e a precisão dos gestos. Os resultados mostram que as combinações de mouse e teclado possuem melhor desempenho. No entanto, com treinamento prévio dos usuários, os gestos podem ser realizados com eficiência.

## 2 TRABALHOS RELACIONADOS

A manipulação de objetos e da câmera virtual no espaço 3D, atualmente, é realizada a partir de entrada 2D, principalmente utilizando combinações de mouse e atalhos do teclado ou ícones sobre o objeto que são clicados e arrastados conforme a manipulação desejada. Superfícies multitoque também tem sido utilizadas, possibilitando o mapeamento de gestos para comandos que manipulam o objeto virtual. O mapeamento indireto de entrada 2D para saída 3D ainda é o mais usado.

Câmeras RGB podem ser utilizadas para capturar o movimento das mãos, possibilitando a captura de entradas do usuário no espaço 3D. Utilizando essa tecnologia, todo o processo de captura de imagens, reconhecimento de gestos e mapeamento para comandos de manipulação deve ser feito pelo desenvolvedor. Nos últimos anos, sensores de movimento, como os dispositivos Microsoft Kinect e Leap Motion, ganharam destaque nessa área.

O Microsoft Kinect possui uma câmera RGB, uma câmera de profundidade e um microfone, a partir dos quais são fornecidas imagens coloridas, imagens de profundidade e áudio. Depois de processados os dados, provê informações sobre o esqueleto da pessoa (Figura 2.1). Em contrapartida, o Leap Motion (Figura 2.2) foi projetado para capturar apenas mãos, dedos e ferramentas. A partir do processamento dos dados de profundidade ele fornece a posição, orientação, tamanho, entre outras características das mãos.

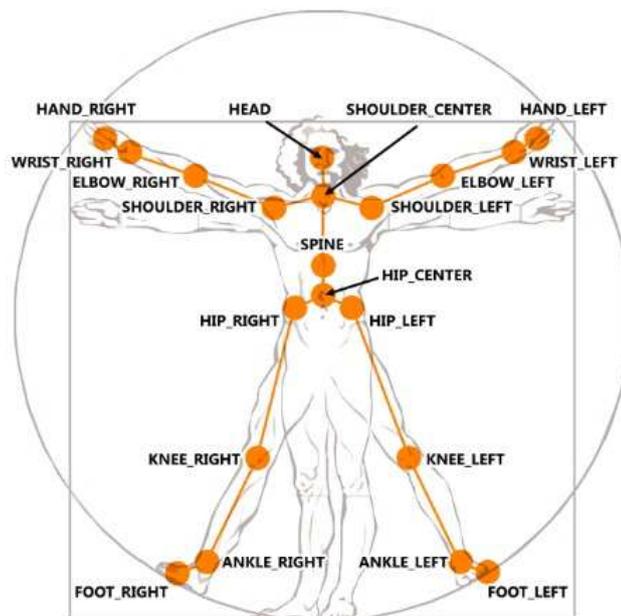


Figura 2.1: Informações do esqueleto fornecidas pelo Microsoft Kinect [21].

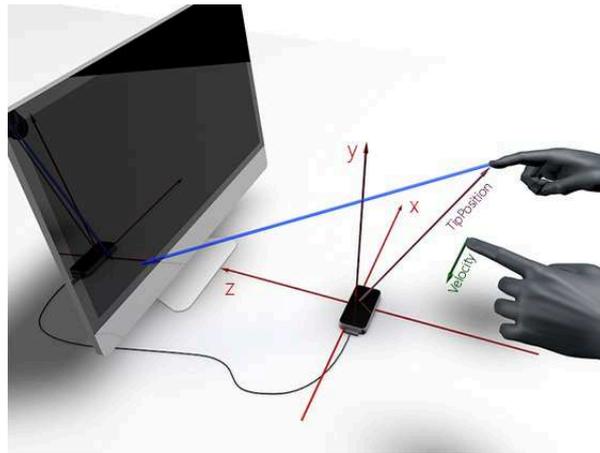


Figura 2.2: Eixos de coordenadas do Leap Motion. [33]

Este capítulo está dividido em abordagens que mapeiam gestos sobre uma entrada 2D para o espaço 3D e que mapeiam gestos diretamente da entrada 3D para saída 3D. Na sua maioria, as propostas são direcionadas para a manipulação de objetos virtuais, mas os comandos podem ser implementados também para manipular a câmera virtual.

## 2.1 Movimentos no espaço 3D a partir de entrada 2D

Os trabalhos apresentados a seguir realizam gestos sobre superfícies sensíveis ao toque e os mapeiam para comandos de manipulação de objetos e da câmera virtual 3D.

Esta seção está dividida em técnicas para translação e rotação de objetos, pois das abordagens apresentadas para manipulação de objetos, os comandos que interessam para a movimentação da câmera são apenas esses dois. Após há uma subseção que detalha as abordagens utilizadas para manipular a câmera virtual.

### 2.1.1 Translação

A translação nos eixos  $x$  e  $y$  pode ser realizada arrastando um ou dois dedos na direção do eixo desejado. Algumas abordagens esperam que o eixo de interesse tenha sido selecionado previamente [2], outras apenas requerem que o usuário selecione o objeto e o arraste na direção desejada [32, 12, 10, 23, 18]. No trabalho de Kin et al., [15], é utilizado um toque "conjugado", o qual é detectado quando dois dedos estão tocando a tela unidos, então basta deslocar os dedos para obter translação em  $x$  e  $y$  (Figura 2.3a).

O uso de um limite pode ser utilizado para estabelecer a direção que a translação acontecerá, no trabalho de Telkenaroglu et al., [31], assume-se que o objeto já está selecionado com

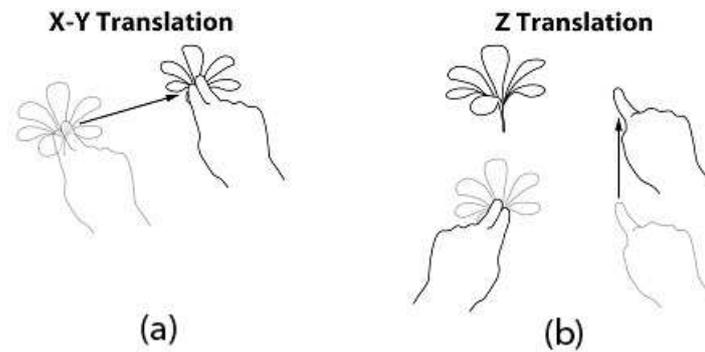


Figura 2.3: (a) Para transladar nos eixos  $x$  e  $y$ , seleciona e arrasta o objeto com um toque "conjugado". (b) Para transladar no eixo  $z$ , utiliza um toque "conjugado" para selecionar o objeto e outro dedo para arrastá-lo. [15].

dois dedos, então, se a distância entre os dois pontos de contato for menor que um limite  $t$ , considerado 100 pixels nos experimentos, supõe-se que os dedos estão unidos e o objeto pode ser deslocado no eixo  $y$  movendo os dois dedos para cima ou para baixo. Caso a distância seja maior que o limite, então os dedos estão separados e a translação ocorre no plano  $x-z$ . O ponto de intersecção entre os dois vetores que definem as novas posições dos dedos é projetado a partir do plano de visão para a superfície térrea do ambiente 3D, a fim obter o ponto  $E$  sobre o plano  $x-z$ ; então as componentes  $x$  e  $y$  da nova posição do objeto são calculadas como  $L_x = E_x$  e  $L_z = E_z$ , sendo  $L$  a nova posição do objeto.

É possível transladar o objeto no eixo  $z$  aproximando e afastando dois dedos [18]; aplicando um toque "conjugado" sobre o objeto e arrastando-se outro dedo para cima ou para baixo (Figura 2.3b) [15]; usando um gesto de pinçar com os dedos indicador e polegar, onde a distância entre os dedos determina a profundidade [12]; ou ainda utilizando dois ou três dedos sendo arrastados para baixo e para cima [10, 23].

O conceito de janelas de exibição, ou seja, várias câmeras exibindo a cena de posições diferentes, pode ser utilizado neste contexto. Isso pode ser feito como no trabalho de Martinet et al., [20], onde uma das janelas de exibição mostram a visão de perspectiva da cena e as outras duas ou três, são visões ortográficas e ortogonais uma da outra. Cada janela de exibição ortográfica permite controlar dois graus de liberdade de maneira integral, enquanto a exibição em perspectiva permite a translação do objeto sobre o plano paralelo ao chão da cena virtual. Quando um dedo toca uma superfície, a janela de exibição correspondente é detectada e um raio ortogonal é projetado na cena, obtendo o objeto mais próximo da posição do dedo. A partir disso, o movimento do dedo, translada o objeto sobre o plano que passa no centro do

objeto. Quando um segundo dedo toca outra janela de exibição, seu movimento translada o objeto modificando sua profundidade.

Martinet et al., [20] apresentam também a tecnologia, denominada *Z-technique*, que consiste no uso de apenas uma janela de exibição. Aqui o movimento de apenas um dedo, translada o objeto nas direções dos eixos x e y. Ao adicionar o movimento de um segundo dedo, para cima e para baixo, o objeto é transladado na direção do eixo z.

### 2.1.2 Rotação

A maioria dos trabalhos realizam rotação nos eixos x e y arrastando um ou dois dedos, nas direções vertical e horizontal, respectivamente [27, 23, 31, 12, 15]. No trabalho de Au et al. [2] o eixo de interesse é selecionado a partir da orientação dos dois dedos tocando a tela e então, arrastando os dedos perpendicularmente ao eixo selecionado, realiza-se a rotação (Figura 2.4).

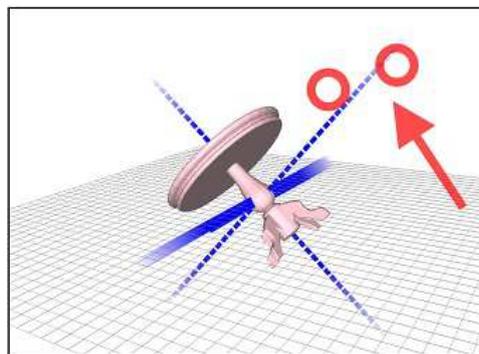


Figura 2.4: A linha azul contínua representa o eixo selecionado. Os círculos vermelhos representam dois dedos, a partir da orientação dos quais o eixo foi definido. [2]

A orientação dos pontos de toque é bastante usada para definir o eixo de rotação. Seja para selecionar um dos eixos das coordenadas mais próximo à linha formada pela orientação dos dois pontos de toque ou para definir de fato o eixo de rotação. Definido o eixo de rotação, um terceiro dedo pode ser arrastado na direção perpendicular ao eixo, rotacionando o objeto, como é feito nos trabalhos de Hancock et al. [11] e Reisman et al. [25]. Esse tipo de movimentação pode ser visualizado na Figura 2.5.

Outra maneira de rotacionar o objeto virtual é dividir a área de controle do objeto em subáreas, onde em cada uma é possível rotacionar o objeto sobre um determinado eixo, utilizando um gesto de torção [12]. Na Figura 2.6 podem ser observados os gestos apresentados por este autor.

As rotações sobre o eixo z geralmente são feitas utilizando dois dedos, realizando um



Figura 2.5: Dois pontos de toque definem o eixo de rotação e um terceiro ponto de toque realiza a rotação. [11]

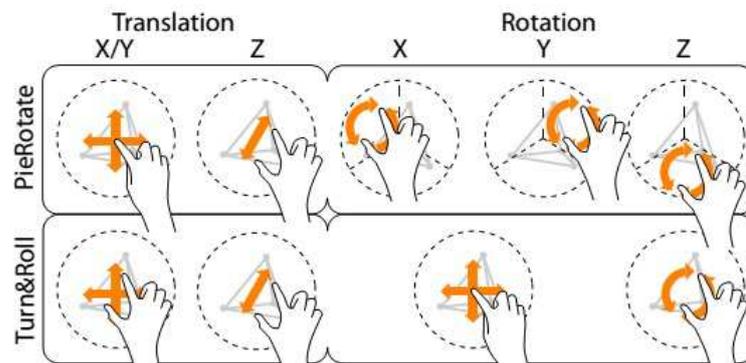


Figura 2.6: Translação e rotação 3D com as tecnologias apresentadas por Herrlich, M. et al. [12]

movimento de torção [12, 27, 31, 23, 18, 10]. De forma semelhante, Kin et al. [15] permite rotação no eixo z utilizando o primeiro dedo para tocar no objeto e o segundo para arrastar na direção desejada, além de fazer rotação no eixo z das coordenadas do mundo, tocando o objeto com um dedo e usando um toque "conjugado" para arrastar na direção pretendida.

Fazer a rotação com mais de três dedos é pouco usado, mas no trabalho de Reisman et al. [25] são utilizados quatro pontos de toque. Estando os quatro dedos sobre o objeto, o usuário pode manuseá-lo a fim a criar a rotação desejada. Este tipo de rotação pode ser melhor entendido observando-se a Figura 2.7.



Figura 2.7: Rotação com quatro pontos de toque. As flechas indicam a direção em que os dedos são arrastados. [25]

### 2.1.3 Controle da câmera virtual

São poucos os trabalhos que tratam da movimentação da câmera, geralmente o foco é na manipulação de objetos. Neste sentido, o trabalho de Walther-Franks et al. [32] permite que a câmera seja manipulada utilizando gestos com dois, três ou quatro dedos. Para mover no eixo z, basta arrastar quatro dedos para frente ou para trás. Usando dois dedos, é possível deslocar a câmera em x e y. E com três dedos é feita a rotação. Utilizando duas mãos, a câmera e o objeto podem ser manipulados simultaneamente.

<b>Eixo</b>	<b>Translação</b>	<b>Rotação</b>
<b>x, y, z</b>		<p>Selecionar o eixo a partir da orientação de dois dedos e movimentá-los perpendicularmente ao eixo selecionado [2];</p> <p>Usar dois dedos para definir o eixo e arrastar um terceiro dedo na direção perpendicular ao eixo [11, 25];</p> <p>Uso de subáreas, em que cada uma rotaciona sobre um determinado eixo com movimento de torção [12].</p>
<b>x</b>	<p>Arrastar um ou dois dedos na direção horizontal [32, 12, 10, 23, 18, 20];</p> <p>Toque conjugado, arrastando na direção horizontal [15];</p> <p>Gesto de pinçar, usando dois dedos [31].</p>	<p>Arrastar um ou dois dedos na direção vertical [27, 23, 31, 12, 18].</p>
<b>y</b>	<p>Arrastar um ou dois dedos na direção vertical [32, 12, 10, 23, 18, 31, 20];</p> <p>Toque conjugado, arrastando na direção vertical [15].</p>	<p>Arrastar um ou dois dedos na direção horizontal [27, 23, 31, 12, 18];</p>
<b>z</b>	<p>Gesto de pinçar, usando dois dedos [31];</p> <p>Toque conjugado com dois dedos, e arrastar um terceiro dedo para cima e para baixo [15];</p> <p>Arrastar três dedos para cima e para baixo [10];</p> <p>Arrastar dois dedos para cima ou para baixo [20].</p>	

Tabela 2.1: Resumo das abordagens para manipulação de objetos no espaço 3D utilizando entrada 2D.

A navegação pela cena no trabalho de Telkenaroglu et al. [31] é realizada apenas no

plano x-z, utilizando dois dedos: para mover para frente, o usuário aproxima os dedos e para mover para trás, afasta-os. O ponto central entre os dedos é marcado com uma cruz para especificar a direção em que a câmera está se movendo. Já no trabalho de Edelman et al. [7] ao movimentar um dedo a câmera é deslocada ao redor do atual ponto de visão. A câmera é movida utilizando dois pontos de toque. Afastando os dedos, realiza-se o zoom, e arrastar os dedos juntos faz a câmera se mover paralelamente ao plano da imagem.

A Tabela 2.1 possui um resumo das técnicas apresentadas nessa seção. Em geral, todos esses trabalhos apresentam conjuntos de gestos feitos sobre uma superfície 2D para manipular objetos no espaço 3D. No meu trabalho, os gestos são executados no espaço 3D, sendo diretamente mapeados para comandos de controle da câmera virtual 3D.

## **2.2 Movimentos no espaço 3D a partir de entrada 3D**

Nesta seção são apresentadas algumas abordagens para manipulação de objetos e da câmera no espaço 3D, a partir de gestos capturados por câmeras RGB ou de profundidade. São descritos gestos para translação, rotação, zoom e navegação da câmera dentro do ambiente 3D.

### **2.2.1 Manipulação de objetos**

A maioria dos trabalhos que utilizam entrada 3D para manipular objetos no espaço 3D utiliza câmeras RGB, capturando sequências de imagens da mão e reconhecendo os gestos realizados. No trabalho de Sharma et al. [29] é reconhecido um pequeno conjunto de gestos, classificados em dinâmicos (mover para frente e para trás) e estáticos (agarrar, soltar, parar, para cima e para baixo), os quais são mapeados para comandos que manipulam estruturas moleculares.

O uso de gestos estáticos não requer muito treinamento do usuário para interagir com o sistema, uma vez que, durante a execução do gesto, há pouca variância no formato da pose da mão. Em razão disso, o trabalho de Kim et al. [13] propõe um conjunto de gestos estáticos, cujo funcionamento é descrito na sequência.

Para transladar um objeto, fecha a mão, enquanto executa um gesto de pinçar com os dedos polegar e indicador, então move a mão na direção desejada (Figura 2.8c); para rotacionar, abre a mão, enquanto realiza gesto de pinçar com os dedos polegar e indicador, girando a mão na direção desejada (Figura 2.8d); para mudar a escala do objeto, mantém a mão aberta, enquanto

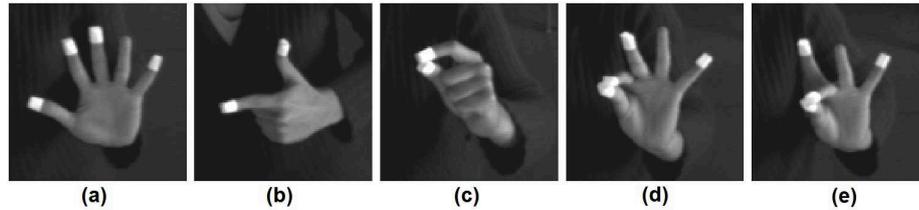


Figura 2.8: Conjunto de gestos estáticos. (a) Pausar interação. (b) Mover o cursor. (c) Agarrar um objeto. (d) Rotacionar. (e) Mudar escala do objeto. [13]

executa um gesto de pinçar com os dedos polegar e médio, afastando e aproximando os dedos (Figura 2.8e). É possível interagir com um cursor virtual com os seguintes gestos: manter a mão fechada, com exceção do polegar e do indicador, o qual aponta diretamente para o objeto alvo, movendo o cursor de acordo com a posição apontada pelo dedo indicador (Figura 2.8b); e para pausar a interação, basta abrir a mão inteira (Figura 2.8a).

Em dispositivos móveis, a manipulação de objetos geralmente é feita com entradas 2D a partir da superfície multitoque do próprio dispositivo, na qual o mapeamento não é direto e a tela do dispositivo geralmente possui espaço para interagir apenas com uma mão, limitando significativamente a interação. Por isso, o estilo de interação proposto por Kratz et al. [16] se baseia em gestos capturados por um sensor de movimentos acoplado ao dispositivo (Figura 2.9). Utiliza gestos com a mão aberta, como um gesto contínuo. A palma da mão é considerada um plano que fornece dois parâmetros: a direção ortogonal ao plano (o vetor normal da superfície), e a distância ao centro da câmera (origem do centro de coordenadas).

O mapeamento do gesto pode ser feito de várias maneiras. Nesse trabalho foram abordadas as seguintes:

- Mapear a orientação da mão para a orientação do objeto, dessa forma o usuário pode rotacionar o objeto ao rotacionar a mão. Esta forma de mapeamento é intuitiva, mas limitada, pois o pulso não pode realizar uma rotação de 360 graus;
- Semelhantemente a anterior, adicionar um fator de escala ao ângulo de rotação da mão. Isto permite alcançar completa rotação do objeto com uma menor rotação da mão, mas pode reduzir a precisão do movimento;
- Mapear o ângulo entre a pose inicial e a pose atual da mão para a velocidade de rotação do objeto. Isso permite rotacionar o objeto completamente, mas exige maior tempo para ser executado do que definindo a orientação diretamente, como nas abordagens anteriores. Além disso, está sujeito a excessos;

- Não utilizar a orientação da mão para definir a orientação do objeto absolutamente, mas relativamente a orientação do objeto e da mão no tempo em que ela está visível no *frustum* da câmera. Isso reduz o desempenho, mas mantém a intuitividade dos gestos.



Figura 2.9: Usando a pose de mão aberta atrás do dispositivo é possível rotacionar o objeto livremente. Uma câmera de profundidade acoplada ao dispositivo é utilizada para capturar o movimento da mão. [16]

Como visto anteriormente, utilizando apenas uma mão é possível manipular objetos virtuais. No entanto, na realidade, as pessoas costumam manipular os objetos utilizando as duas mãos e, seguindo este raciocínio, Schlattmann et al. [28] traz um conjunto de gestos usando as duas mãos. A translação do objeto é determinada pela média da translação de ambas as mãos. Para realizar a rotação do objeto, considera-se a orientação do vetor formado pela diferença entre as posições das mãos, e a média da rotação das mãos ao redor deste vetor.

Ainda neste trabalho, o usuário pode pegar o objeto, aproximando as mãos uma da outra, e soltar, afastando-as. Ao realizar tais gestos, o modo com que o usuário movimenta as mãos pode gerar conflito entre as funções. Para solucionar esse problema, cada comando é executado sob uma determinada velocidade. Sejam  $v_M^i$  e  $v_G^i$ , as velocidades determinadas para manipular e agarrar o objeto, respectivamente. Se  $v_G^i$  for negativo, então as mãos estão sendo aproximadas (agarrar), caso contrário, as mãos estão sendo afastadas (soltar). Para definir se o usuário está agarrando ou soltando o objeto, utilizam-se dois limites,  $T_G$  e  $T_R$ , para tal  $T_G$  deve ser um valor positivo e  $T_R$  deve ser um valor negativo. Essa mecânica pode ser entendida como a máquina de estados observada na Figura 2.10. A velocidade de manipulação,  $v_M^i$ , corresponde à soma das velocidades translacionais das mãos que serão usada para manipulação do objeto.

Na mesma ideia de interação bimanual, Lubos et al., [19], trás gestos que permitem escalar, transladar e rotacionar o objeto. Fazendo gesto de pinçar com as duas mãos e afastando uma da outra, a escala do objeto é modificada, de acordo com a mudança na distância das mãos (Figura 2.11c). Ainda mantendo os gestos de pinçar, movendo ambas as mãos na mesma direção, o objeto é transladado de acordo com o deslocamento delas (Figura 2.11d). Para rotacionar

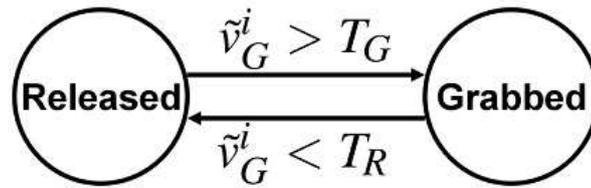


Figura 2.10: Máquina de estados ilustrando como um objeto pode ser solto ou agarrado. Os limites  $T_G$  e  $T_R$  são aplicados para modificar a velocidade determinada de agarrar o objeto  $v_G^i$ . [28]

o objeto, o usuário precisa rotacionar as mãos ao redor do ponto central entre elas, mantendo o gesto de pinçar com ambas as mãos (Figura 2.11b).

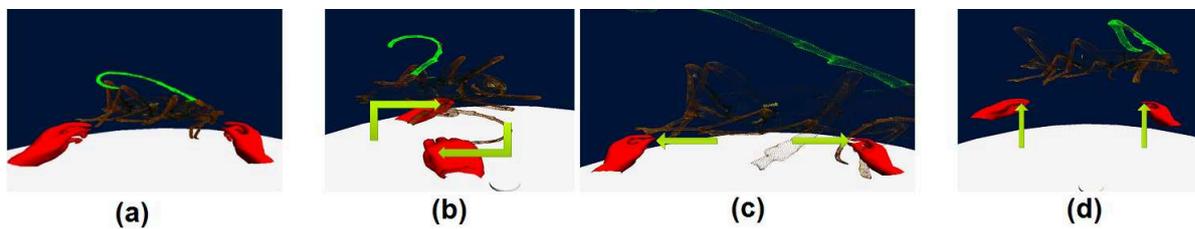


Figura 2.11: Transformações suportadas. (a) Posição inicial. (b) Rotação. (c) Escala. (d) Translação. [19]

O aplicativo para montagem virtual de blocos de construção proposta por Lin et al. [17], utiliza gestos extraídos do sensor de movimentos Microsoft Kinect para construir estruturas 3D a partir de blocos em um ambiente virtual. Para entrar no modo de seleção de objetos, o usuário deve acenar rapidamente em direção ao dispositivo, pelo menos duas vezes. No modo de seleção, ele pode mover a mão livremente para controlar o cursor e, selecionar um bloco, empurrando a mão para frente. Ele também pode visualizar mais blocos em outras telas, balançando a mão para esquerda e para a direita. O avatar pode caminhar nas direções do eixo de coordenadas, sendo controlado pelos gestos mostrados na Figura 2.12. Para colocar o bloco selecionado sobre a estrutura virtual, o usuário deve entrar no modo de montagem, realizando um gesto semelhante a agarrar um objeto (Figura 2.13a), então ele ajusta a localização e orientação do bloco com os gestos de rotação e translação (Figura 2.13b a 2.13e). E solta o objeto, afastando as mãos, semelhante ao que é feito no trabalho de Schlattmann et al. [28].

Outro trabalho que também utiliza a mesma tecnologia empregada neste projeto é o trabalho de Sabir et al. [26], que propõe dois conjuntos de gestos para manipular estruturas moleculares 3D utilizando dois sensores de movimentos, Leap Motion e Microsoft Kinect. Com o primeiro dispositivo, o usuário pode rotacionar a estrutura no eixo x balançando a mão para frente e para trás (Figura 2.14b), no eixo y faz um gesto de aceno com a palma da mão direcio-

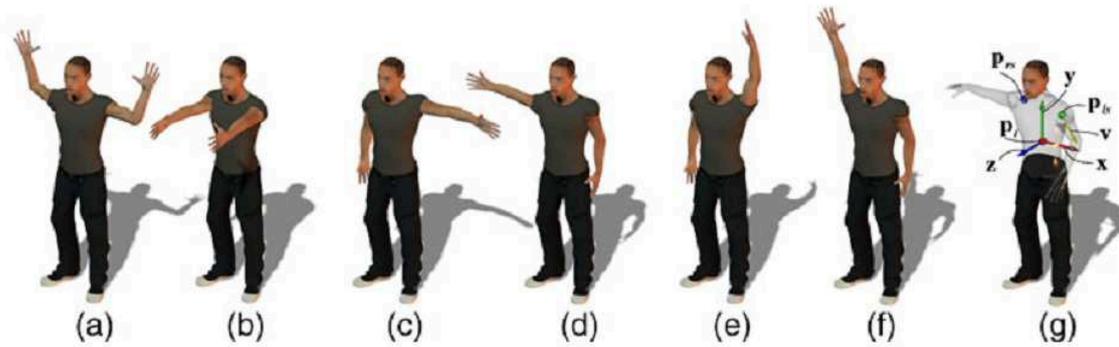


Figura 2.12: Gestos para navegação. (a) Ativar o modo de navegação. (b) Andar para frente. (c) Virar à esquerda. (d) Virar à direita. (e) Parar. (f) Sair do modo de navegação. (g) Sistema de coordenadas. [17]

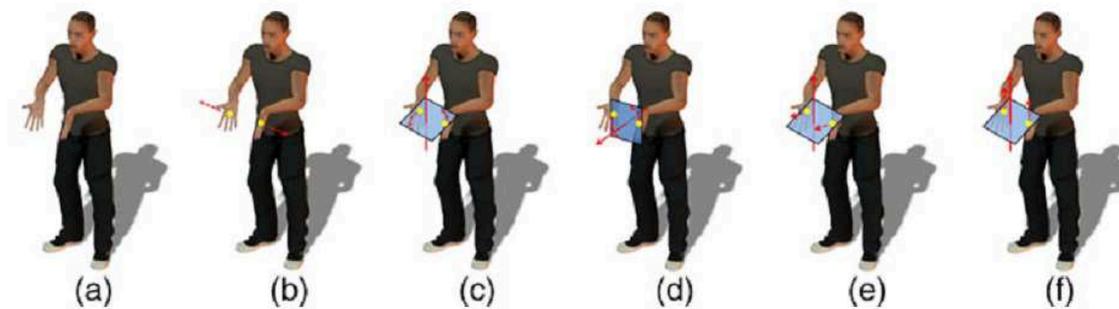


Figura 2.13: Gestos para montagem. (a) Ativar o modo de montagem. (b-c) Rotação (eixos y e z). (d-e) Translação nas direções y e z. (f) Soltar um bloco. [17]

nada para o dispositivo (Figura 2.14d), e no eixo z faz o mesmo movimento, mas com a palma da mão direcionada para a tela do computador (Figura 2.14f). Para transladar, o usuário move a mão na direção do eixo de interesse (Figuras 2.14a, 2.14c e 2.14e). O rastreamento inicia quando mais de três dedos de uma mão estão visíveis para o sensor e pode ser desabilitado fechando a mão. Utilizando o segundo dispositivo, a translação da estrutura no eixo z é realizada aproximando e afastando as duas mãos (Figura 2.14n), e nos eixos x e y, movimentando ambas as mãos na mesma direção (Figura 2.14j a 2.14l). Para rotacionar no eixo z, basta mover uma mão para cima e outra para baixo simultaneamente (Figura 2.14o), no eixo y puxa uma mão e empurra a outra (Figura 2.14m), no eixo x é da mesma maneira, mas com uma mão em cima e outra embaixo (Figura 2.14k). Diferenciam-se as rotações nos eixos x e y pela orientação da linha formada pelas duas mãos, se é vertical ou horizontal, respectivamente.

Na abordagem de Hald [9] a manipulação de objetos virtuais é feita através da combinação de um sensor de movimentos (Microsoft Kinect) e controladores do Nintendo Wii. A partir do sensor de movimentos, o usuário pode transladar o objeto selecionado conforme movimentar a mão direita. Para escalar o objeto, aperta um botão do controlador e move a mão direita. A



Figura 2.14: Gestos suportados pelo Leap Motion e pelo Kinect. Os retângulos brancos indicam a orientação da tela do computador. Os gestos são realizados com uma mão para o Leap Motion e com duas mãos para o Kinect. [26]

rotação é realizada, mantendo apertado um botão do controlador, e movendo ambas as mãos como se estivesse segurando em lados opostos do objeto.

### 2.2.2 Controle da câmera virtual

A manipulação da câmera virtual utilizando entrada 3D é ainda pouco explorada. Em [13], o controle da câmera é realizado através do rastreamento do movimento da cabeça do usuário, para o qual utilizam-se óculos tridimensionais. Assim, possibilitando realizar translação, zoom e órbita. No entanto, o espaço de interação é limitado pelo ângulo de visão das câmeras utilizadas para capturar o movimento do usuário. Essa limitação não permite que o usuário caminhe completamente ao redor de um objeto 3D, mas ele pode navegar dentro da cena.

Nas Tabelas 2.2 e 2.3 é apresentado um breve resumo das abordagens apresentadas nesta seção. Como observado, a maior parte dos trabalhos citados apresentam comandos básicos

<b>Eixo</b>	<b>Rotação</b>	<b>Translação</b>
<b>x, y, z</b>	<p>Gesto de pinçar com polegar e indicador e torção do pulso [13];</p> <p>Gesto de pinçar com ambas as mãos e rotacioná-las ao redor do ponto central entre elas [19];</p> <p>Gesto contínuo com a mão aberta [16];</p> <p>Rotação das mãos sobre o vetor formado pela distância delas [28];</p> <p>Mover ambas as mãos como se estivessem segurando lados opostos do objeto [9].</p>	<p>Gesto de pinçar com o polegar e o indicador e move a mão na direção desejada [13];</p> <p>Gesto de pinçar com ambas as mãos, então move-as juntas na direção desejada [19];</p> <p>Mover ambas as mãos na direção desejada [17, 28, 26];</p> <p>Mover a mão direita na direção desejada [9].</p>
<b>x</b>	<p>Com um braço em cima e outro embaixo, movimentar um para frente e o outro para trás [26];</p> <p>Balançar a mão para frente e para trás, com a palma direcionada para a tela do computador [26].</p>	<p>Mover a mão para esquerda e para direita, com a palma direcionada para o dispositivo [26].</p>
<b>y</b>	<p>Mover uma mão para frente e outra para trás, simultaneamente [26, 17];</p> <p>Gesto de aceno com a palma direcionada para o dispositivo [26].</p>	<p>Mover a mão para frente e para trás, com a palma direcionada para o dispositivo [26].</p>
<b>z</b>	<p>Mover uma mão para cima e outra para baixo, simultaneamente [26, 17];</p> <p>Gesto de aceno com a palma direcionada para a tela do computador [26].</p>	<p>Mover a mão para frente e para trás, com palma direcionada para a tela do computador [26];</p> <p>Mover a mão para frente e para trás [29].</p>

Tabela 2.2: Resumo das abordagens para translação e rotação de objetos 3D com entrada 3D.

<b>Navegação</b>	<b>Escala/Zoom</b>	<b>Pausar</b>
<p>Estende os dois braços para frente, braço direito vira à direita, braço esquerdo vira à esquerda [17];</p> <p>De acordo com o movimento da cabeça [13];</p> <p>Mão aberta, movendo de acordo com a direção da mão [6].</p>	<p>Gesto de pinçar com polegar e indicador, aproximando e afastando os dedos [13];</p> <p>Gesto de pinçar com ambas as mãos, afastando-as e aproximando-as [19];</p> <p>Mover a mão direita, apertando o botão do dispositivo auxiliar [9].</p>	<p>Abrir a mão inteira [13];</p> <p>Fechar a mão [26].</p>

Tabela 2.3: Resumo das abordagens para navegação na cena, escala/zoom em objetos e pausar interação, com entrada 3D.

(translação e rotação) aplicados na manipulação de objetos virtuais. O trabalho de Kim et al. [13] considera controlar a câmera virtual, no entanto, realiza a manipulação da câmera de acordo

com a movimentação da cabeça do usuário.

No trabalho de Cabral et al. [6] o usuário navega na cena com a mão aberta sobre o sensor de movimentos. Inicialmente, é necessário calibrar o dispositivo, a posição de descanso inicial da mão é utilizada como centro do sistema de coordenadas. A velocidade da navegação é determinada pela posição atual da mão em relação à posição de descanso inicial, em cada um dos três eixos: esquerda, direita, cima, baixo, pra frente e pra trás.

Em [16, 28, 17, 26] considera-se apenas o movimento da mão como um todo, o que limita significativamente as opções de gestos e comandos. Neste trabalho, foram implementados comandos básicos de manipulação da câmera virtual: translação, rotação, zoom, entre outros, descritos no capítulo 4. Os gestos foram feitos considerando-se a posição dos dedos, semelhante ao que é feito no trabalho de Kim et al. [13], permitindo aumentar as possibilidades de gestos e, conseqüentemente, de comandos. Considerar os dedos também propiciou a caracterização dos gestos de forma mais eficiente, visto que há mais parâmetros a serem analisados.

### **2.3 Modelagem Geométrica**

Como mencionado anteriormente, este trabalho está inserido em um projeto maior, no qual o objetivo é alcançar a modelagem geométrica guiada por gestos. Por isso, a utilidade de movimentar a câmera neste trabalho é visualizar o objeto de todos os ângulos possíveis e, dessa forma, manipular a malha do objeto. Modelagem geométrica com gestos é uma área de pesquisa em crescimento, mas que ainda possui poucos trabalhos publicados.

Alguns trabalhos como os de Kim et al. [13] e de Walther-Franks et al. [32] permitem a manipulação da câmera e do objeto simultaneamente. Este último permite que o usuário deforme a malha do objeto. Na Figura 2.15a podem ser observadas modificações na malha, feitas pelos gestos mostrados na Figura 2.15b. Inicialmente, o usuário realiza o gesto de pausa, abrindo a mão (Figura 2.15b.1). Então, seleciona o objeto fechando a mão, com exceção dos dedos polegar e indicador (Figura 2.15b.2). O local identificado para seleção é representado pela seta na Figura 2.15a.2. Uma vez que o objeto está selecionado, o usuário o rotaciona e aproxima o objeto (gestos das Figuras 2.15b.3 e 2.15b.4, respectivamente), resultando nas modificações mostradas nas Figuras 2.15a.3 e 2.15a.4. Então, ele seleciona um vértice da malha (Figuras 2.15a.5 e 2.15b.5) e aplica o gesto de translação (Figura 2.15b.6) para mudar a posição do vértice selecionado, modificando o formato da malha. E por fim, o usuário rotaciona novamente o objeto (Figuras 2.15a.7 e 2.15b.7). Na Figura 2.15c pode ser observada a criação de um objeto

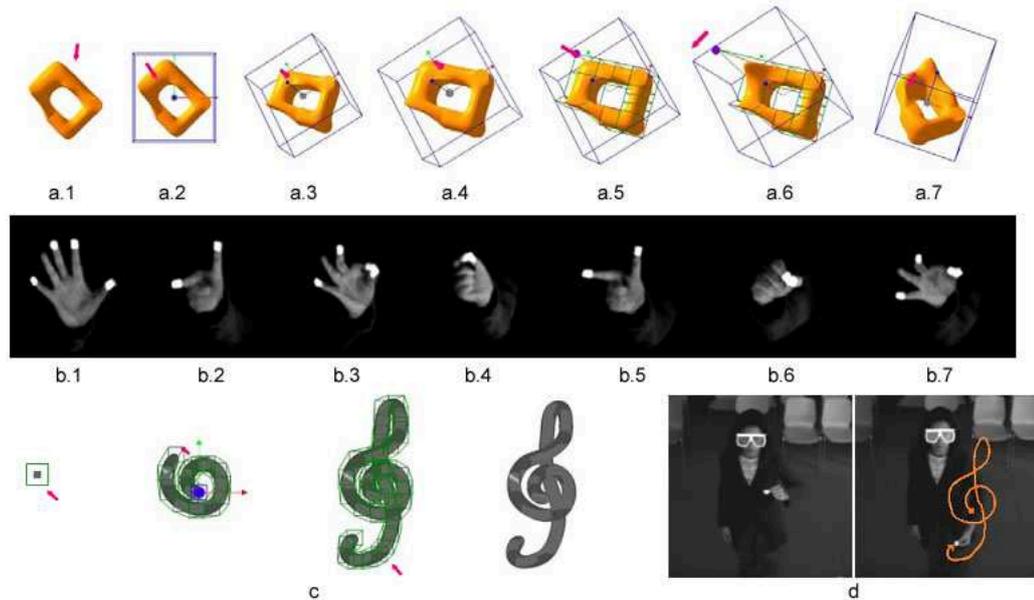


Figura 2.15: (a) Manipulação e deformação do objeto por gestos feitos em (b). (b) Sequência de gestos: pausar, selecionar, rotacionar, transladar (direção z), selecionar (vértice do objeto), e rotacionar. (c) Criação de um objeto a partir de uma simples forma primitiva por (d). (d) O formato do objeto desenhado pelo movimento da mão. [13]

a partir de uma simples primitiva, através do gesto de translação (Figura 2.15d), modificando a posição dos vértices. As mudanças que o usuário pode realizar na malha são: inserir uma aresta de forma a dividir uma face em duas; inserir um novo vértice sobre uma aresta; ou dividir um vértice em dois, conectado por uma nova aresta.

O trabalho de Nishino et al. [22] permite modelagem geométrica a partir da combinação de formas primitivas e modificações na malha a partir de gestos manuais. Este trabalho utiliza a elipsoide super-quadrática para descrever as formas primitivas. A função que define a elipsoide pode produzir várias formas, modificando os parâmetros de quadratura, como observado na Figura 2.16. Após a etapa de criação das primitivas, as mesmas são combinadas e o usuário pode usar gestos para deformar o objeto, obtendo o modelo desejado. Os padrões de movimentos e formas das mãos do usuário indicam as modificações pretendidas para dar forma ao objeto. O usuário pode utilizar gestos para quadrar, afunilar e torcer o objeto de acordo com o desejado. Tais gestos estão expressados na Figura 2.17c. A Figura 2.17 representa o processo completo de criação e combinação das primitivas e refinamento do objeto.

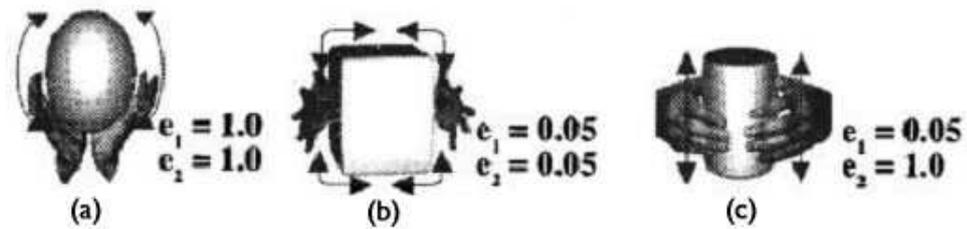


Figura 2.16: Criação de formas primitivas por gestos manuais. As flechas indicam a direção em que o usuário deve mover as mãos. (a) Elipse. (b) Cubo. (c) Cilindro. [22]

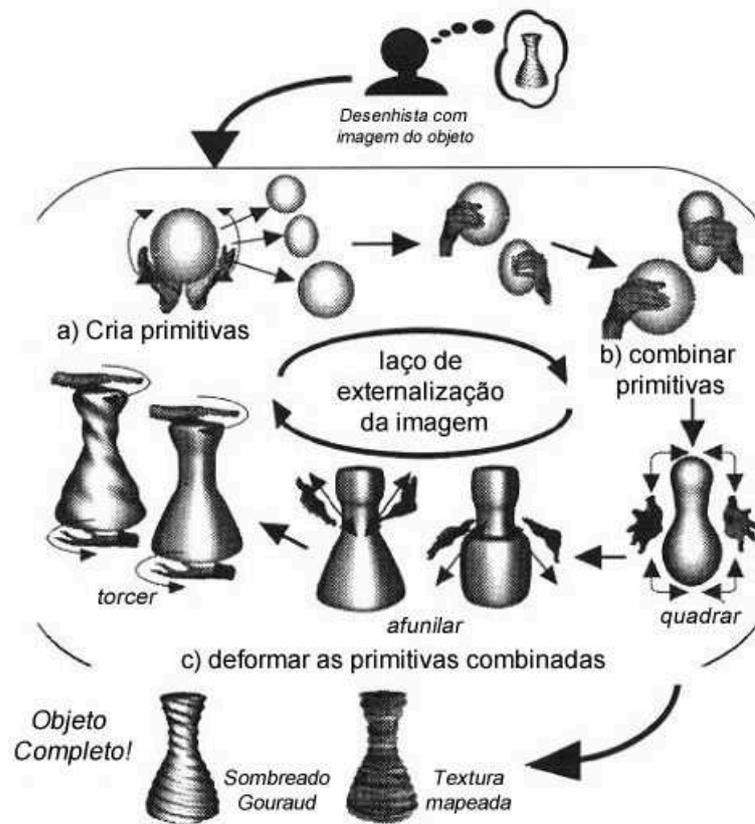


Figura 2.17: Processo para criação de um objeto. As flechas indicam o movimento das mãos. (Figura adaptada de [22])

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

Mapear gestos manuais extraídos de sensores de movimentos para comandos que permitam ao usuário manipular a câmera virtual no espaço 3D.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

O objetivo descrito acima se desdobra nos seguintes objetivos específicos:

- Definir um conjunto de gestos que serão mapeados para manipulação da câmera virtual;
- Avaliar a usabilidade dos gestos para navegação da câmera.

## 4 GESTOS E COMANDOS

Neste capítulo são apresentados os gestos implementados com o sensor de movimentos para movimentação da câmera. Cada gesto elaborado tem uma motivação específica, mas todos estão aliados aos recursos que o dispositivo oferece.

Os comandos implementados modificam os eixos que definem a orientação da câmera (Figura 4.1) e sua posição no espaço virtual. A seguir são descritos os comandos e o gesto que o executa.

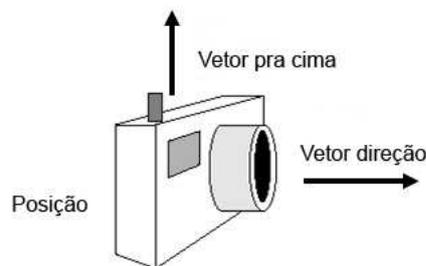


Figura 4.1: Eixos de coordenadas da câmera virtual.

- **Translação:** utiliza-se o deslocamento do dedo indicador sobre o dispositivo (Figura 4.2). Dessa forma, o usuário pode deslocar o dedo na direção desejada. A nova posição é dada pela posição atual somada ao deslocamento do dedo. Este tipo de movimento é bastante utilizado em superfícies com entrada multitoque, além disso não é necessário mais que um dedo para determinar o deslocamento da câmera.
- **Zoom:** utiliza-se o deslocamento dos dedos indicador e médio para frente ou para trás (Figura 4.3). O zoom é realizado modificando o ângulo de visão da câmera. O novo ângulo é calculado subtraindo-se o deslocamento dos dedos do ângulo atual, de forma que quando os dedos são deslocados para trás o ângulo é reduzido e ao deslocar os dedos para frente, o ângulo é ampliado.
- **Rotação:** utiliza-se o deslocamento dos dedos indicador, médio e anelar (Figura 4.4). Para rotacionar sobre o eixo y, basta deslocar os dedos para a esquerda ou direita. Sobre o eixo x, desloca-se os dedos para cima ou para baixo. E sobre o eixo z, desloca-se os dedos para frente ou para trás. A rotação sobre o eixo z foi modificada devido a imprecisão do dispositivo em relação aos dedos menores (seriam utilizados os dedos indicador e mínimo,

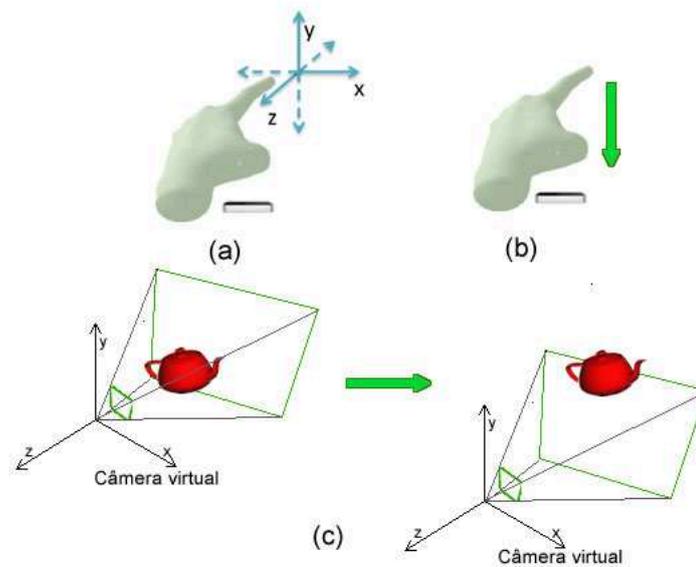


Figura 4.2: Translação. (a) As flechas azuis indicam a direção em que o dedo pode ser deslocado. (b) A flecha verde indica a direção que o dedo é movimentado para realizar a translação ilustrada em (c). (c) Comportamento da câmera ao ser transladada sobre o eixo  $y$ .

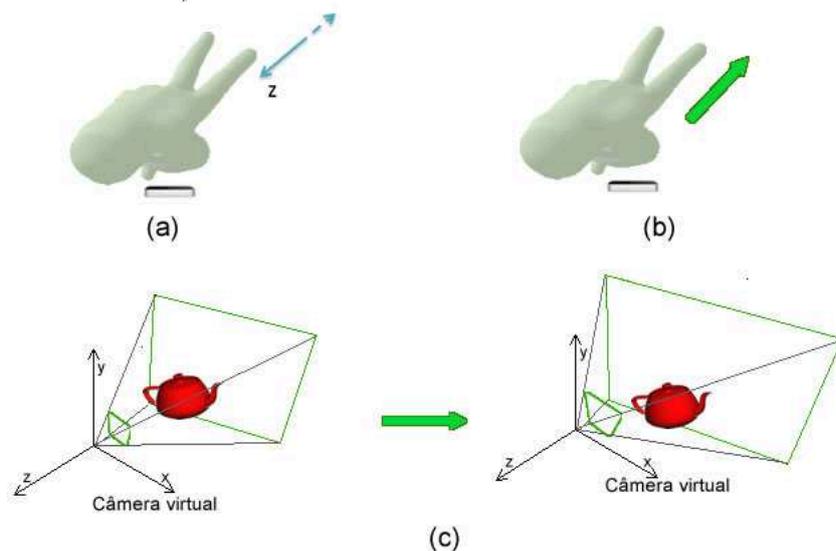


Figura 4.3: Zoom. (a) As flechas azuis ilustram a direção em que os dedos devem ser deslocados. (b) A flecha verde indica a direção em que os dedos são deslocados para realizar o zoom ilustrado em (c). (c) Comportamento do frustum da câmera ao aumentar o zoom.

como definido no projeto). O ângulo de rotação é determinado pelo deslocamento dos dedos.

- Órbita: a câmera orbita ao redor de um ponto na direção de um dos eixos das coordenadas,

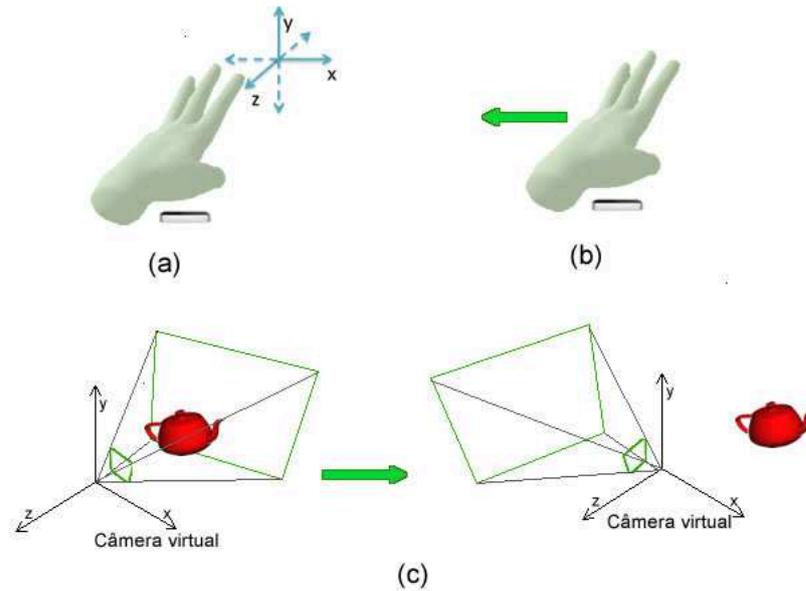


Figura 4.4: Rotação. (a) As flechas azuis ilustram a direção em que os dedos devem ser deslocados. (b) A flecha verde indica a direção em que os dedos são deslocados para realizar a rotação ilustrada em (c). (c) Comportamento da câmera ao rotacioná-la para a esquerda.

utilizando-se o deslocamento dos dedos indicador e médio (Figura 4.5). Para orbitar sobre o eixo  $y$ , basta deslocar os dedos nas direções esquerda ou direita. Sobre o eixo  $x$ , desloca-se os dedos para cima ou para baixo. O ângulo de órbita é determinado pelo deslocamento dos dedos sobre o dispositivo. Utiliza-se dois dedos para diferenciar da rotação, e a direção do deslocamento permite determinar a direção da órbita.

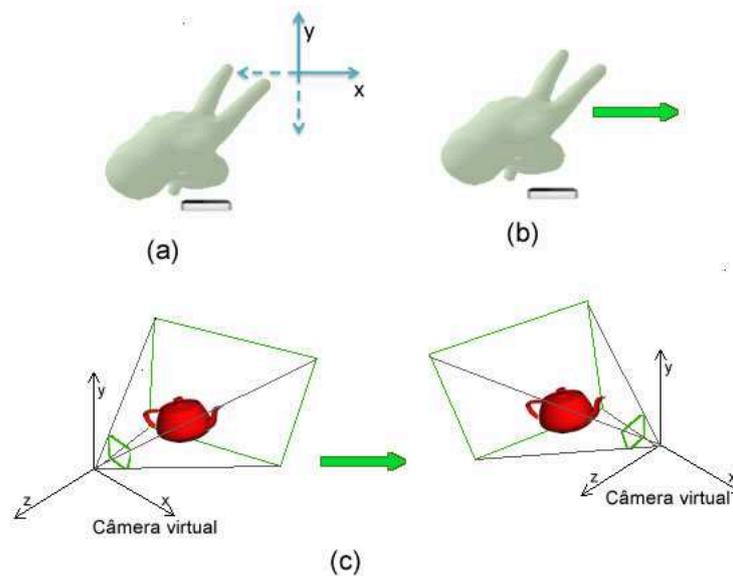


Figura 4.5: Órbita. (a) As flechas azuis ilustram a direção em que os dedos devem ser deslocados. (b) A flecha verde indica a direção em que os dedos são deslocados para realizar a órbita ilustrada em (c). (c) Comportamento da câmera ao orbitá-la para a direita.

- Órbita contínua: considere uma aplicação em que é importante visualizar continuamente todos os lados do objeto, na modelagem de um vaso de barro, por exemplo. Para isso executa-se um gesto de tapa com a mão aberta (Figura 4.6). Sobre o eixo  $x$ , o tapa é realizado para cima ou para baixo. Sobre o eixo  $y$ , o tapa é executado para a esquerda ou para a direita. A direção do tapa define a direção da órbita. Os gestos executados são curtos, apenas para definir a direção da órbita e ativá-la. A velocidade é definida anteriormente.

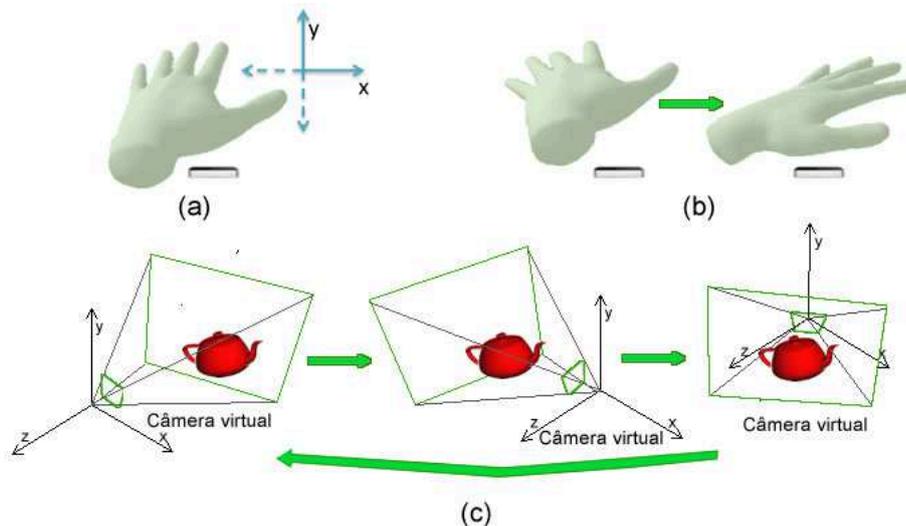


Figura 4.6: Órbita contínua. (a) As flechas azuis ilustram a direção em que o gesto de tapa pode ser executado. (b) A flecha verde indica a direção do tapa e as mãos ilustram o movimento. A órbita contínua executada a partir deste gesto é ilustrada em (c). (c) Comportamento da câmera ao realizar uma órbita contínua sobre o eixo  $y$ .

- Rotação contínua sobre o eixo  $z$ : da mesma forma que o comando anterior, o usuário pode rotacionar continuamente a câmera sobre o eixo  $z$ . Para isso o usuário executa um gesto de círculo com a mão aberta (Figura 4.7). O dispositivo fornece o vetor normal do círculo, o qual é utilizado para definir a direção da rotação. Da mesma forma que a órbita contínua, o gesto executado é curto, apenas para ativar a rotação e definir sua direção.
- Navegação: para navegar com a câmera dentro de uma cena, o usuário precisa manter a mão aberta sobre o dispositivo (Figura 4.8). A mão é considerada um plano, dessa forma a direção da câmera é estabelecida de acordo com a direção da mão, o vetor pra cima é dado pelo vetor normal do plano e a posição é alterada através de uma determinada velocidade. A direção de navegação é modificada gradativamente, com consecutivos gestos de navegação e pausa.

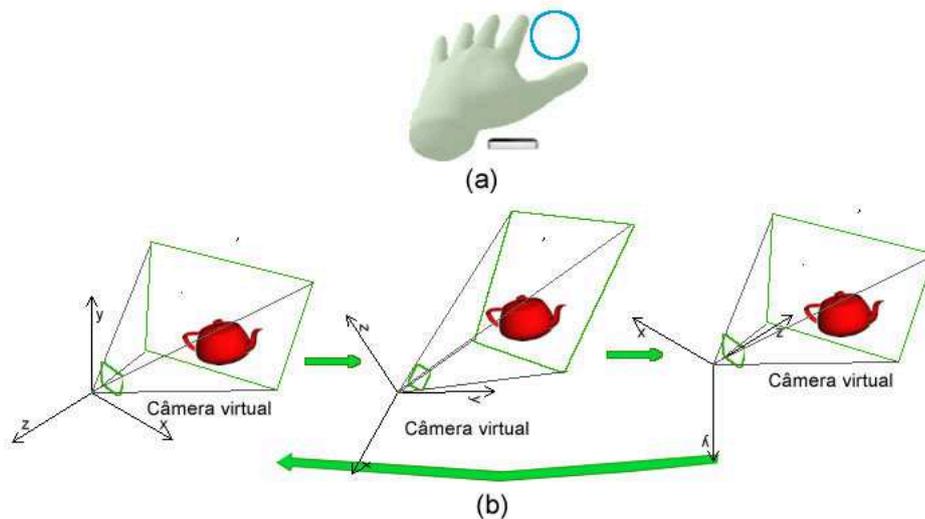


Figura 4.7: Rotação contínua. (a) O círculo azul ilustra o gesto que deve ser executado. (b) Comportamento da câmera ao realizar rotação contínua sobre o eixo z.

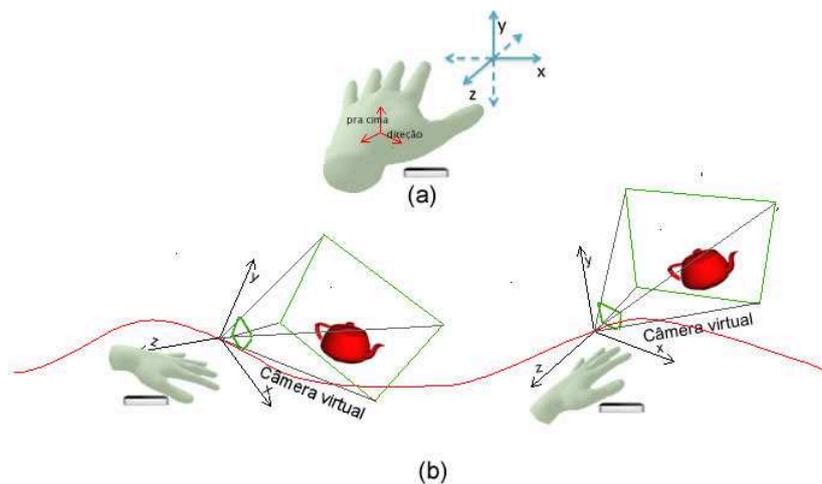


Figura 4.8: Navegação. (a) As flechas azuis indicam as direções em que a mão pode ser movimentada. (b) Comportamento da câmera ao navegar conforme a linha vermelha. Abaixo da câmera, é ilustrada a posição da mão para realizar tal movimento.

- Fixar vetor pra cima: se em uma determinada aplicação não houver a necessidade de alterar o vetor pra cima enquanto navega na cena, o usuário pode fixar o vetor pra cima (Figura 4.9). Para isso, o usuário mantém os dedos indicador, médio e anelar sobre o dispositivo, direcionados para a esquerda ou direita por um curto período de tempo. Fixado o vetor, pode prosseguir com movimentos de navegação ou qualquer outro comando. Para desfazer o vetor pra cima, basta realizar o mesmo gesto.
- Deslocar 180 graus: em uma determinada aplicação pode ser necessário verificar o lado oposto do objeto rapidamente. Para isso, o usuário pode deslocar a câmera 180 graus a



Figura 4.9: Gesto para fixar o vetor pra cima.

partir da sua posição atual, mantendo a mão aberta com a palma direcionada para cima (Figura 4.10). Para voltar a posição anterior, executa-se o mesmo gesto.

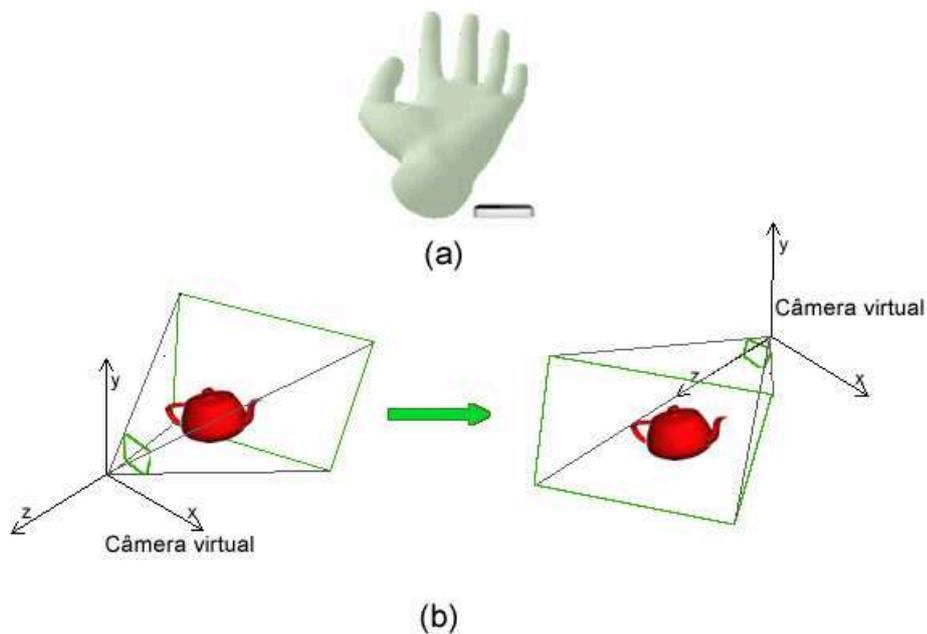


Figura 4.10: Deslocar a câmera 180 graus. (a) Pose da mão para executar o comando. (b) Comportamento da câmera ao deslocá-la 180 graus a partir da sua posição atual.

- Pause: para pausar qualquer um dos gestos citados anteriormente, o usuário deve fechar a mão sobre o dispositivo (Figura 4.11). E para retomar a interação basta realizar o gesto correspondente ao comando desejado.



Figura 4.11: Gesto para pausar a interação.

## 5 ESTUDOS DE USABILIDADE

O protótipo foi avaliado através de experimentos com usuários. Eles foram instruídos a realizar tarefas utilizando os gestos implementados e combinações de mouse e teclado, a fim de comparar os dois dispositivos de entrada. Além disso, responderam a um questionário avaliando a facilidade e intuitividade dos gestos (ver anexo 9.1). Essa é uma abordagem usual para avaliar trabalhos que envolvem interação humano-computador, como pode ser observado nos trabalhos de Balakrishnan, R. et al [4], Kratz, S. et al [16], Hachet, M. et al [8], Tan, Desney S. et al [30] e Kin, Jin-Sun. et al [14]. Nestes trabalhos são realizadas tarefas com usuários, observando o tempo utilizado para executar cada tarefa e aplicando um questionário para avaliar fatores como facilidade, intuitividade, esforço, etc.

Os experimentos foram realizados com dez voluntários, dos quais apenas um não é da área da computação. Apenas dois participantes haviam tido contato anterior com dispositivo de captura de movimentos, neste caso o dispositivo Kinect. E todos os participantes tem ou tiveram contato com jogos de interação.

As tarefas apresentadas ao usuário foram utilizadas para analisar o tempo de execução e a precisão dos gestos. O questionário obteve informações sobre a facilidade e intuitividade de realização dos gestos. O tempo de execução dos gestos é classificado como o tempo de realização de uma sub tarefa. As sub tarefas testam os gestos separadamente, de forma que ao fim do experimento o usuário tenha usado todos os gestos. A precisão dos gestos foi avaliada utilizando um círculo movimentando-se conforme a câmera, dentro do qual, o usuário deveria posicionar o objeto. Para saber qual porcentagem do objeto estava dentro do círculo, foi posto na posição do objeto, um círculo com o mesmo raio do círculo dentro do qual o objeto deve ser posicionado (Figura 5.1). Dessa forma, observou-se quais vértices do círculo que envolve o objeto se encontrava dentro do outro círculo.

### 5.1 Experimento: Encontrar objeto alvo

A cena utilizada para este experimento consiste em um conjunto de objetos posicionados aleatoriamente dentro de uma determinada área e um círculo posicionado frente à câmera e movendo-se de acordo com ela. Dentre os objetos, existe um, chamado de objeto alvo, que possui cor diferente dos demais. Há dois tipos de cenas. Na primeira, os objetos estão dispostos em uma área com medidas 15x15x15 unidades de medida e o círculo possui raio de 2 unidades

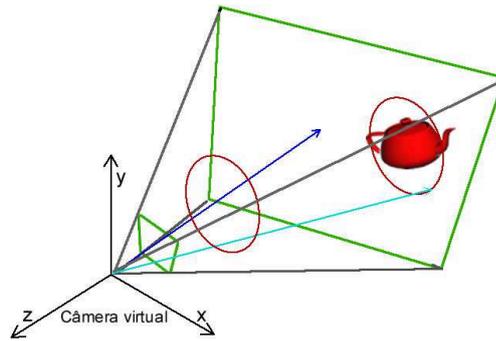


Figura 5.1: Representação sobre como determinou-se que o objeto estava posicionado dentro do círculo. Foi posto um círculo na posição do objeto, e calculado a direção da câmera até cada ponto deste novo círculo (seta azul claro). Dessa forma analisando em relação a direção da câmera (seta azul escuro), quantos vértices estavam dentro do círculo principal.

de medida (Figura 5.2). Na segunda, a área de disposição é de 30x30x30 unidades de medida e o círculo possui metade do tamanho do raio anterior (Figura 5.3).

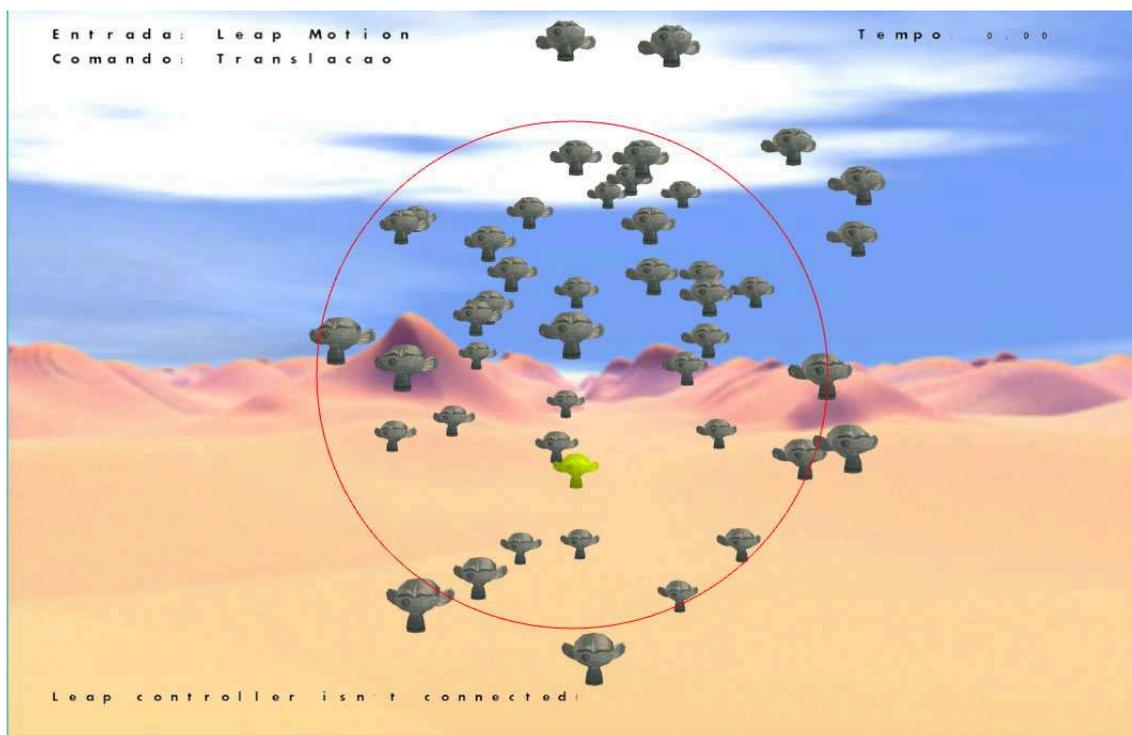


Figura 5.2: Primeiro cenário da tarefa de encontrar um objeto alvo.

O objetivo do experimento é encontrar o objeto alvo utilizando comandos de translação ou navegação, posicionar a câmera em uma determinada distância do objeto e posicionar o círculo de forma que o objeto fique dentro dele. Após realizada esta etapa da tarefa, o usuário foi instruído a realizar comandos para evidenciar o alvo, ou seja, comandos que não podem ser usados para movimentar-se dentro da cena como rotação sobre o eixo z, órbita sobre os eixos



Figura 5.3: Segundo cenário da tarefa de encontrar um objeto alvo.

x e y, zoom, órbita contínua sobre os eixos x e y, rotação contínua sobre o eixo z e mover a câmera 180 graus, conforme o formato da tarefa. A estrutura das tarefas pode ser observada na Tabela 5.1.

Cada comando executado dentro da tarefa é considerado uma subtarefa, a partir da qual obtém-se o tempo de execução do gesto. Para testar a rotação sobre os eixos x e y, os objetos foram distribuídos aleatoriamente e o objeto alvo foi posicionado a 90 graus da câmera respeitando um determinado raio. Neste cenário, o usuário precisa realizar os movimentos de rotação para encontrar o objeto.

Ao final das tarefas citadas na Tabela 5.1, foi realizado uma tarefa cujo objetivo era verificar a eficiência da caracterização dos gestos. Para executá-la todos os comandos e gestos estavam ativos e o usuário deveria escolher dois comandos, o primeiro comando era usado para encontrar o objeto alvo e o segundo, para evidenciar o objeto.

## 5.2 Experimento: Seguir um caminho

A cena utilizada para este experimento consiste em um caminho, um objeto se movimentando de acordo a seguir a rua e um círculo que se move de acordo com a câmera. O objetivo do experimento é navegar pelo caminho, mantendo o objeto dentro do círculo e dentro

Tarefa	Comando para encontrar o alvo	Comando para evidenciar o alvo
1	Translação	Rotação sobre o eixo z
2	Navegação	Órbita sobre o eixo x
3	Translação	Órbita sobre o eixo y
4	Navegação	Zoom
5	Translação	Órbita contínua sobre o eixo x
6	Navegação	Órbita contínua sobre o eixo y
7	Translação	Rotação contínua sobre o eixo z
8	Navegação	Mover 180 graus
9	Rotação sobre o eixo x	
10	Rotação sobre o eixo y	

Tabela 5.1: Estrutura das tarefas de encontrar um alvo.

de uma determinada distância da câmera. O intuito dessa tarefa foi verificar a usabilidade da navegação, com e sem o vetor "para cima" fixado.

Há quatro formatos de caminhos e duas tarefas em cada caminho. Na primeira tarefa, o usuário segue a rua utilizando a navegação com todas as suas funções ativas. Na segunda tarefa, o usuário é instruído a fixar o vetor pra cima e então navegar na cena. Os caminhos diferem pelo comprimento e concavidade das curvas, característica esta que modifica a dificuldade do caminho. Os caminhos foram colocados na tarefa na ordem mostrada na Figura 5.4.

Sobre o tempo de execução, foi observado o tempo para realizar o gesto para fixar o vetor para cima e o tempo para percorrer o caminho. Sobre a precisão dos gestos, observa-se o tempo que o usuário manteve o objeto dentro do círculo e na distância determinada, e a porcentagem do objeto que foi mantido dentro do círculo.

### 5.3 Comparação entre os modos de entrada

Para comparar a usabilidade entre os gestos e as combinações de mouse e teclado, os experimentos descritos acima foram realizados por ambos os modos. Os gestos podem ser vistos no Capítulo 4. As combinações de mouse e teclado foram feitas baseadas no formato usado para movimentar a câmera em aplicativos como Blender [5] e AutoCAD [3]. Alguns comandos como órbita e rotação contínua, translação, rotações, etc., para os quais não havia uma base, foi proposta a abordagem apresentada na Tabela 5.2.

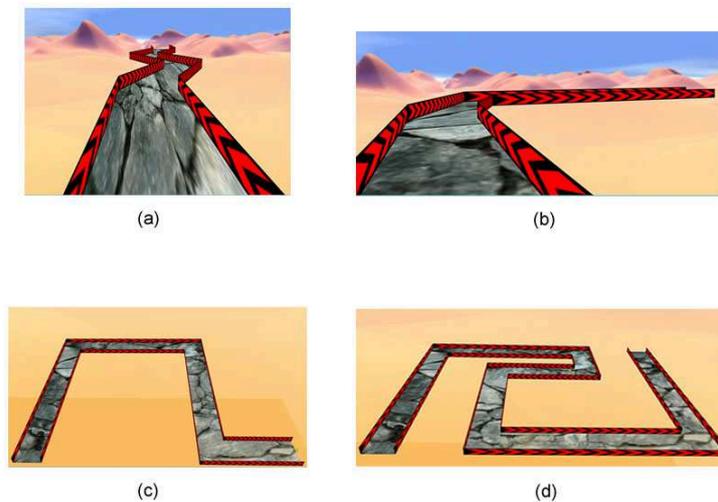


Figura 5.4: Caminhos utilizados para o experimento. (a) Nível 1: Apenas para introduzir a tarefa para o participante. (b) Nível 2: As curvas íngremes começam a ser apresentada para que o participante treine a mudança de direção da navegação. (c) e (d) Níveis 3 e 4: Diferem no comprimento, ambos possuem curvas de 90 graus.

Comando	Combinação
Navegação e Translação	Teclas <i>UP</i> ou <i>W</i> (pra frente), <i>DOWN</i> ou <i>S</i> (pra trás), <i>LEFT</i> ou <i>A</i> (pra esquerda), <i>RIGHT</i> ou <i>D</i> (pra direita), <i>SHIFT</i> + ( <i>DOWN</i> ou <i>S</i> ) (pra baixo), <i>SHIFT</i> + ( <i>UP</i> ou <i>W</i> ) (pra cima).
Rotação sobre o eixo z	Clicar com o botão direito do mouse e arrastá-lo para frente ou para trás.
Rotação sobre os eixos x e y	Clicar com o botão esquerdo do mouse e arrastá-lo para esquerda ou direita (eixo y) ou para frente ou para trás (eixo x).
Órbita sobre os eixos x e y	Clicar com a roda do mouse e arrastá-lo para esquerda ou direita (eixo y) ou frente ou trás (eixo x).
Zoom	Rolar a roda do mouse para frente ou trás.
Mover 180 graus	Tecla <i>TAB</i> .
Fixar o vetor pra cima	Tecla <i>U</i> .
Rotação contínua sobre o eixo z	Apertar a tecla <i>Z</i> e mover o mouse para frente ou para trás.
Órbita contínua sobre o eixo y	Apertar a tecla <i>Y</i> e mover o mouse para esquerda ou direita.
Órbita contínua sobre o eixo x	Apertar a tecla <i>X</i> e mover o mouse para frente ou para trás.

Tabela 5.2: Combinações de mouse e teclado para realizar os comandos propostos.

## 6 RESULTADOS

Nas seguintes seções são apresentadas as análises sobre tempo de execução e precisão dos gestos e sobre o questionário respondido pelos usuários a respeito das tarefas executadas.

### 6.1 Tarefa: Procurar objeto alvo

Como dito anteriormente, cada tarefa foi dividida em sub tarefas a fim de testar cada um dos gestos propostos, comparando-os com combinações de mouse e teclado. Sendo assim, nesta seção serão apresentados os tempos de execução das sub tarefas, o tempo utilizado para posicionar o círculo e a quantidade do objeto posicionada dentro do círculo.

#### 6.1.1 Tempo de execução

No primeiro cenário da tarefa, os usuários tiveram dificuldade para realizar alguns gestos, principalmente, aquele que executa a rotação sobre o eixo z. Isto ocorreu por que, manter os três dedos correspondentes ao gesto estendidos, exigiu muito esforço de alguns usuários. O tempo médio de execução deste gesto foi de 2 minutos. Enquanto, para realizar o gesto que move a câmera a 180 graus, por exemplo, o tempo médio foi de aproximadamente 0,6 segundos. No anexo 9.2 são apresentados os dados completos de todos os participantes para cada gesto. Pode ser observado que a disparidade não permanece apenas entre gestos, mas se estende aos participantes, cada um apresentou um diferente grau de dificuldade para realizar as tarefas.

No segundo cenário, quando os usuários já haviam utilizado todos os gestos, a maioria conseguiu executar as tarefas mais rapidamente e com menor dificuldade. Neste cenário o tempo médio de execução dos gestos mais longos, rotação sobre o eixo z e órbita sobre o eixo x, ficou em torno de 50 segundos. O gesto mais curto, foi ainda o gesto para mover a câmera a 180 graus, e teve tempo médio de 1,5 segundos. O gráfico mostrado na Figura 6.1 apresenta o tempo de execução dos gestos no primeiro e segundo cenários.

O segundo cenário tem diferenças estruturais em relação ao primeiro, como apresentado no capítulo anterior. No entanto, mesmo com essas diferenças, a prática obtida ao executar as tarefas do primeiro cenário possibilitaram um melhor desempenho no segundo cenário. Neste contexto, é possível supor que se os usuários forem treinados anteriormente, poderão executar os gestos com facilidade e eficiência.

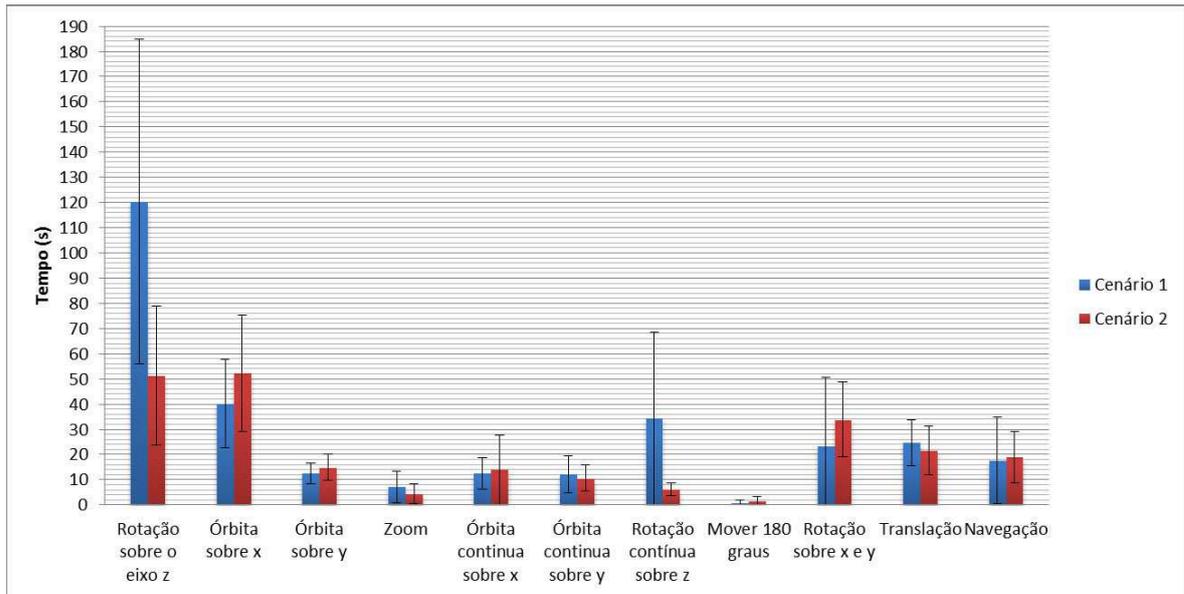


Figura 6.1: Tempos de execução das sub tarefas no primeiro e segundo cenários utilizando gestos. Valores detalhados podem ser encontrados no Anexo 9.2: Figuras 9.6 e 9.7.

Para executar as tarefas utilizando as combinações de mouse e teclado, os usuários não apresentaram dificuldades ao realizar os comandos, visto que este tipo de entrada é usual e todos os participantes estavam familiarizados com os dispositivos. O gráfico mostrado na Figura 6.2 apresenta os tempos médios de execução das tarefas com mouse e teclado no primeiro e no segundo cenário. Observando o gráfico nota-se que há pouca diferença entre um e outro cenário.

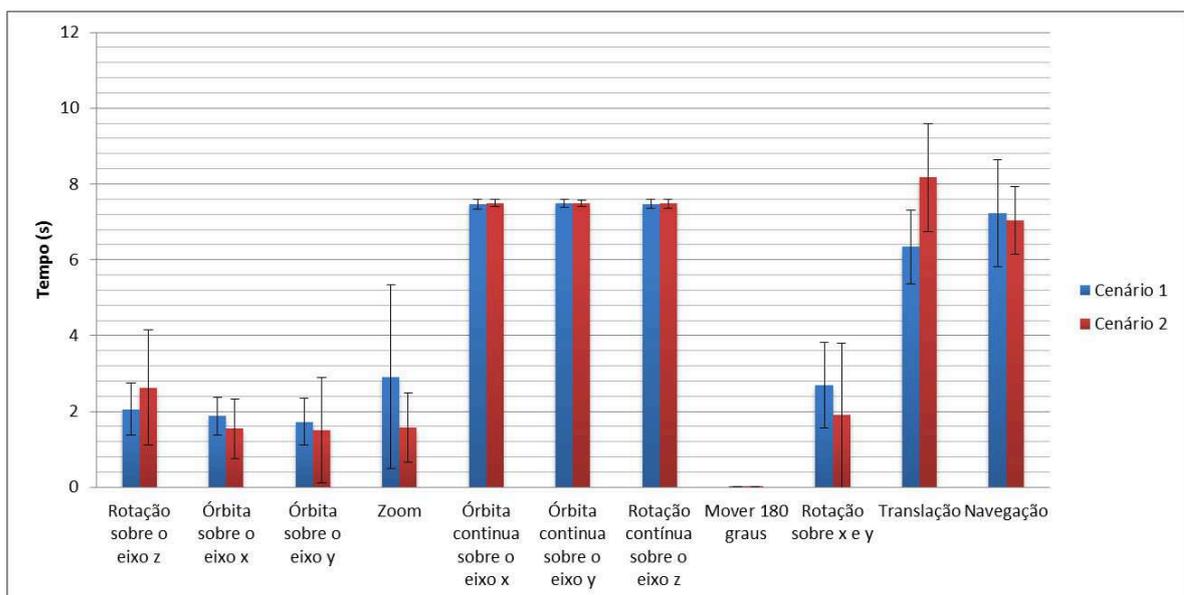


Figura 6.2: Tempos de execução das sub tarefas no primeiro e segundo cenários utilizando comandos de mouse e teclado. Valores detalhados podem ser encontrados no Anexo 9.2: Figuras 9.12 e 9.13.

Os experimentos mostraram que para executar as tarefas utilizando gestos, o tempo con-

sumido é relativamente maior do que executar as mesmas tarefas utilizando mouse e teclado.

### 6.1.2 Tempo para posicionar o círculo

Independente do cenário, os participantes realizaram a tarefa mais rapidamente utilizando a translação e apresentaram dificuldades ao utilizar a navegação. Isto pode ser observado no gráfico mostrado na Figura 6.3, o qual apresenta os tempos médios para posicionar o círculo no primeiro e segundo cenários, utilizando os gestos propostos. O tempo para posicionamento do círculo aumenta conforme seu tamanho diminui. Isto ocorre pois, no primeiro cenário, o círculo tem o dobro do tamanho do círculo que envolve o objeto, facilitando seu posicionamento. Enquanto que, no segundo cenário, o círculo possui o mesmo tamanho do círculo que envolve o objeto.

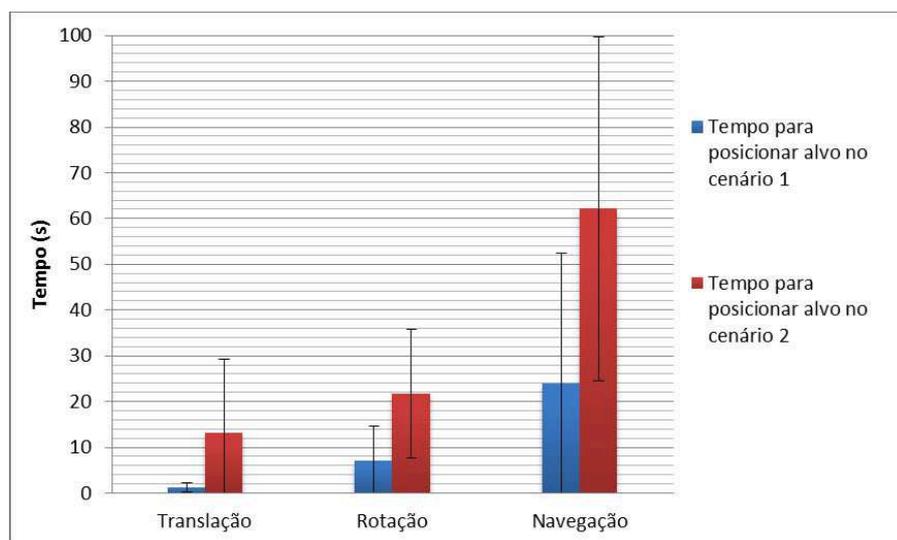


Figura 6.3: Tempo para posicionar o círculo no primeiro e segundo cenários utilizando gestos. Valores detalhados podem ser encontrados no Anexo 9.2: Figuras 9.8 e 9.9.

Realizando a tarefa com combinações de mouse e teclado, o tempo para posicionar o círculo foi relativamente menor do que utilizando os gestos. O comando que mais exigiu dos participantes foi a rotação, obtendo um tempo médio de, aproximadamente, 0,8 segundos no primeiro cenário. No segundo cenário, por sua vez, o comando que exigiu mais tempo foi a translação com média de, aproximadamente, 1,20 segundos. Isto pode ser observado no gráfico mostrado na Figura 6.4, o qual apresenta os tempos médios para posicionar o alvo dentro do círculo, utilizando as combinações de mouse e teclado para translação, rotação e navegação, no primeiro e segundo cenários.

Tanto com os gestos, quanto com mouse e teclado, a diferença entre um cenário e outro

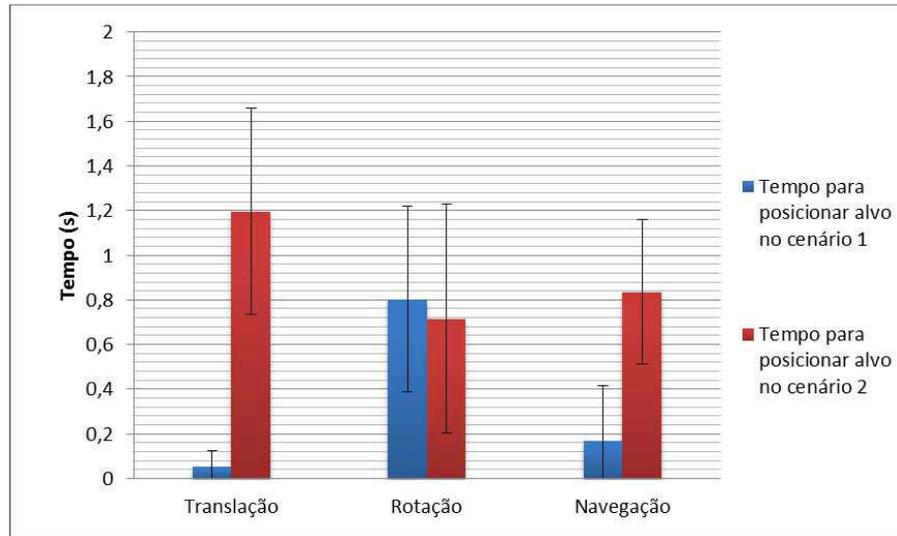


Figura 6.4: Tempo para posicionar o círculo no primeiro e segundo cenários utilizando combinações de mouse e teclado. Valores detalhados podem ser encontrados no Anexo 9.2: Figuras 9.14 e 9.15.

foi pequena. No entanto, comparando os gestos com mouse e teclado, observa-se que, independente do tamanho do círculo apresentado ao usuário, a tarefa exigiu mais tempo utilizando gestos.

### 6.1.3 Quantidade do objeto dentro do círculo

Realizando a tarefa com os gestos, no primeiro cenário, com o círculo maior, os participantes conseguiram posicionar mais de 90% do objeto dentro do círculo. Enquanto que, no segundo cenário, esta quantidade reduziu para aproximadamente 80%. Da mesma forma que para posicionar o objeto, colocá-lo por completo dentro do círculo exige maior esforço conforme o tamanho do círculo reduz.

O gráfico mostrado na Figura 6.5 apresenta a quantidade do objeto posicionada dentro do círculo no primeiro e segundo cenários utilizando gestos, onde pode ser observada a diferença apresentada acima.

Ao utilizar as combinações de mouse e teclado para realizar a tarefa, os participantes conseguiram manter até 98% do objeto dentro do círculo, utilizando translação. No geral, mantiveram mais de 85% do objeto dentro do círculo, independente do tamanho. O gráfico mostrado na Figura 6.6 apresenta o percentual da quantidade do objeto posto dentro do círculo no primeiro e segundo cenários para o uso de teclado e mouse.

Devido a restrição inicial, que estabelece que pelo menos 75% do objeto deveria estar

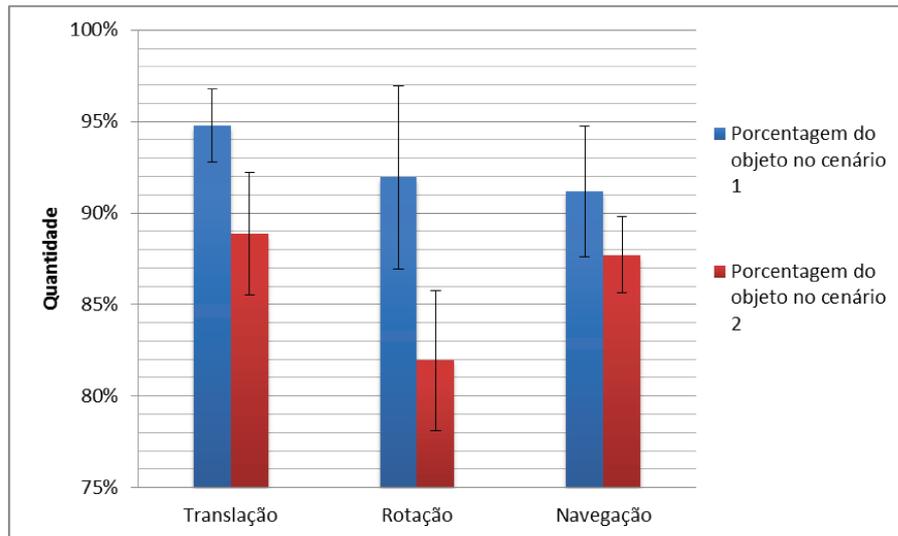


Figura 6.5: Quantidade do objeto posicionada dentro do círculo no primeiro e segundo cenários utilizando gestos. Valores detalhados podem ser encontrados no Anexo 9.2: Figuras 9.10 e 9.11.

dentro do círculo para a tarefa ser considerada completa, a diferença na quantidade do objeto dentro do círculo com gestos ou mouse e teclado foi pequena. Ainda assim, observa-se que há melhor desempenho utilizando combinações de mouse e teclado.

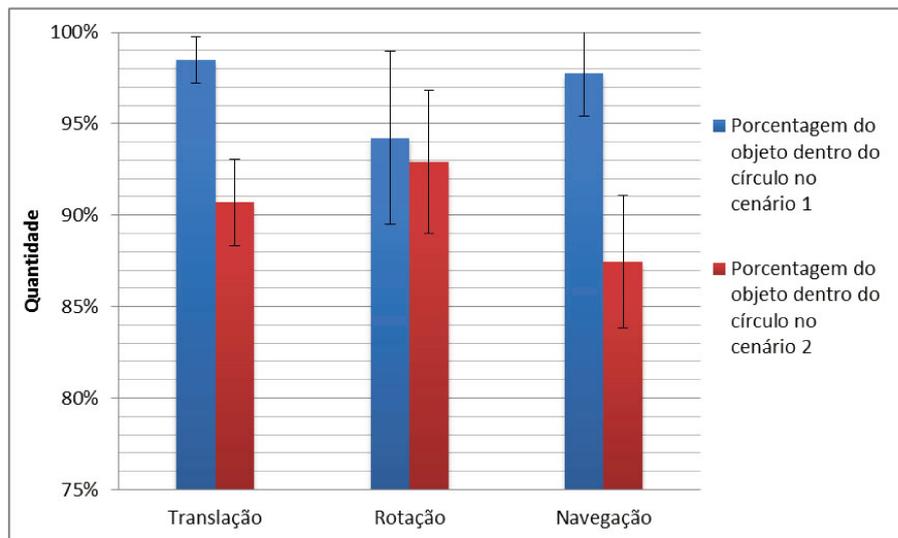


Figura 6.6: Quantidade do objeto posicionada dentro do círculo no primeiro e segundo cenários utilizando combinações de mouse e teclado. Valores detalhados podem ser encontrados no Anexo 9.2: Figuras 9.16 e 9.17.

## 6.2 Tarefa: Seguir um percurso

Nesta tarefa foi observado o tempo total para percorrer o percurso, o tempo mantendo o objeto dentro do círculo, o tempo mantendo o objeto dentro de uma distância determinada e a quantidade do objeto mantida dentro do círculo (explicação no Capítulo 5). Além dessas métricas obtidas ao longo do percurso, a tarefa tem por objetivo testar o gesto para fixar o vetor "para cima", dessa forma cada percurso foi realizado duas vezes, uma vez com a navegação normal, e na outra vez, fixando o vetor "para cima".

Por se tratar de um gesto estático, os participantes realizaram o comando para fixar o vetor "para cima" rapidamente. Para ambas as entradas os tempos obtidos foram próximos, como observado no gráfico mostrado na Figura 6.7.

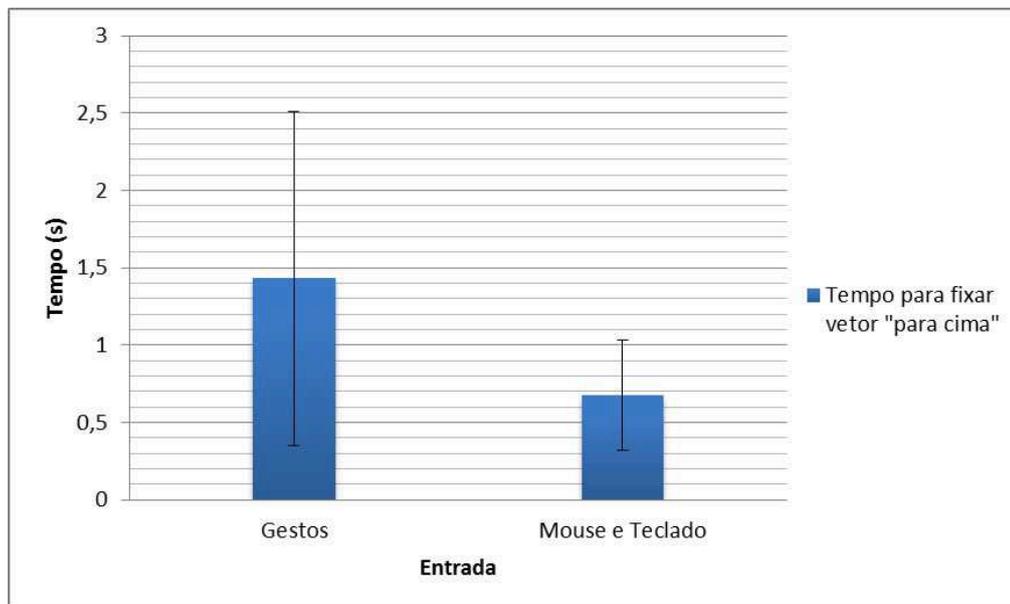


Figura 6.7: Tempo para fixar o vetor "pra cima" utilizando gestos e combinações de mouse e teclado. Os valores detalhados podem ser observados no Anexo 9.3: Tabela 9.24.

### 6.2.1 Tempo para percorrer o caminho

Como pode ser observado no gráfico mostrado na Figura 6.8, o primeiro percurso foi completado rapidamente, pois não possui curvas fechadas, permitindo uma navegação suave. Já no segundo percurso, que possui uma curva mais fechada que no anterior, o tempo de execução foi maior para todos os participantes. No entanto, se manteve próximo ao tempo obtido no percurso anterior. Ao chegar no terceiro percurso, os participantes começaram a apresentar dificuldades, pois as curvas são mais fechadas e eles precisavam usar o gesto para mudança

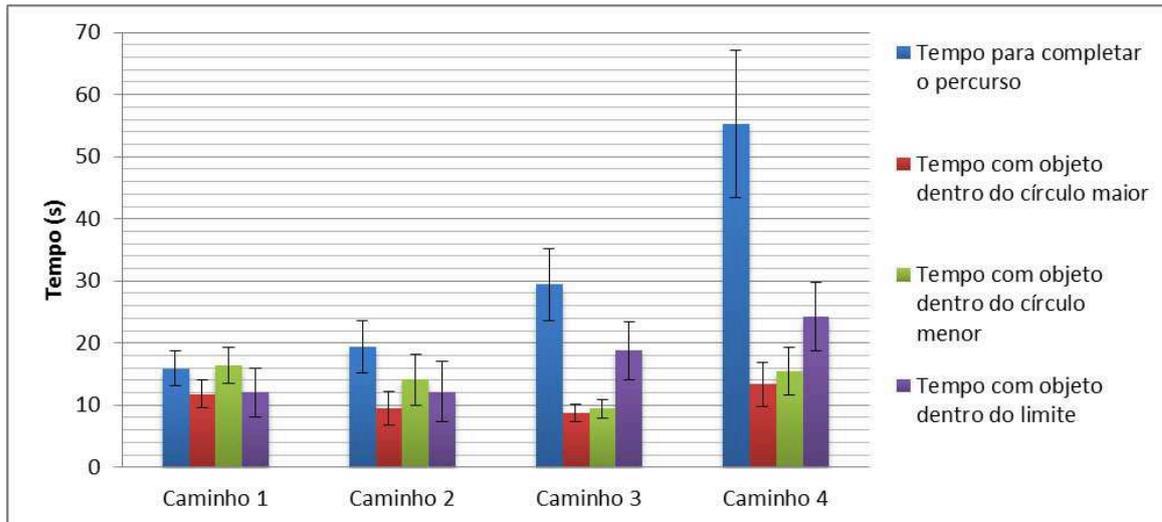


Figura 6.8: Tempos para completar o caminho, mantendo o objeto dentro do círculo e dentro da distância determinada utilizando gestos. Os valores detalhados podem ser encontrados no Anexo 9.3: Seção 9.3.2.

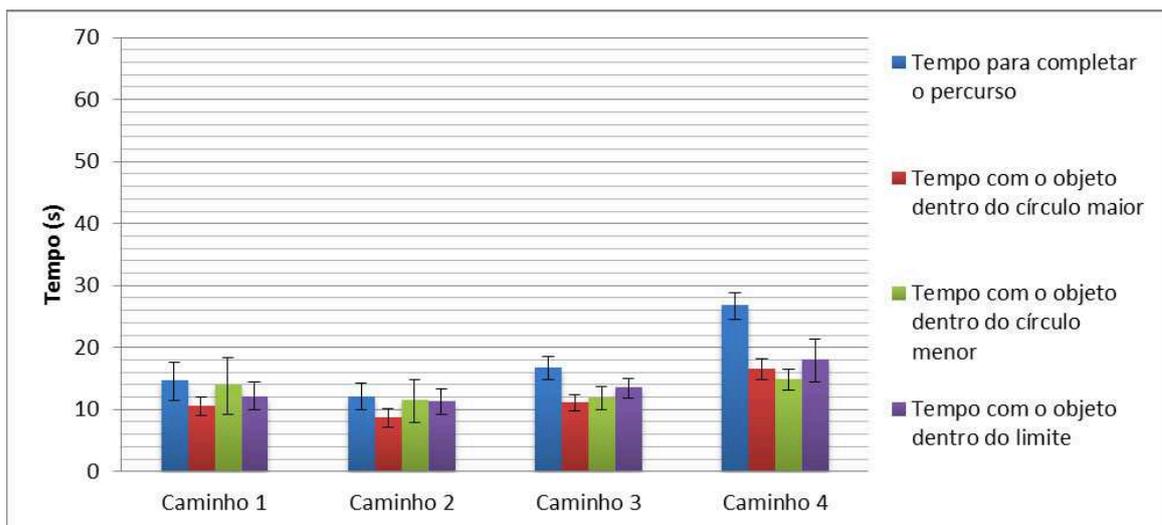


Figura 6.9: Tempos para completar o caminho, mantendo o objeto dentro do círculo e dentro da distância determinada utilizando combinações de mouse e teclado. Os valores detalhados podem ser encontrados no Anexo 9.3: Seção 9.3.3.

de direção da navegação frequentemente. Este gesto mostrou-se ineficiente, pois os usuários precisam repetir muitas vezes o mesmo movimento para mudar a direção da câmera, tornando o gesto cansativo. No quarto percurso, o tempo de execução foi maior que todos os outros percursos, pois este é mais longo que os demais e possui mais curvas.

Este aumento do tempo conforme mudança do percurso era esperado, uma vez que quanto maior o percurso, também mais tempo é necessário para passar por toda sua extensão. Além disso, não houve grande diferença no tempo de execução da tarefa entre os participantes.

Ao completar os caminhos utilizando a navegação com mouse e teclado, o tempo para

execução da tarefa foi menor que o tempo para realizar a tarefa com os gestos, como pode ser observado no gráfico mostrado na Figura 6.9. No entanto, o desempenho do usuários foi parecido no primeiro percurso, onde o tempo médio foi praticamente o mesmo, ficando em torno de 15 segundos. A partir do segundo percurso, o desempenho foi melhor com mouse e teclado, neste, os participantes obtiveram uma diferença de aproximadamente 7 segundos a mais utilizando os gestos. No terceiro percurso, os participantes levaram em média 13 segundos a mais para executar a tarefa com os gestos. Houve maior diferença no quarto percurso, onde os participantes tomaram em média 29 segundos a mais para navegar no caminho com os gestos.

Os resultados apresentados na seção 6.1, sobre a tarefa de encontrar um alvo, mostram que os participantes tiveram melhor desempenho utilizando as combinações de mouse e teclado. No entanto, houve uma melhora no desempenho dos usuários ao utilizarem os gestos pela segunda vez. E, para encontrar o objeto alvo, os participantes utilizaram diversas vezes o gesto de navegação, permitindo melhor desempenho deste comando na próxima tarefa. Isto nos permite observar que, de fato, com treinamento, os gestos podem ser executados com eficiência.

#### 6.2.2 Tempo mantendo o objeto dentro do círculo

As tarefas eram compostas por dois tamanhos de círculos. O participante foi instruído a percorrer o percurso duas vezes. Na primeira vez, foi apresentado o círculo maior, e na segunda, o círculo menor. Dessa forma, para recolher os tempos para percorrer os percursos, foi observada a média entre as duas execuções. O tempo que o participante manteve o objeto dentro do círculo foi analisado separadamente, para cada tamanho de círculo.

Independente do tamanho do círculo, o percentual de tempo mantendo dentro do círculo reduziu a cada novo percurso. Isto ocorre, pois a cada nível, o caminho possui mais curvas ou curvas mais íngremes, obrigando o usuário a utilizar várias vezes o comando para mudar a direção da câmera enquanto navega, o qual mostrou-se trabalhoso e cansativo. No entanto, os participantes melhoraram seu desempenho ao executar o caminho pela segunda vez. Isto pode ser observado no gráfico mostrado na Figura 6.8, que apresenta o tempo, em segundos, mantendo o objeto dentro do círculo.

Da mesma forma, para as combinações de mouse e teclado, o tempo reduziu a cada percurso. No entanto, essa variação foi relativamente menor que os dados extraídos da execução da tarefa com os gestos. O gráfico mostrado na Figura 6.9 apresenta o tempo médio, em segundos, que os participantes mantiveram o objeto dentro do círculo em cada percurso.

No primeiro percurso ambas as entradas apresentaram desempenho parecido. A partir do segundo percurso, as combinações de mouse e teclado tiveram melhor desempenho. Além disso, utilizando mouse e teclado, o desempenho teve pouca variação entre um percurso e outro, o contrário dos resultados apresentados ao executar a tarefa com os gestos, na qual, para o círculo menor, houve variação de, aproximadamente, 70% do tempo entre o primeiro e o último percurso.

### 6.2.3 Tempo mantendo o objeto dentro da distância determinada

Para avaliar se o usuário conseguia percorrer o caminho suavemente, foi observado o tempo que ele manteve o objeto dentro de uma determinada distância (35 unidades de medida).

Executando a tarefa com os gestos, o tempo mantendo o objeto dentro da distância determinada reduziu conforme a mudança de percurso, obtendo variação de aproximadamente 32% do tempo entre o primeiro e o último percurso. Os tempos são apresentados em segundos no gráfico mostrado na Figura 6.8.

Ao utilizar as combinações de mouse e teclado, o desempenho dos participantes foi melhor, com uma diferença de 16% do tempo entre o primeiro e o último percurso. Isto pode ser observado no gráfico mostrado na Figura 6.9, onde é apresentado o tempo médio, em segundos, que os participantes mantiveram o objeto dentro do círculo para cada percurso.

O desempenho da tarefa foi melhor utilizando as combinações de mouse e teclado. A variação de tempo entre os caminhos foi maior utilizando os gestos, possivelmente, pela diferença entre o formato dos caminhos. Conforme as curvas são mais íngremes, também a dificuldade para acompanhar o caminho e o objeto é maior.

### 6.2.4 Quantidade do objeto mantida dentro do círculo

Assim como o tempo do participante mantendo o objeto dentro do círculo, a quantidade do objeto foi analisada para os dois tamanhos de círculo apresentados ao participante.

Independente do tamanho do círculo e da entrada, a quantidade do objeto mantida dentro do círculo reduziu a cada percurso. No primeiro percurso, os resultados foram semelhantes para ambas as entradas. A partir do segundo percurso, os participantes apresentaram melhores resultados executando a tarefa com as combinações de mouse e teclado. Isto pode ser observado nos gráficos mostrados nas Figuras 6.10 e 6.11, os quais apresentam a quantidade média do objeto mantida dentro dos círculos maior e menor, respectivamente.

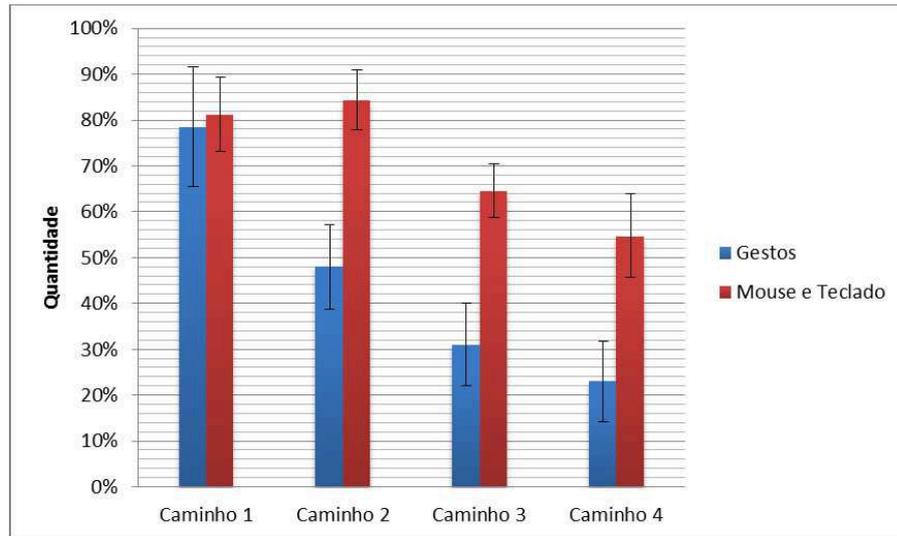


Figura 6.10: Quantidade do objeto mantida dentro do círculo maior, utilizando gestos (barras azuis) e combinações de mouse e teclado (barras vermelhas). Valores detalhados podem ser encontrados no Anexo 9.3: Seções 9.3.2 e 9.3.3.

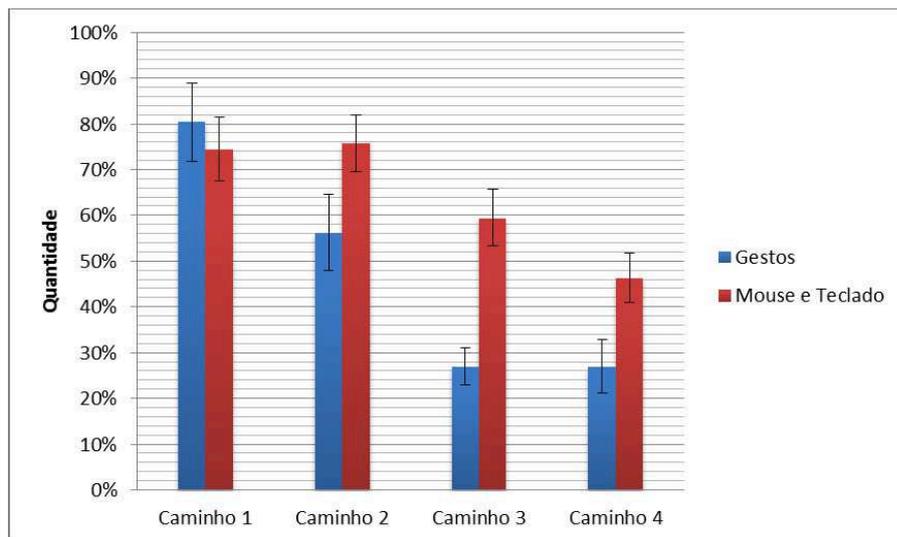


Figura 6.11: Quantidade do objeto mantida dentro do círculo menor, utilizando gestos (barras azuis) e combinações de mouse e teclado (barras vermelhas).

### 6.3 Questionário

Durante a realização das tarefas foi aplicado um questionário para saber a opinião dos participantes em relação a intuitividade e facilidade dos gestos.

No geral os participantes acharam os gestos intuitivos, como pode ser observado no gráfico mostrado na Figura 6.12. A maior crítica neste aspecto foi em relação ao gesto para fixar o vetor "pra cima", o qual os participantes não acharam intuitivo.

Em relação a dificuldade de execução dos gestos, a maioria dos gestos foi classificado

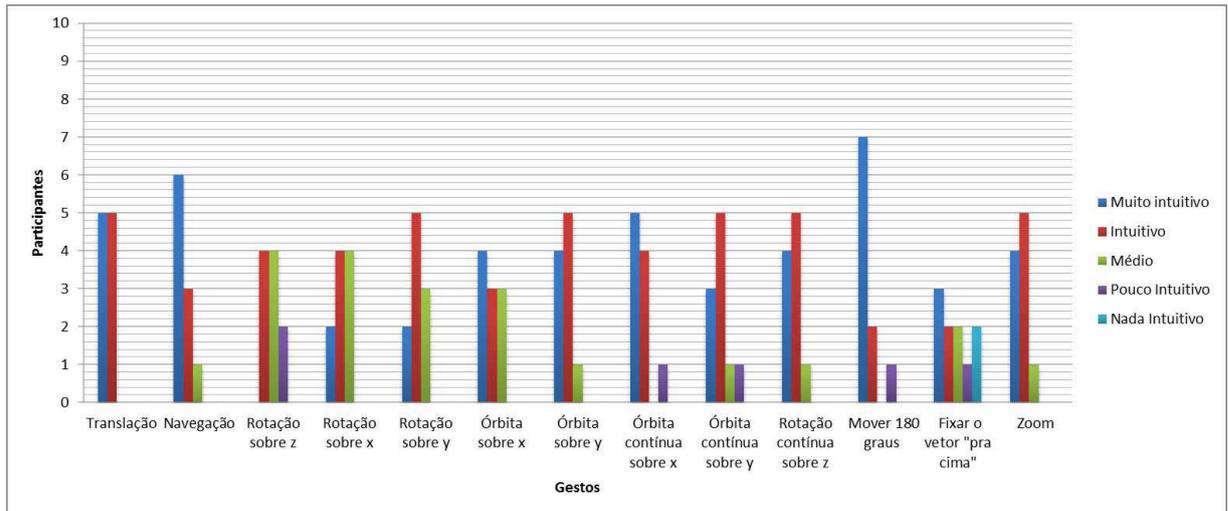


Figura 6.12: Opinião dos participantes em relação a intuitividade dos gestos.

como fácil ou muito fácil, como pode ser observado no gráfico mostrado na Figura 6.13. Os gestos que receberam avaliações negativas neste aspecto, na sua maioria, foram aqueles que utilizam três dedos, a navegação, por necessitar de gestos repetitivos para mudar a direção da câmera, e a rotação contínua sobre o eixo z, na qual muitos participantes apresentaram dificuldade em realizar o gesto na velocidade e precisão requisitada.

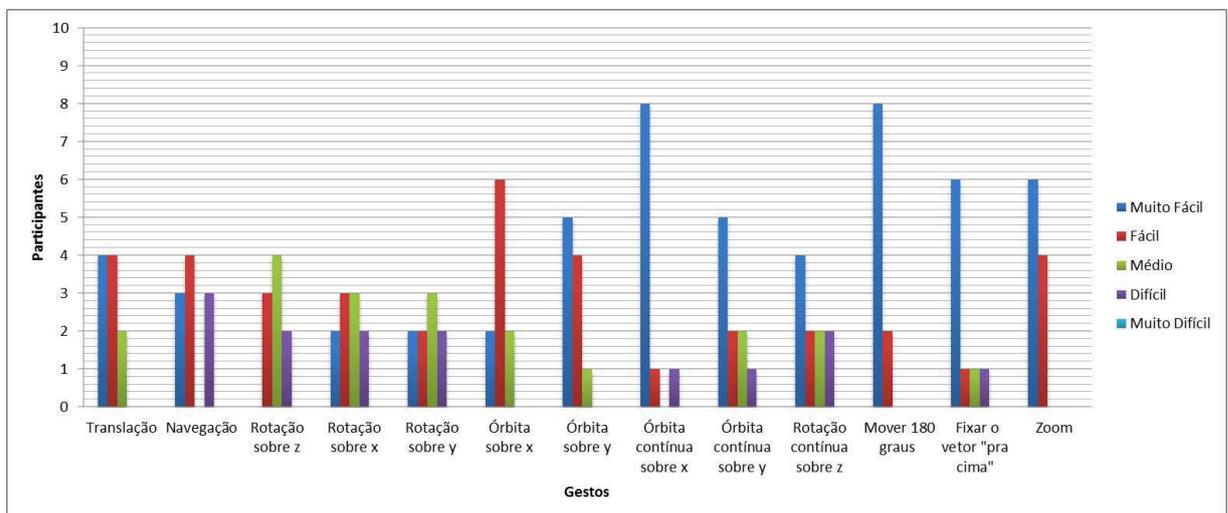


Figura 6.13: Opinião dos participantes em relação a dificuldade de execução dos gestos.

Ao analisar o tempo de execução das tarefas pode-se perceber que os participantes tiveram dificuldades em posicionar o objeto dentro do círculo conforme o seu tamanho. No questionário, os participantes opinaram confirmando isso, de fato, ao realizar as tarefas com o círculo maior eles acharam a tarefa fácil. Com o círculo menor, utilizando a translação, a opinião dos usuários ficou entre fácil e médio. No entanto, ao utilizar o comando de navegação,

eles afirmaram ter mais dificuldade.

Da mesma forma que na tarefa anterior, sobre a tarefa de manter o objeto dentro do círculo enquanto percorria o caminho, os participantes afirmaram no questionário o que havia sido concluído através da análise do tempo de execução. Nos caminhos que possuem mais curvas e curvas mais íngremes, os participantes afirmaram ter maior dificuldade em realizar a tarefa. Enquanto que, nos caminhos com curvas suaves, a tarefa foi mais fácil de ser executada. O mesmo ocorre para a tarefa de manter o objeto dentro de uma determinada distância, conforme as curvas são mais bruscas aumenta sua dificuldade.

A maioria dos usuários relatou ser difícil realizar algumas tarefas pelo pouco ou nenhum contato com sensores de movimentos. Também comentaram que com treinamento os gestos se tornariam fáceis de executar e o protótipo poderia ser utilizado com facilidade.

Outro aspecto observado pelos participantes foi a necessidade de realizar várias vezes o mesmo gesto para executar determinada tarefa como, por exemplo, procurar um objeto na cena utilizando a translação. Como a translação da câmera ocorre a partir do deslocamento do dedo sobre o dispositivo, o usuário precisa realizar esse deslocamento repetidamente para se movimentar pela cena.

No espaço aberto a críticas e sugestões, alguns sugeriram que na navegação, para mudar a direção da câmera, seria mais intuitivo se a direção continuasse mudando enquanto a mão estivesse inclinada, ao invés de repetir o gesto até alcançar a direção de visão desejada. Além disso, foi sugerido que a velocidade da câmera fosse modificada conforme a aceleração dos gestos, melhorando a precisão de movimentos curtos.

Ao colocar a mão sobre o dispositivo, ele reconhece o gesto e inicia a interação. Isto foi complicado para alguns participantes, que observaram que esse início repentino dificulta a sua localização na cena. Sugeriram que o usuário deveria determinar o início da interação. E, como alguns participantes apresentaram dificuldade ao realizar os gestos com três dedos, sugeriram que o gesto não fosse feito dessa maneira.

As respostas completas dos participantes podem ser encontradas no Anexo 9.1.

## 7 DISCUSSÃO

Durante o desenvolvimento do protótipo, percebeu-se que a nova versão do software disponibilizado pelo Leap Motion não era compatível com a versão do hardware acessível no momento, apresentando problemas em relação a identificação dos dedos. Uma versão anterior do software, a qual é compatível com o hardware, não identifica os dedos, impedindo que a implementação fosse realizada da forma que foi proposta.

Entre os problemas apresentados, alguns dedos não eram rastreados corretamente, sendo confundidos com outros e os dedos menores (polegas e mínimo) não puderam ser utilizados como forma de diferenciação dos gestos, pois não eram reconhecidos devidamente e, eventualmente, nem ao menos rastreados. Para resolver este problema, comprou-se outro dispositivo. No entanto, como ele é importado, a entrega foi realizada depois que o protótipo estava pronto e não restava tempo para adequar o software ao novo dispositivo.

Durante a execução dos experimentos, observou-se que alguns gestos, como o gesto que executa rotação sobre o eixo z, foram difíceis de serem realizados, pois o dispositivo apresentou problemas em identificar corretamente os dedos. Por exemplo, se os dedos estiverem muito próximos um do outro, o dispositivo tem dificuldade de identificá-los. Além disso, aparentemente, o sensor precisa se adaptar a mão do indivíduo. Mesmo condicionando o dispositivo a reconhecer os dedos independente de sua orientação, ele apresentou falhas neste sentido.

Ao executar a tarefa de encontrar um alvo com todos os gestos ativos simultaneamente, alguns gestos foram confundidos com outros, por exemplo, ao executar o gesto que move a câmera a 180 graus, eventualmente, este é confundido com o gesto que executa rotação contínua sobre o eixo z.

Segundo observações dos usuários, a combinação de mouse e teclado que executa a navegação poderia ser implementado de outra forma, movendo no eixo z com as teclas UP e DOWN, e movendo a direção da câmera com o mouse. Dessa forma, a comparação seria mais justa.

## 8 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho é movimentar a câmera virtual no espaço 3D utilizando gestos e compará-los com entradas tradicionais para comprovar sua eficiência. Como discutido anteriormente, ainda há muito para ser melhorado, como modificações em gestos afim de reduzir o esforço e evitar a fadiga. O protótipo foi implementado sobre o dispositivo acessível no momento, e obteve-se resultados favoráveis apesar das dificuldades encontradas na execução dos gestos.

A execução das tarefas com dispositivos tradicionais ainda é mais eficiente do que utilizando gestos. No entanto, visto o pouco, ou nenhum, contato prévio dos participantes com tal tecnologia, estes resultados eram esperados. Contudo, os resultados também apontam para a execução eficiente das tarefas com gestos após treinamento dos usuários. Muitas vezes que os participantes executavam novamente os gestos, mesmo que para tarefas diferentes, eles apresentavam melhoras de desempenho.

### 8.1 Trabalhos Futuros

O conjunto de gestos implementado pode ser usado em diversas áreas. Na área de jogos, onde o avatar se movimenta conforme a câmera, explorando a cena. Na área da medicina, onde estão começando a surgir as cirurgias à distância, o médico pode usar o conjunto de gestos para explorar a cena e comandar o robô para que faça os procedimentos necessários. Ou, ainda nesta área, o médico pode usar o conjunto de gestos para explorar tomografias 3D, por exemplo.

Este trabalho, especificamente, está incluído em um projeto maior, no qual o objeto é alcançar a modelagem geométrica guiada por gestos. Pretende-se alcançar este objetivo num possível projeto de mestrado. Para tal, será necessário ampliar e melhorar o conjunto de gestos implementado neste trabalho, para se adaptarem ao objetivo final.

## 9 ANEXOS

### 9.1 Anexo I: Questionário

#### 9.1.1 Perguntas

1) Tem contato com jogos de interação?

( ) Sim ( ) Não

2) Teve contato anterior com algum dispositivo que fornece entrada 3D (ex.: Kinect)?

( ) Sim ( ) Não

3) Classifique os gestos quanto à intuitividade.

Gesto	1 - Nada Intuitivo	2 - Pouco Intuitivo	3 - Médio	4 - Intuitivo	5 - Muito Intuitivo
Translação	( )	( )	( )	( )	( )
Navegação	( )	( )	( )	( )	( )
Rotação sobre o eixo z	( )	( )	( )	( )	( )
Rotação sobre o eixo x	( )	( )	( )	( )	( )
Rotação sobre o eixo y	( )	( )	( )	( )	( )
Órbita sobre o eixo x	( )	( )	( )	( )	( )
Órbita sobre o eixo y	( )	( )	( )	( )	( )
Órbita contínua sobre o eixo x	( )	( )	( )	( )	( )
Órbita contínua sobre o eixo y	( )	( )	( )	( )	( )
Rotação contínua sobre o eixo z	( )	( )	( )	( )	( )
Mover a câmera 180 graus	( )	( )	( )	( )	( )
Fixar o vetor pra cima	( )	( )	( )	( )	( )
Zoom	( )	( )	( )	( )	( )

4) Classifique os gestos quanto à facilidade de execução.

<b>Gesto</b>	<b>1 - Muito Difícil</b>	<b>2 - Difícil</b>	<b>3 - Médio</b>	<b>4 - Fácil</b>	<b>5 - Muito Fácil</b>
Translação	( )	( )	( )	( )	( )
Navegação	( )	( )	( )	( )	( )
Rotação sobre o eixo z	( )	( )	( )	( )	( )
Rotação sobre o eixo x	( )	( )	( )	( )	( )
Rotação sobre o eixo y	( )	( )	( )	( )	( )
Órbita sobre o eixo x	( )	( )	( )	( )	( )
Órbita sobre o eixo y	( )	( )	( )	( )	( )
Órbita contínua sobre o eixo x	( )	( )	( )	( )	( )
Órbita contínua sobre o eixo y	( )	( )	( )	( )	( )
Rotação contínua sobre o eixo z	( )	( )	( )	( )	( )
Mover a câmera 180 graus	( )	( )	( )	( )	( )
Fixar o vetor pra cima	( )	( )	( )	( )	( )
Zoom	( )	( )	( )	( )	( )

5) Classifique a tarefa de procurar um alvo quanto à dificuldade de posicionar o objeto dentro do círculo para os gestos de navegação e translação.

<b>Gesto</b>	<b>1 - Muito Difícil</b>	<b>2 - Difícil</b>	<b>3 - Médio</b>	<b>4 - Fácil</b>	<b>5 - Muito Fácil</b>
Translação (círculo maior)	( )	( )	( )	( )	( )
Navegação (círculo maior)	( )	( )	( )	( )	( )
Translação (círculo menor)	( )	( )	( )	( )	( )
Navegação (círculo menor)	( )	( )	( )	( )	( )

6) Classifique a tarefa de seguir um caminho quanto à dificuldade de manter o objeto dentro do círculo.

<b>Gesto</b>	<b>1 - Muito Difícil</b>	<b>2 - Difícil</b>	<b>3 - Médio</b>	<b>4 - Fácil</b>	<b>5 - Muito Fácil</b>
Rua 1 (círculo maior)	( )	( )	( )	( )	( )
Rua 1 (círculo menor)	( )	( )	( )	( )	( )
Rua 2 (círculo maior)	( )	( )	( )	( )	( )
Rua 2 (círculo menor)	( )	( )	( )	( )	( )
Rua 3 (círculo maior)	( )	( )	( )	( )	( )
Rua 3 (círculo menor)	( )	( )	( )	( )	( )
Rua 4 (círculo maior)	( )	( )	( )	( )	( )
Rua 4 (círculo menor)	( )	( )	( )	( )	( )

7) Classifique a tarefa de seguir um caminho quanto à dificuldade de manter o objeto dentro da distância determinada.

<b>Gesto</b>	<b>1 - Muito Difícil</b>	<b>2 - Difícil</b>	<b>3 - Médio</b>	<b>4 - Fácil</b>	<b>5 - Muito Fácil</b>
Rua 1	( )	( )	( )	( )	( )
Rua 2	( )	( )	( )	( )	( )
Rua 3	( )	( )	( )	( )	( )
Rua 4	( )	( )	( )	( )	( )

8) Por que a realização dos gestos foi fácil ou difícil para você?

9) Há alguma crítica ou sugestão em relação aos gestos?

### 9.1.2 Respostas

Participante	1) Tem contato com jogos de interação?	2) Teve contato anterior com algum dispositivo que fornece entrada 3D (ex.: Kinect)?
1	Sim	Não
2	Sim	Não
3	Sim	Não
4	Sim	Sim
5	Sim	Não
6	Sim	Não
7	Sim	Sim
8	Sim	Sim
9	Sim	Sim
10	Sim	Não

Tabela 9.1: Resposta dos participantes.

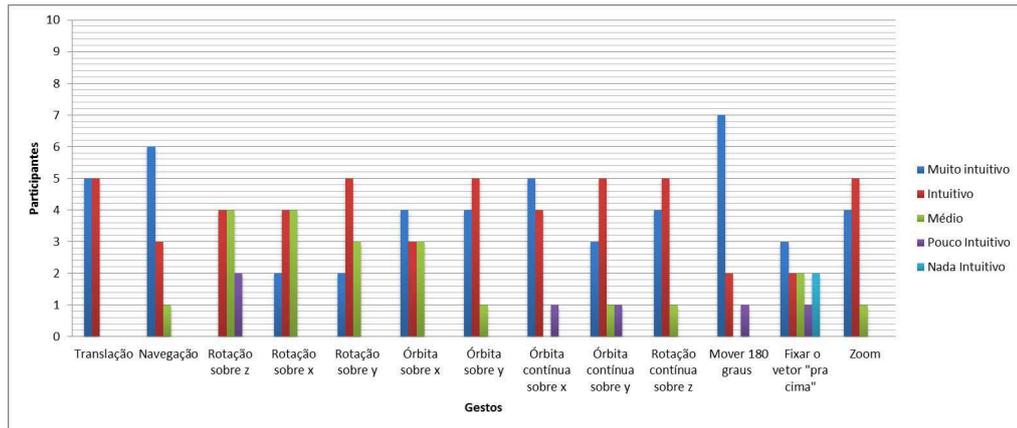


Figura 9.1: Resposta dos participantes em relação à pergunta sobre intuitividade dos gestos.

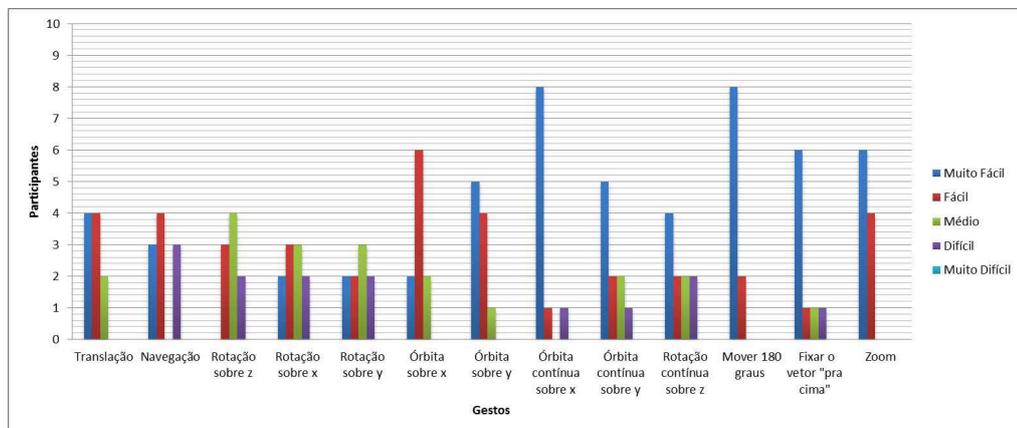


Figura 9.2: Resposta dos participantes em relação à pergunta sobre dificuldade de execução dos gestos.

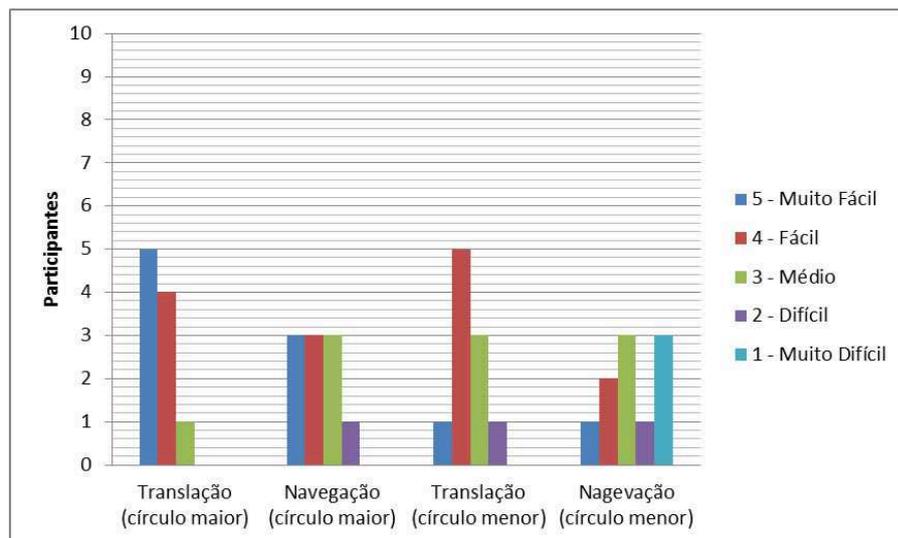


Figura 9.3: Resposta dos participantes quanto à pergunta sobre a dificuldade de posicionar o alvo dentro do círculo.

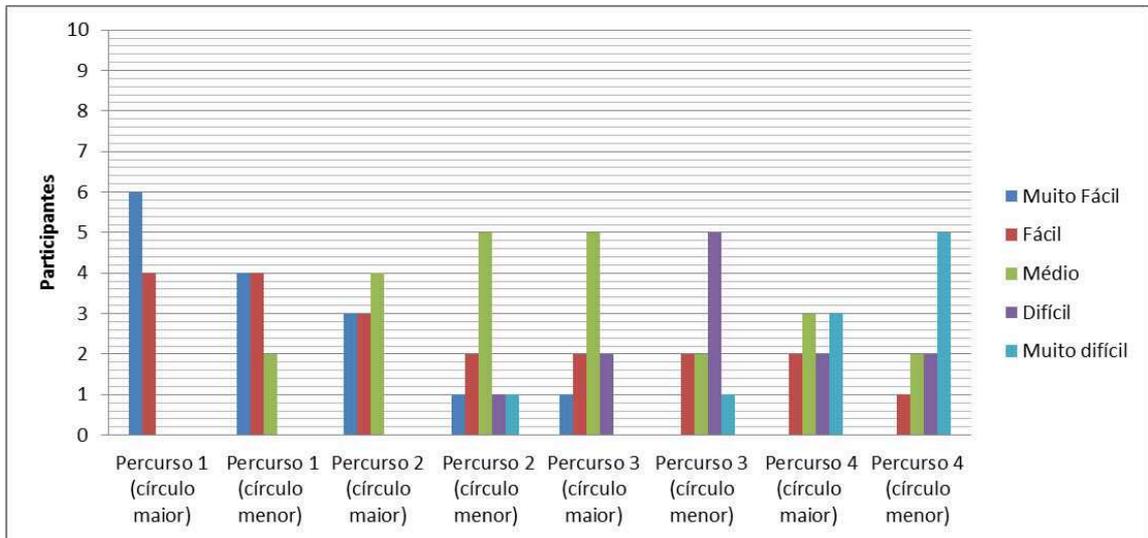


Figura 9.4: Resposta dos participantes quanto à pergunta sobre a dificuldade de manter o alvo dentro do círculo durante o percurso.

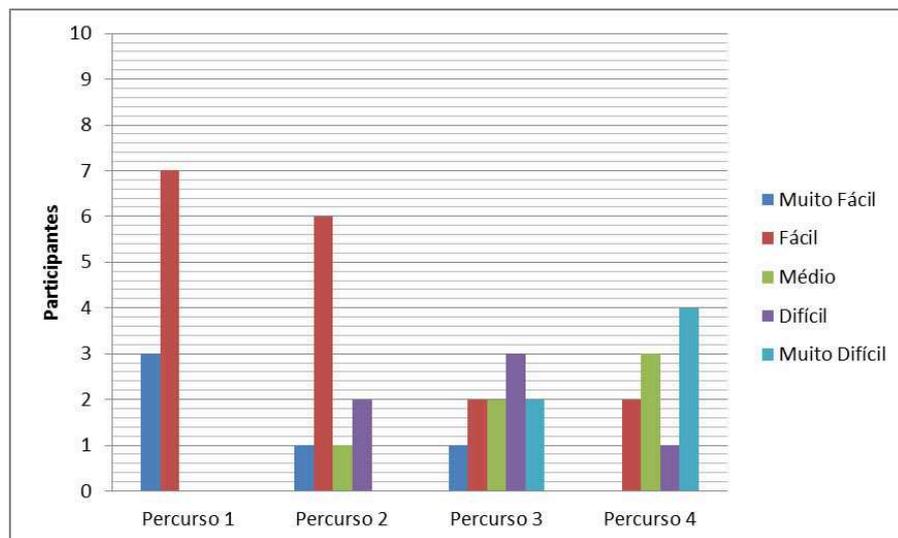


Figura 9.5: Resposta dos participantes quanto à pergunta sobre a dificuldade de manter o alvo dentro da distância determinada.

Participante	Por que a execução dos gestos foi fácil ou difícil para você?
1	Porque eu não estou acostumada com os movimentos necessários para seguir o caminho corretamente.
2	O Leap por nunca ter contato com nenhum dispositivo de captura de gestos tive dificuldade, já com o teclado e mouse a tarefa se tornou muito mais fácil, levando em conta que minha experiência com o teclado e mouse é de 5 anos de uso. Por fim minha experiência foi determinante em relação ao nível de dificuldade encontrado nos testes.
3	Foi difícil pela falta de habilidade com a utilização do Leap.
4	Foi fácil em alguns movimentos, naqueles em qual eu conseguia achar o macaco rapidamente, consideraria algumas partes difíceis pela dificuldade na execução dos gestos com a mão.
5	- Utilizar apenas três dedos requer treino e uso frequente para se tornar mais confortável, sendo minha primeira vez causou desconforto; - Para seguir caminho, a dificuldade se encontra em tentar centralizar o macaco num gráfico que pouco permite visualizá-lo nas curvas. - Outras, se tornaram mais fáceis pela forma de uso dos dedos para os comandos, como o uso de mão aberta ou de apenas um dedo, permitindo melhor acesso e conforto.
6	Porque é intuitivo e manuseando um pouco consegue pegar decorar os movimentos.
7	Foi difícil ter precisão ao se aproximar dos alvos, para realizar movimentos longos é necessário repetir varias vezes os gestos.
8	No geral foi fácil de realizar, mas é perceptível que em alguns movimentos minha mão não era reconhecida, gerando uma pequena dificuldade.
9	Foi fácil, pois os movimentos da mão são bem simples e intuitivos.
10	Foi fácil porque os gestos são bastante intuitivos.

Tabela 9.2: Respostas dos participantes sobre a dificuldade de executar os gestos.

Participante	Há alguma crítica ou sugestão em relação aos gestos?
1	Na hora de girar na navegação seria mais intuitivo não precisar pausar e girar de novo a mão.
2	Acho que no uso do teclado para andar tanto frente ou trás usaria o mouse e as setas somente para direcionar.
3	(Não respondeu)
4	1-Na translação colocar um tempo de atraso entre a ação do pause e a movimentação da câmera. 2-Mudar o gesto realizado para realizar a rotação, no meu caso senti muita dificuldade para realiza-lo 3-Na navegação mudar a maneira de interagir com a câmera, por exemplo quando a mão é posicionada sob o sensor a câmera começa a andar e isso as vezes dificulta a localização do alvo pelo usuário. O usuário deveria determinar quando a câmera começa a andar.
5	O gesto utilizando 3 dedos é muito desconfortável para iniciantes, o que pode causar rejeição e resistência ao seu uso
6	A princípio não, é mais por acostumar-se a utilizar aqueles movimentos.
7	Para melhorar a precisão dos movimentos curtos, a velocidade poderia variar conforme a aceleração dos gestos. para não precisar ficar repetindo os gestos, os movimentos de rotação poderiam continuar enquanto a mão estiver inclinada.
8	Não, achei razoavelmente intuitivo.
9	Não.
10	Na rotação no eixo z é um pouco difícil de fazer o gesto porque o leap não parece captar muito bem a posição dos dedos.

Tabela 9.3: Críticas e sugestões dos participantes em relação aos gestos.

## 9.2 Anexo II: Resultados para a tarefa de encontrar um alvo

### 9.2.1 Execução da tarefa com gestos

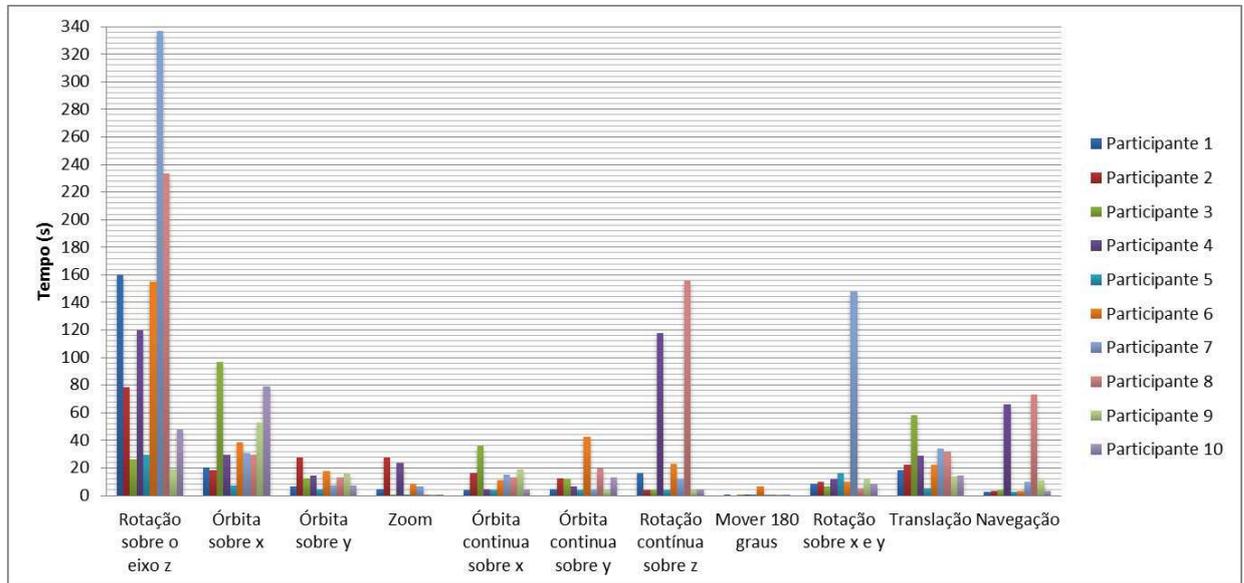


Figura 9.6: Tempo de execução de cada participante para as tarefas do primeiro cenário. Valores detalhados são encontrados nas tabelas 9.4, 9.5, 9.6.

Participante	Rotação sobre z	Órbita sobre x	Órbita sobre y	Zoom
1	159,862137	19,815635	6,388937	4,650468
2	78,227135	18,189512	27,044171	27,345814
3	25,924384	96,873135	12,450431	0,686055
4	119,711101	29,121773	14,085029	23,207049
5	29,347346	6,88633	4,466002	0,14376
6	155,049363	38,638406	17,315148	8,457071
7	336,688512	30,342561	7,133286	6,084765
8	232,962172	28,93648	12,562717	0,506393
9	18,810483	53,035763	16,301494	0,127959
10	47,484083	78,575381	6,793932	0,365998

Tabela 9.4: Tempos de execução das tarefas (em segundos) correspondentes a cada gesto no primeiro cenário. (Parte 1)

<b>Participante</b>	<b>Órbita contínua sobre x</b>	<b>Órbita contínua sobre y</b>	<b>Rotação contínua sobre z</b>	<b>Mover 180 graus</b>	<b>Rotação sobre x e y</b>
1	3,964902	4,268996	15,830067	0,011405	7,984187
2	15,795024	12,423981	3,984926	0,000003	9,487935
3	35,69095	11,484128	3,967695	0,010939	6,271497
4	4,204806	6,604194	117,489229	0,012063	11,488627
5	3,973475	3,965325	3,960759	0,004338	16,229793
6	10,660696	42,295642	22,724454	6,202563	9,55231
7	14,861983	4,21309	11,404925	0,010903	147,588136
8	12,857266	19,548574	155,688438	0,011776	4,724021
9	18,622427	3,983162	3,955002	0,01312	11,571911
10	4,207024	12,542228	4,25269	0,006994	8,541574

Tabela 9.5: Tempos de execução das tarefas (em segundos) correspondentes a cada gesto no primeiro cenário. (Parte 2)

<b>Participante</b>	<b>Translação</b>	<b>Navegação</b>
1	17,918793	2,463312
2	22,159753	2,814014
3	58,229899	3,799163
4	28,714982	65,954874
5	5,015650	2,276975
6	22,041115	2,896933
7	33,962838	9,574981
8	31,574893	72,976561
9	13,791960	10,668952
10	14,472412	3,012418

Tabela 9.6: Tempos de execução das tarefas (em segundos) correspondentes a cada gesto no primeiro cenário. (Parte 3)

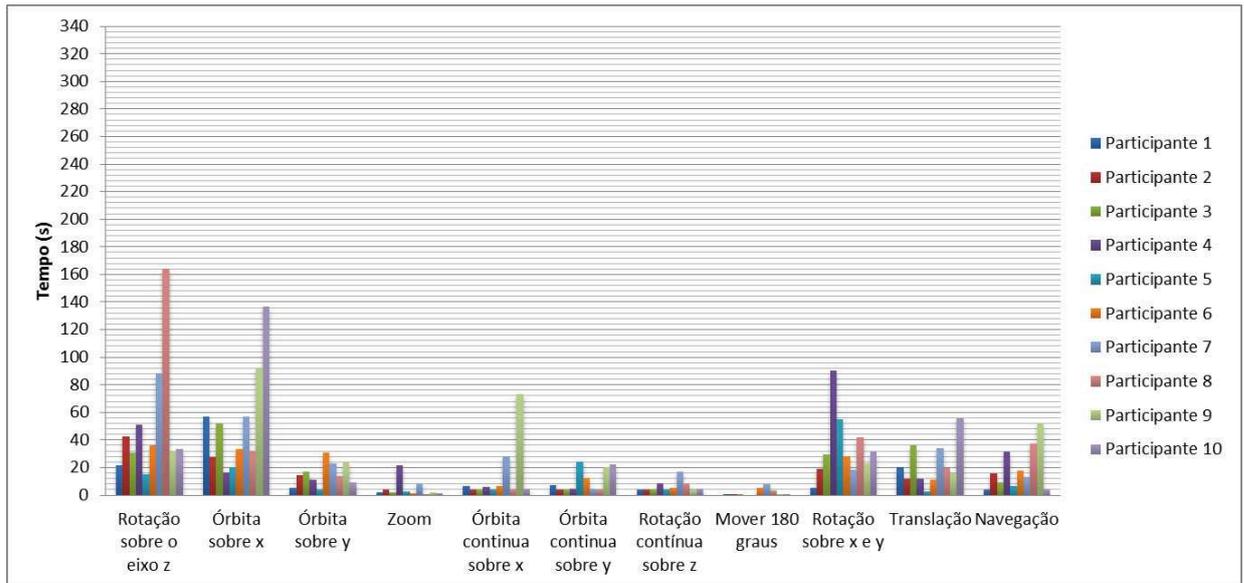


Figura 9.7: Tempo de execução de cada participante para as tarefas do segundo cenário. Valores detalhados são encontrados nas tabelas 9.7, 9.8, 9.9.

Participante	Rotação sobre z	Órbita sobre x	Órbita sobre y	Zoom
1	21,540844	56,947328	4,890845	1,489177
2	42,373625	27,560103	13,872511	3,978688
3	30,319299	51,469792	16,626676	1,908843
4	50,740487	16,432851	10,879451	21,327605
5	14,589745	19,763296	3,852042	2,512005
6	35,473839	32,866223	30,259226	1,09115
7	87,905094	57,007922	22,524608	8,518182
8	164,044796	31,648168	13,229429	0,225892
9	31,593897	91,347667	23,633102	1,849976
10	33,174155	136,791386	9,204503	0,83722

Tabela 9.7: Tempos de execução das tarefas (em segundos) correspondentes a cada gesto no segundo cenário. (Parte 1)

<b>Participante</b>	<b>Órbita contínua sobre x</b>	<b>Órbita contínua sobre y</b>	<b>Rotação contínua sobre z</b>	<b>Mover 180 graus</b>	<b>Rotação sobre x e y</b>
1	6,341166	7,041571	3,979255	0,015548	4,942799
2	3,970667	3,980789	3,983588	0,012128	18,569485
3	3,954391	3,971753	3,987486	0,015114	29,281442
4	5,383832	4,205735	8,434318	0,000025	90,047259
5	3,972863	23,739636	3,983864	0,000027	54,476273
6	6,083691	11,983488	4,999457	4,882496	27,788933
7	27,812797	4,378229	16,535195	7,801514	17,913213
8	3,984024	3,95495	8,346494	3,272489	41,415053
9	72,972648	20,362362	3,984992	0,009969	22,960354
10	4,258773	22,009007	4,320667	0,008579	31,337933

Tabela 9.8: Tempos de execução das tarefas (em segundos) correspondentes a cada gesto no segundo cenário. (Parte 2)

<b>Participante</b>	<b>Translação</b>	<b>Navegação</b>
1	20,137526	3,472270
2	11,417093	15,189159
3	35,611927	8,920810
4	11,682409	31,126828
5	2,661108	6,446847
6	10,872918	17,427347
7	33,911395	13,167061
8	19,496829	37,013964
9	15,420462	52,393172
10	55,311722	3,596011

Tabela 9.9: Tempos de execução das tarefas (em segundos) correspondentes a cada gesto no segundo cenário. (Parte 3)

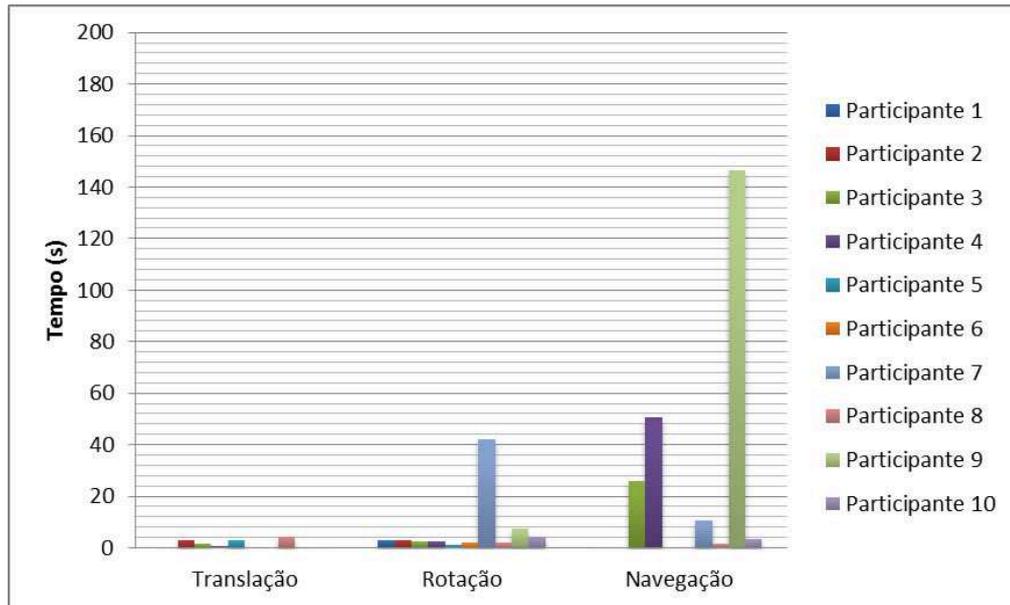


Figura 9.8: Tempo de cada participante para posicionar o círculo no primeiro cenário utilizando gestos. Valores detalhados são encontrados na tabela 9.10.

Participante	Translação	Rotação	Navegação
1	0,0003198	3,137032	0,0003175
2	3,0158793	2,927581	0,0540628
3	1,4139008	2,293994	25,813212
4	0,7090088	2,713233	50,637356
5	3,077513	1,342062	0,2043535
6	0,0461633	1,868157	0,029227
7	0,054198	42,05081	10,408936
8	4,5207743	1,942803	1,4808945
9	0,2046443	7,603018	146,49827
10	0,0169573	4,245096	3,3323383

Tabela 9.10: Tempos para posicionar o círculo no primeiro cenário utilizando gestos.

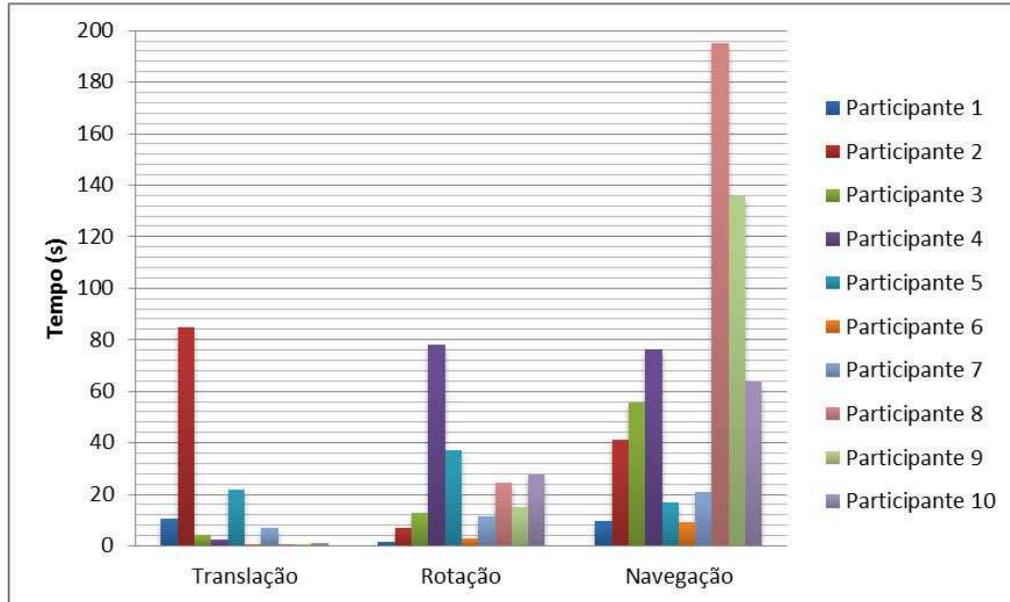


Figura 9.9: Tempo de cada participante para posicionar o círculo no segundo cenário utilizando gestos. Valores detalhados são encontrados na tabela 9.11.

Participante	Translação	Rotação	Navegação
1	10,341547	1,62259	9,5805645
2	84,657105	6,904643	40,971315
3	4,0701938	12,81067	55,566503
4	2,1353275	78,12971	76,057719
5	21,57512	36,78867	16,499466
6	0,4470465	2,694232	8,9367685
7	7,0003633	11,20384	20,666747
8	0,096989	24,41737	194,92688
9	0,2257415	14,75537	135,456
10	0,9967643	27,3168	63,343411

Tabela 9.11: Tempos para posicionar o círculo no segundo cenário utilizando gestos.

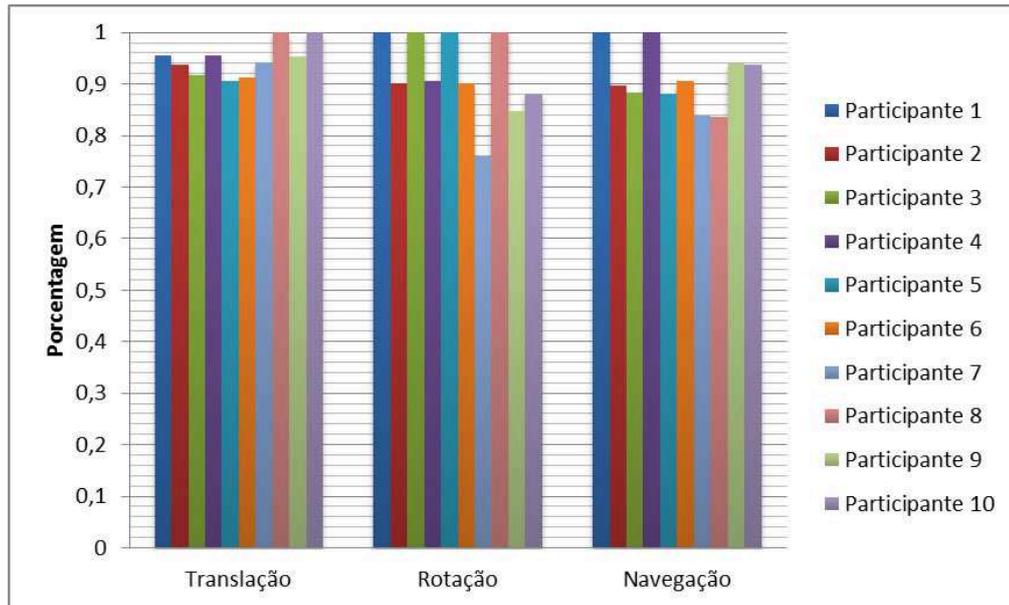


Figura 9.10: Quantidade do objeto que cada participante manteve dentro do círculo no primeiro cenário utilizando gestos. Valores detalhados são encontrados na tabela 9.12.

Participante	Translação	Rotação	Navegação
1	0,9545455	1	1
2	0,9380165	0,900826	0,8966943
3	0,9173555	1	0,8842978
4	0,9545455	0,904959	1
5	0,907025	1	0,8801653
6	0,9132233	0,900826	0,9049585
7	0,9421488	0,760331	0,838843
8	1	1	0,836777
9	0,9524793	0,847107	0,9400828
10	1	0,880165	0,9380165

Tabela 9.12: Porcentagem do objeto posicionado dentro do círculo no primeiro cenário.

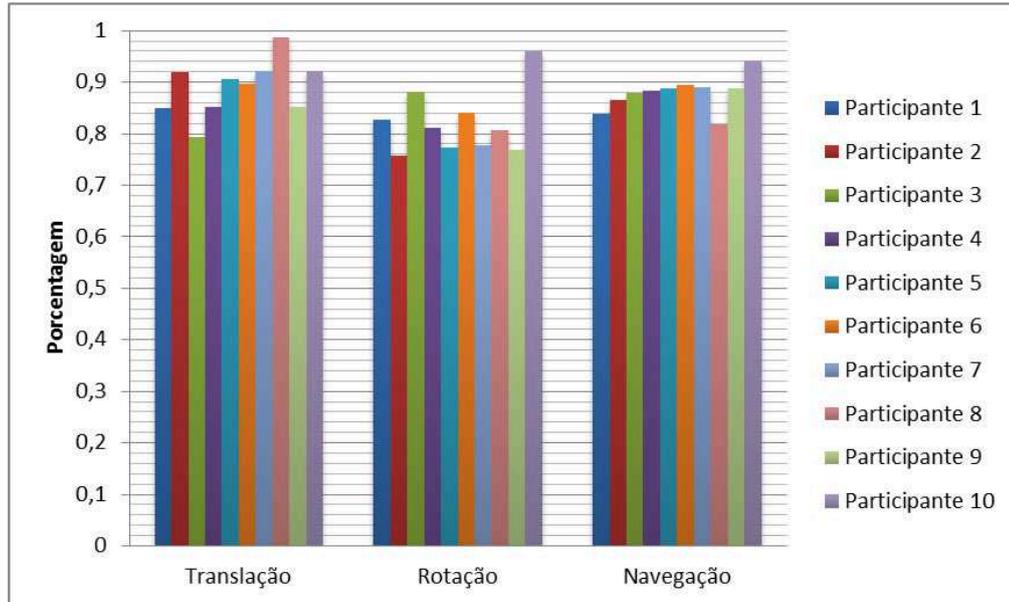


Figura 9.11: Quantidade do objeto que cada participante manteve dentro do círculo no segundo cenário utilizando gestos. Valores detalhados são encontrados na tabela 9.13.

Participante	Translação	Rotação	Navegação
1	0,8491735	0,826446	0,8367768
2	0,9173553	0,756198	0,8636365
3	0,7913228	0,880165	0,878099
4	0,8512395	0,809917	0,8822315
5	0,9049588	0,772727	0,8863638
6	0,8966943	0,838843	0,892562
7	0,9194215	0,77686	0,8884298
8	0,9855373	0,805785	0,8161158
9	0,8512398	0,768595	0,8863638
10	0,9214875	0,958678	0,9400828

Tabela 9.13: Porcentagem do objeto posicionado dentro do círculo no segundo cenário.

### 9.2.2 Execução da tarefa com combinações de mouse e teclado

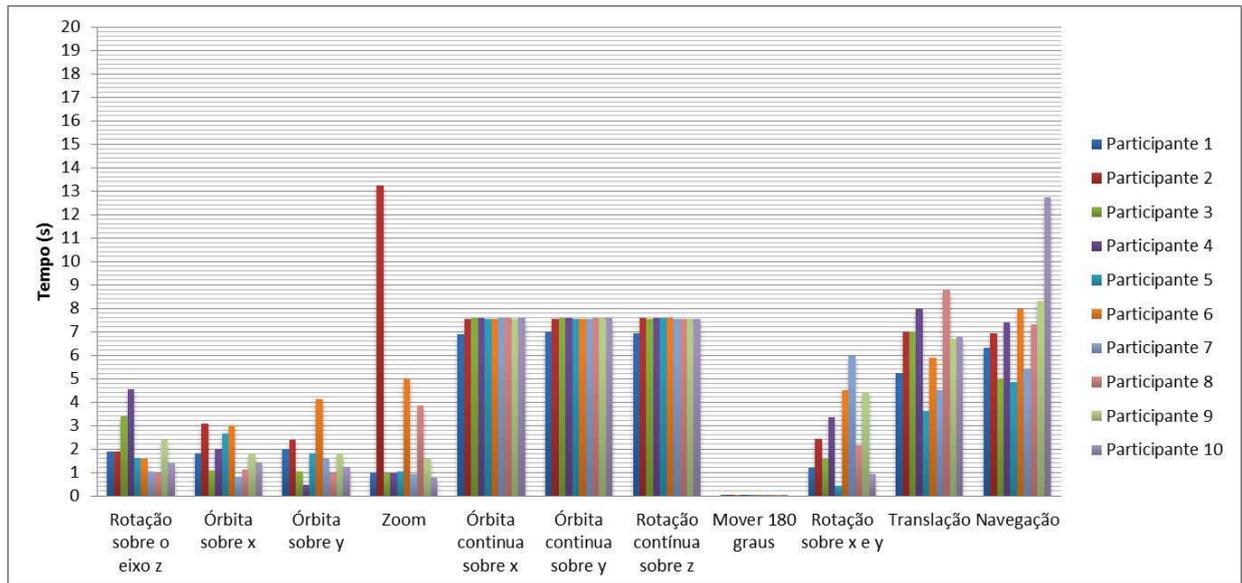


Figura 9.12: Tempo de execução de cada participante para as tarefas do primeiro cenário utilizando combinações de mouse e teclado. Valores detalhados são encontrados nas tabelas 9.14, 9.15, 9.16.

Participante	Rotação sobre z	Órbita sobre x	Órbita sobre y	Zoom
1	1,879476	1,79227	1,942437	0,949955
2	1,879476	3,085497	2,368031	13,210574
3	3,385716	1,083736	1,034074	0,967027
4	4,536642	1,98472	0,449925	0,966886
5	1,617607	2,65122	1,801169	1,033902
6	1,567407	3,002113	4,102924	4,970256
7	1,017105	0,783273	1,58411	0,900182
8	0,95053	1,100579	0,950541	3,836334
9	2,368297	1,81761	1,800954	1,551231
10	1,367485	1,400877	1,217194	0,75005

Tabela 9.14: Tempos de execução das tarefas (em segundos) correspondentes às combinações de mouse e teclado no primeiro cenário. (Parte 1)

<b>Participante</b>	<b>Órbita contínua sobre x</b>	<b>Órbita contínua sobre y</b>	<b>Rotação contínua sobre z</b>	<b>Mover 180 graus</b>	<b>Rotação sobre x e y</b>
1	6,865145	6,986814	6,915301	0,014322	1,175506
2	7,522276	7,522277	7,555503	0,016259	2,418575
3	7,555506	7,555822	7,522617	0,016081	1,584709
4	7,555577	7,555761	7,550877	0,015999	3,352919
5	7,522335	7,522323	7,555863	0,016271	0,408746
6	7,522337	7,52245	7,555863	0,015692	4,503797
7	7,555451	7,522613	7,522457	0,01598	5,93793
8	7,555724	7,555642	7,522705	0,015994	2,143366
9	7,522211	7,555823	7,522586	0,015707	4,411918
10	7,555908	7,555772	7,52185	0,015917	0,908818

Tabela 9.15: Tempos de execução das tarefas (em segundos) correspondentes às combinações de mouse e teclado no primeiro cenário. (Parte 2)

<b>Participante</b>	<b>Translação</b>	<b>Navegação</b>
1	5,229654	6,280943
2	6,992742	6,934351
3	6,988972	5,00379
4	7,964436	7,393022
5	3,611003	4,853679
6	5,892029	7,947775
7	4,478080	5,424905
8	8,744354	7,318068
9	6,696928	8,319193
10	6,780177	12,735039

Tabela 9.16: Tempos de execução das tarefas (em segundos) correspondentes às combinações de mouse e teclado no primeiro cenário. (Parte 3)

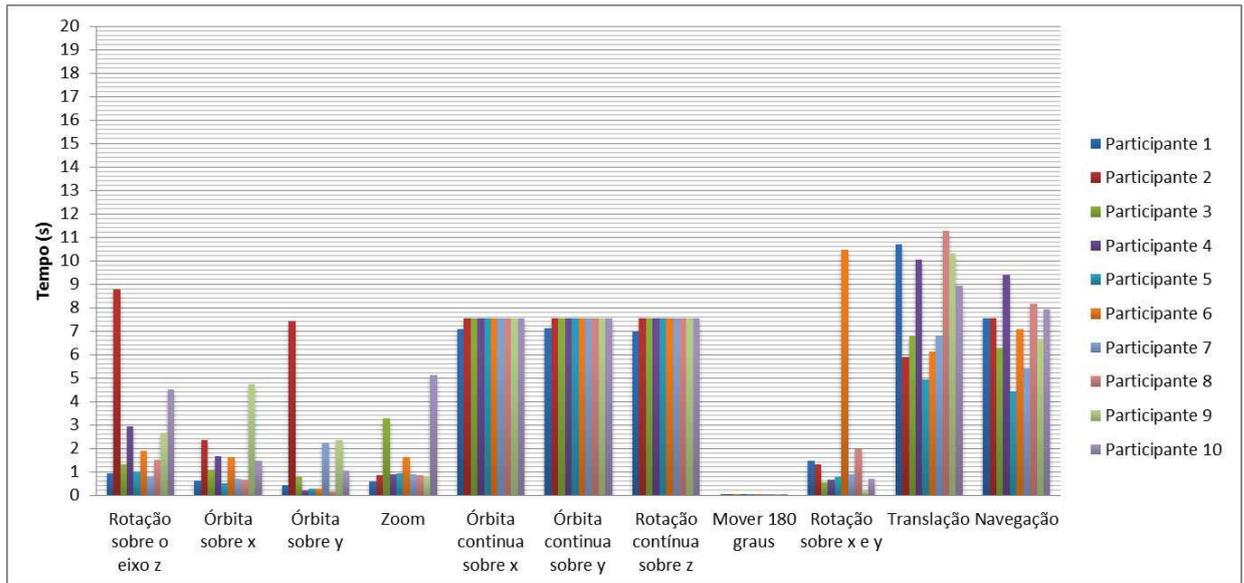


Figura 9.13: Tempo de execução de cada participante para as tarefas do segundo cenário utilizando combinações de mouse e teclado. Valores detalhados são encontrados nas tabelas 9.17, 9.18, 9.19.

Participante	Rotação sobre z	Órbita sobre x	Órbita sobre y	Zoom
1	0,914871	0,603534	0,407732	0,573442
2	8,77316	2,33487	7,438852	0,850349
3	1,319261	1,083855	0,766932	3,252334
4	2,935378	1,667517	0,199832	0,867297
5	0,983797	0,516774	0,283073	0,917195
6	1,900949	1,617879	0,249648	1,600929
7	0,750064	0,699923	2,21849	0,900177
8	1,517527	0,650452	0,132943	0,850237
9	2,651718	4,736702	2,334831	0,817008
10	4,486937	1,467103	1,033576	5,103343

Tabela 9.17: Tempos de execução das tarefas (em segundos) correspondentes às combinações de mouse e teclado no segundo cenário. (Parte 1)

<b>Participante</b>	<b>Órbita contínua sobre x</b>	<b>Órbita contínua sobre y</b>	<b>Rotação contínua sobre z</b>	<b>Mover 180 graus</b>	<b>Rotação sobre x e y</b>
1	7,078119	7,107067	6,947268	0,014196	1,45789
2	7,554794	7,555661	7,555347	0,015643	1,309246
3	7,522156	7,556021	7,522295	0,016021	0,525513
4	7,555689	7,555675	7,555688	0,015795	0,650584
5	7,522254	7,522134	7,555311	0,0161571	0,767334
6	7,555414	7,522306	7,522667	0,01591	10,475391
7	7,522454	7,522174	7,555758	0,016099	0,87565
8	7,555659	7,5559	7,555678	0,015877	1,960118
9	7,555836	7,555857	7,522357	0,016255	0,208551
10	7,556203	7,520731	7,554511	0,015168	0,70002

Tabela 9.18: Tempos de execução das tarefas (em segundos) correspondentes às combinações de mouse e teclado no segundo cenário. (Parte 2)

<b>Participante</b>	<b>Translação</b>	<b>Navegação</b>
1	10,678594	7,547659
2	5,896263	7,547659
3	6,759273	6,283943
4	10,032721	9,378126
5	4,916076	4,424236
6	6,125366	7,075999
7	6,796782	5,366330
8	11,250851	8,152434
9	10,304435	6,667857
10	8,91048	7,914631

Tabela 9.19: Tempos de execução das tarefas (em segundos) correspondentes às combinações de mouse e teclado no segundo cenário. (Parte 3)

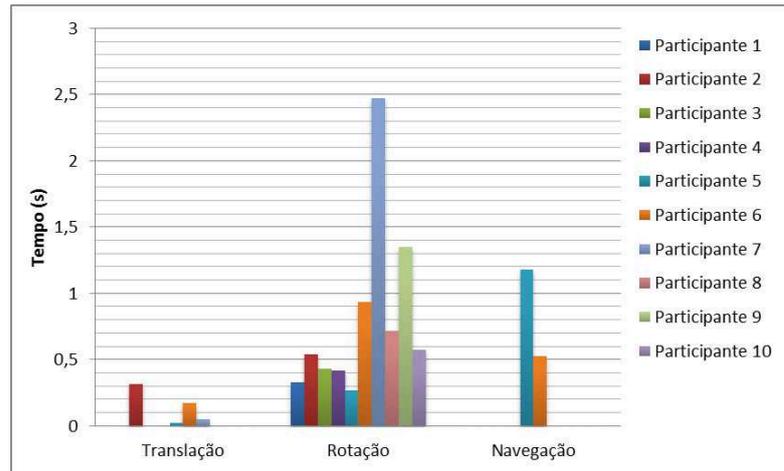


Figura 9.14: Tempo de cada participante para posicionar o círculo no primeiro cenário utilizando combinações de mouse e teclado. Valores detalhados são encontrados na tabela 9.20.

Participante	Translação	Rotação	Navegação
1	0,000323	0,328169	0,000285
2	0,317153	0,542249	0,000224
3	0,000248	0,433898	0,000219
4	0,000237	0,417171	0,000222
5	0,02116	0,267118	1,180464
6	0,171254	0,934405	0,529781
7	0,054507	2,477176	0,000224
8	0,00023	0,717524	0,00023
9	0,000225	1,351227	0,000233
10	0,000223	0,575337	0,000238

Tabela 9.20: Tempos para posicionar o círculo no primeiro cenário.

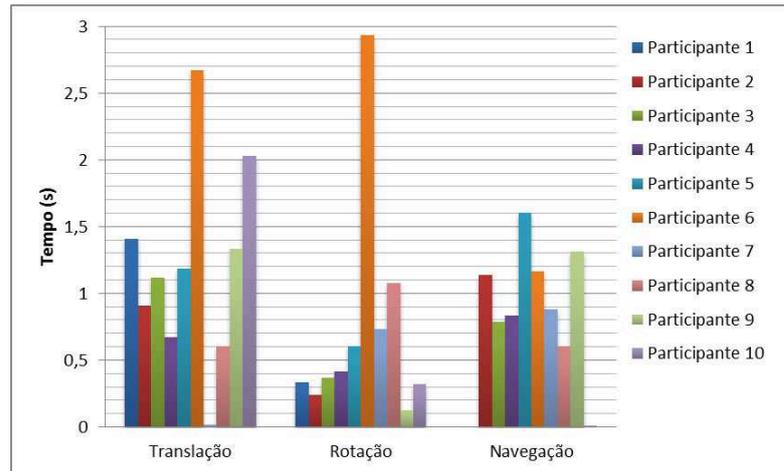


Figura 9.15: Tempo de cada participante para posicionar o círculo no segundo cenário utilizando combinações de mouse e teclado. Valores detalhados são encontrados na tabela 9.21.

Participante	Translação	Rotação	Navegação
1	1,408869	0,334111	0,004113
2	0,909275	0,241988	1,138769
3	1,121994	0,367153	0,788393
4	0,675852	0,41725	0,83833
5	1,184544	0,609199	1,605659
6	2,673344	2,93592	1,16793
7	0,016914	0,734313	0,880318
8	0,609136	1,07612	0,604944
9	1,334678	0,125265	1,318153
10	2,030899	0,324949	0,012903

Tabela 9.21: Tempos para posicionar o círculo no segundo cenário.

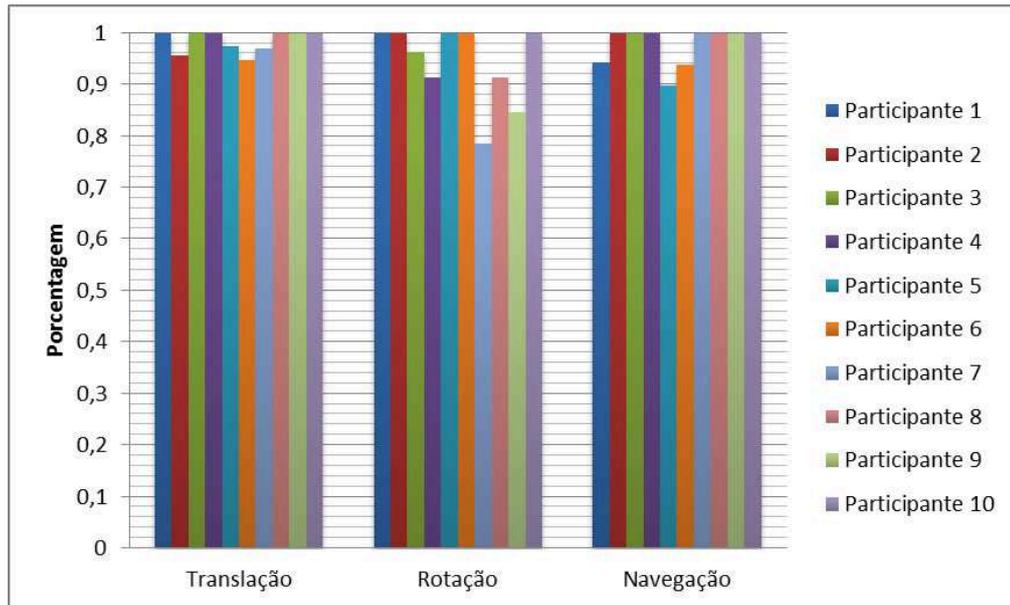


Figura 9.16: Quantidade do objeto que cada participante manteve dentro do círculo no primeiro cenário utilizando combinações de mouse e teclado. Valores detalhados são encontrados na tabela 9.22.

Participante	Translação	Rotação	Navegação
1	1	1	0,942149
2	0,9566115	1	1
3	1	0,96281	1
4	1	0,913223	1
5	0,9752065	1	0,896694
6	0,948347	1	0,938017
7	0,96900825	0,785124	1
8	1	0,913223	1
9	1	0,847107	1
10	1	1	1

Tabela 9.22: Quantidade do objeto posicionado dentro do círculo no primeiro cenário.

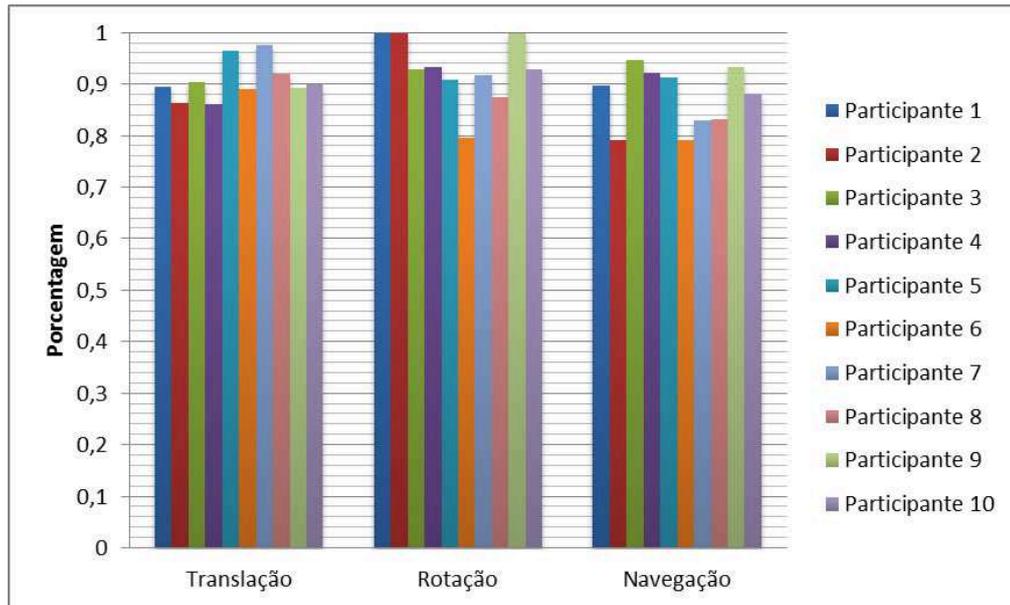


Figura 9.17: Quantidade do objeto que cada participante manteve dentro do círculo no segundo cenário utilizando combinações de mouse e teclado. Valores detalhados são encontrados na tabela 9.23.

Participante	Translação	Rotação	Navegação
1	0,894628	1	0,89876
2	0,8636365	1	0,791322
3	0,90495875	0,929752	0,948347
4	0,86157025	0,933884	0,921488
5	0,964876	0,909091	0,913223
6	0,89049575	0,797521	0,791323
7	0,97727275	0,917355	0,830579
8	0,9194215	0,876033	0,832645
9	0,892562	1	0,933884
10	0,9008265	0,929752	0,882232

Tabela 9.23: Quantidade do objeto posicionado dentro do círculo no segundo cenário.

### 9.3 Anexo III: Resultados para a tarefa de seguir um caminho

#### 9.3.1 Execução do comando para fixar o vetor "pra cima"

Participante	Gestos	Mouse e Teclado
1	0,44816675	0,810462
2	1,574859	0,066337
3	5,9396035	1,092136
4	0,48724025	0,795818
5	0,576101	0,866991
6	0,49328775	1,871886
7	0,50703025	0,066317
8	3,3771765	0,06603
9	0,4368865	0,078744
10	0,49541425	1,075351

Tabela 9.24: Tempo para fixar o vetor "pra cima", utilizando gestos e combinações de mouse e teclado.

#### 9.3.2 Execução da tarefa com gestos

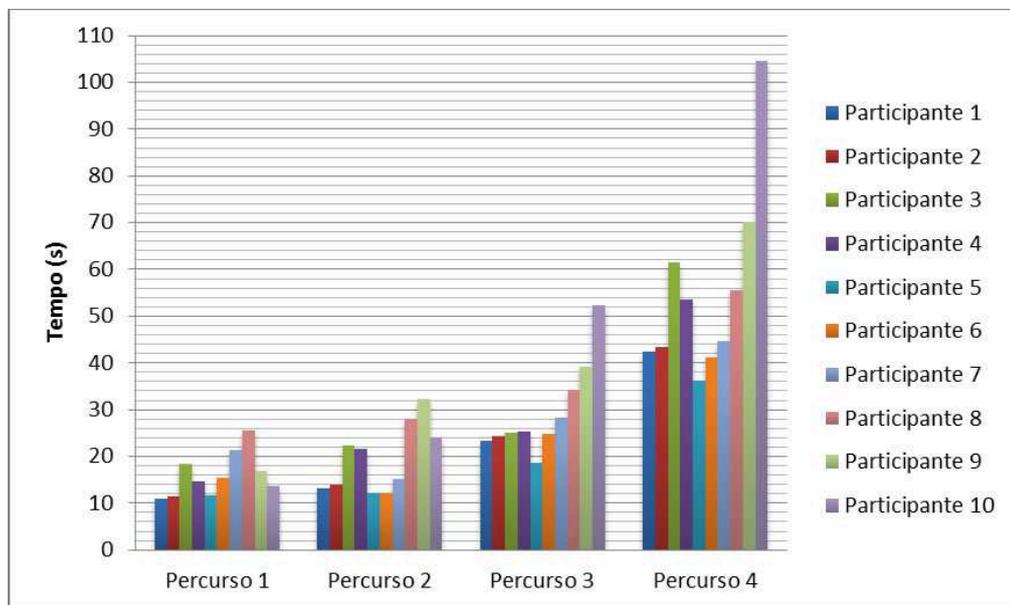


Figura 9.18: Tempo de cada participante para percorrer os caminhos utilizando gestos. Valores detalhados são encontrados na Tabela 9.25.

Participante	Caminho 1	Caminho 2	Caminho 3	Caminho 4
1	10,823834	13,03147	23,130743	42,224059
2	11,225371	13,806008	24,261731	43,3807
3	18,179495	22,209131	24,927508	61,441744
4	14,533329	21,452241	25,293746	53,497464
5	11,608355	12,063474	18,628128	36,0709
6	15,331311	12,070243	24,617514	41,13858
7	21,232055	15,140512	28,270741	44,463604
8	25,517591	27,959914	34,052901	55,423341
9	16,826921	32,120099	39,14501	69,942951
10	13,605982	24,034309	52,139285	104,41167

Tabela 9.25: Tempos para percorrer os caminhos (em segundos) utilizando gestos.

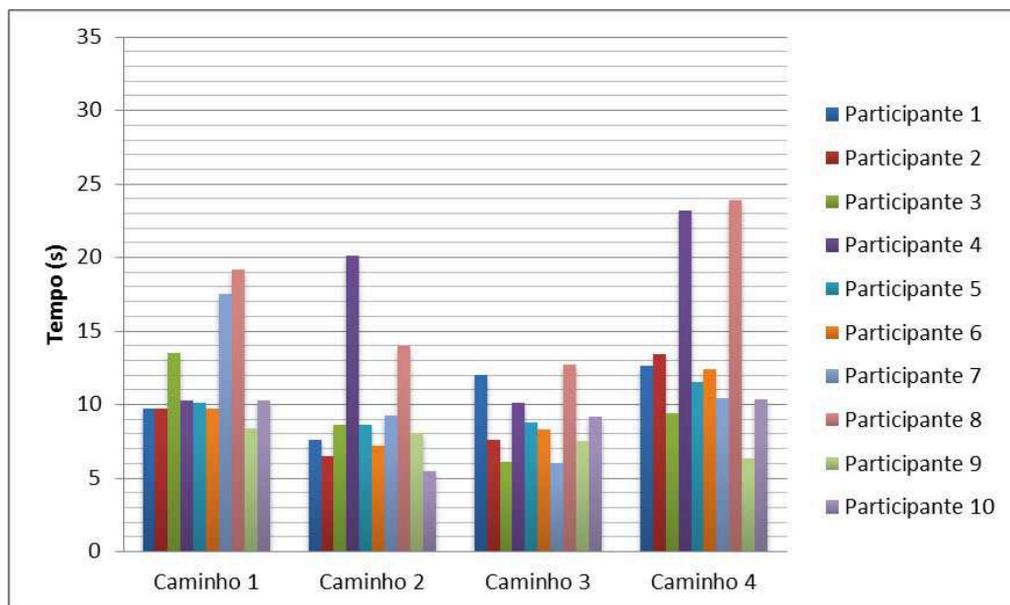


Figura 9.19: Tempo de cada participante mantendo o objeto dentro do círculo maior utilizando gestos. Valores detalhados são encontrados na Tabela 9.26.

Participante	Caminho 1	Caminho 2	Caminho 3	Caminho 4
1	9,702498	7,605229	11,994124	12,622847
2	9,699772	6,439109	7,605238	13,44331
3	13,511276	8,572321	6,118448	9,421982
4	10,241551	20,1322	10,074646	23,185679
5	10,057677	8,590122	8,755184	11,509953
6	9,674507	7,20572	8,273381	12,342354
7	17,527215	9,223463	5,970174	10,408753
8	19,149186	13,964246	12,677317	23,871111
9	8,340941	8,056651	7,522645	6,322895
10	10,241868	5,436807	9,142425	10,358814

Tabela 9.26: Tempo (em segundos) mantendo o objeto dentro do círculo maior utilizando gestos.

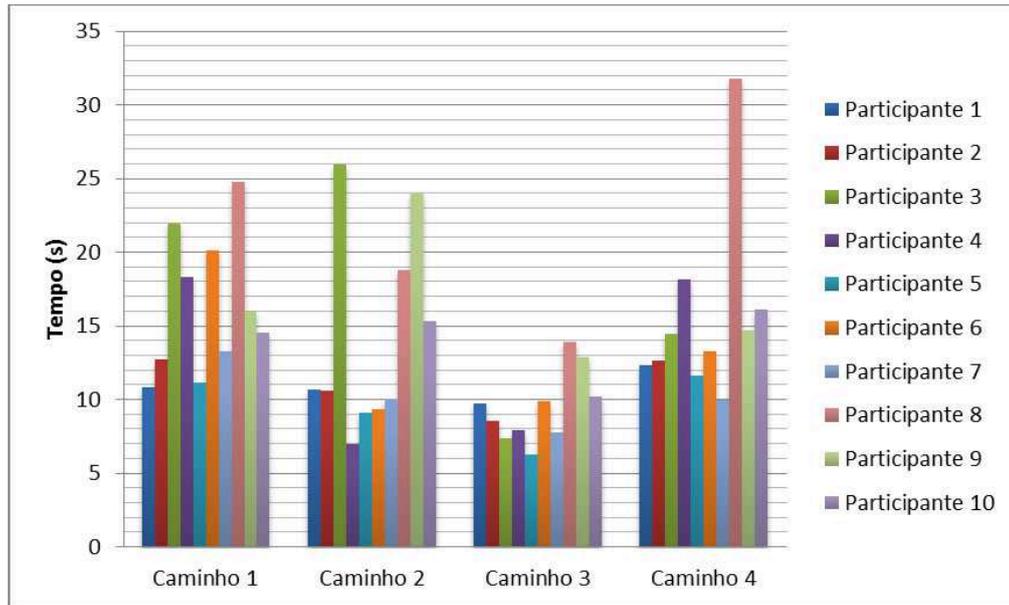


Figura 9.20: Tempo de cada participante mantendo o objeto dentro do círculo menor utilizando gestos. Valores detalhados são encontrados na Tabela 9.27.

Participante	Caminho 1	Caminho 2	Caminho 3	Caminho 4
1	10,880141	10,659341	9,711706	12,357828
2	12,743691	10,608737	8,591058	12,693388
3	21,951613	25,971532	7,390384	14,444878
4	18,330573	7,005371	7,906197	18,181209
5	11,142496	9,072877	6,289007	11,624329
6	20,149336	9,340144	9,9249	13,27272
7	13,293575	10,023807	7,789418	9,957603
8	24,752103	18,766828	13,944783	31,793708
9	15,962984	24,104038	12,878374	14,713747
10	14,578832	15,359785	10,224131	16,111952

Tabela 9.27: Tempo (em segundos) mantendo o objeto dentro do círculo menor utilizando gestos.

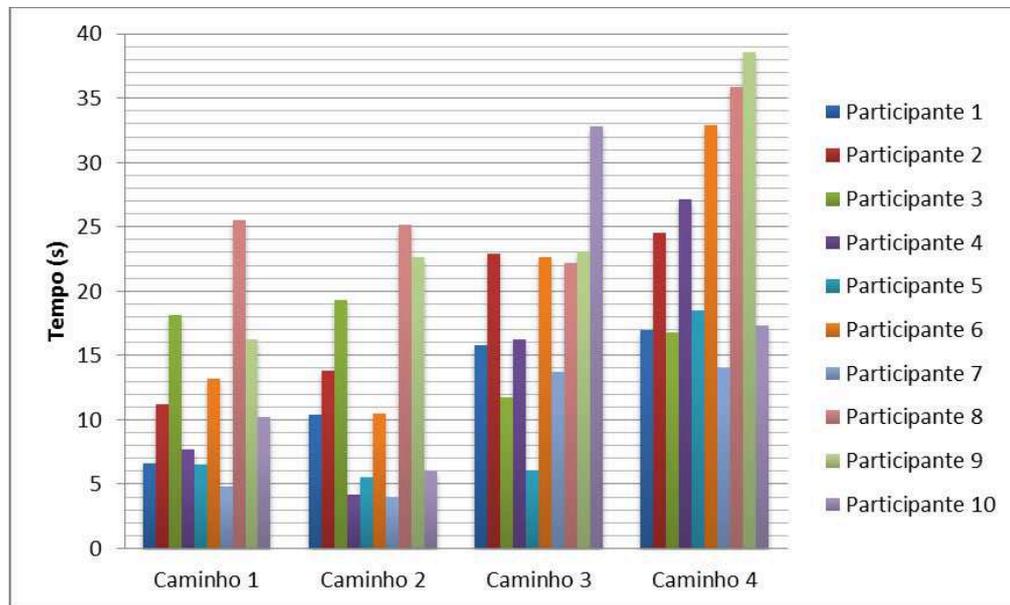


Figura 9.21: Tempo de cada participante mantendo o objeto dentro da distância estabelecida utilizando gestos. Valores detalhados são encontrados na Tabela 9.28.

Participante	Caminho 1	Caminho 2	Caminho 3	Caminho 4
1	6,653183	10,393443	15,826765	16,960491
2	11,221732	13,794147	22,9266	24,578076
3	18,173109	19,340398	11,777431	16,839793
4	7,739396	4,195052	16,296257	27,162898
5	6,546724	5,5291885	6,11299	18,481574
6	13,16044	10,516276	22,676826	32,893018
7	4,8442715	3,9779095	13,769404	14,027301
8	25,513108	25,196974	22,218162	35,880253
9	16,255515	22,63617	23,078157	38,549163
10	10,208521	5,9865455	32,784382	17,31522

Tabela 9.28: Tempo (em segundos) mantendo o objeto dentro da distância estabelecida utilizando gestos.

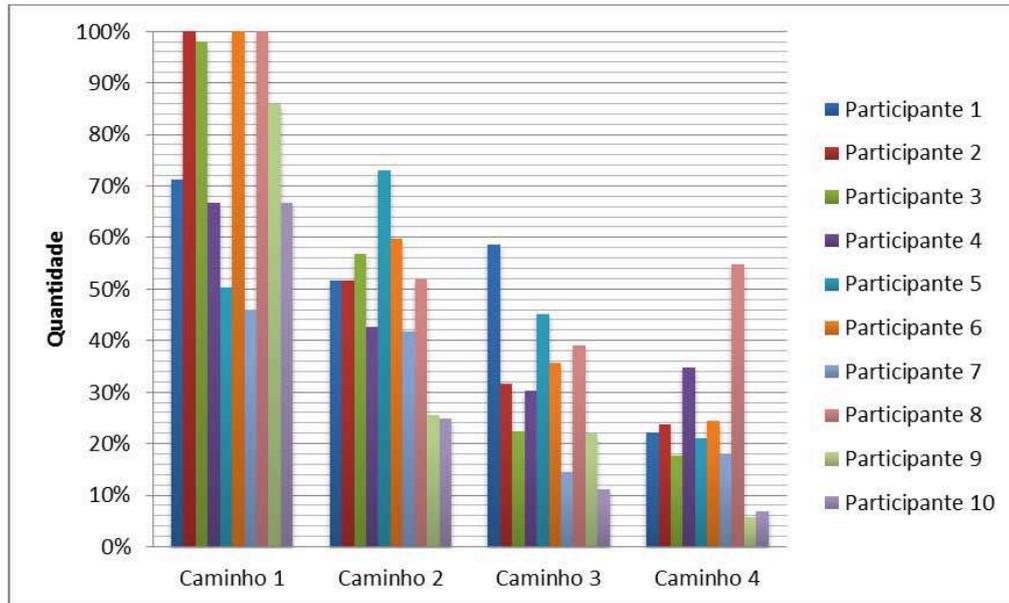


Figura 9.22: Quantidade do objeto que cada participante manteve dentro do círculo maior utilizando gestos. Valores detalhados são encontrados na Tabela 9.29.

Participante	Caminho 1	Caminho 2	Caminho 3	Caminho 4
1	0,711878	0,516404	0,586156	0,222028
2	1	0,518001	0,317112	0,238744
3	0,980077	0,569101	0,225091	0,177446
4	0,668567	0,426324	0,302855	0,348541
5	0,503339	0,731175	0,451308	0,211564
6	1	0,597367	0,357739	0,24505
7	0,459413	0,418738	0,144646	0,180413
8	1	0,518171	0,391406	0,549549
9	0,860016	0,256804	0,219245	0,05778
10	0,668567	0,249755	0,110914	0,068437

Tabela 9.29: Quantidade do objeto mantida dentro do círculo maior utilizando gestos.

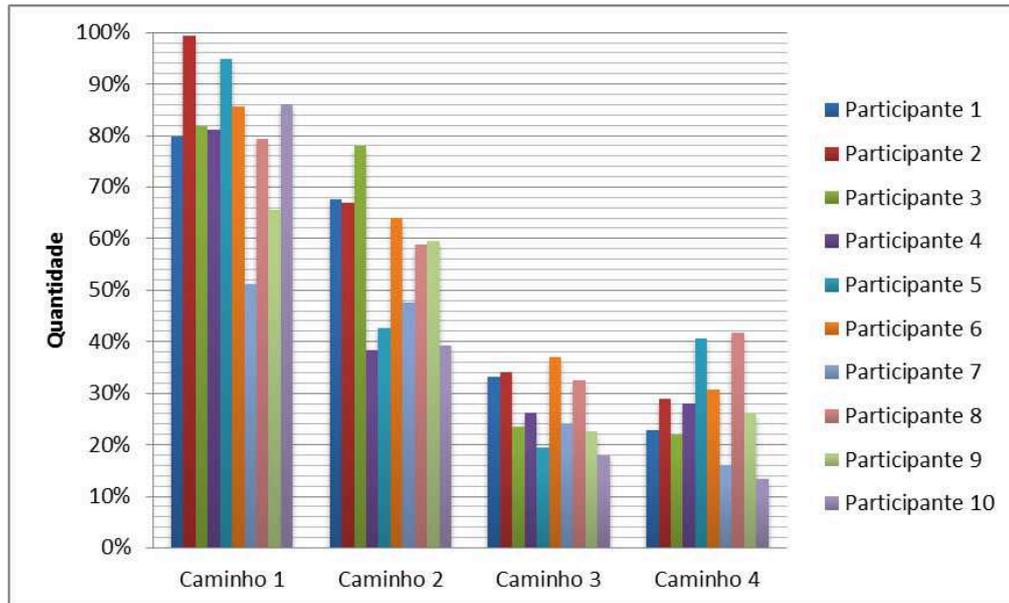


Figura 9.23: Quantidade do objeto que cada participante manteve dentro do círculo menor utilizando gestos. Valores detalhados são encontrados na Tabela 9.30.

Participante	Caminho 1	Caminho 2	Caminho 3	Caminho 4
1	0,79764	0,676155	0,331908	0,227383
2	0,993856	0,669712	0,340273	0,289031
3	0,817999	0,780217	0,235263	0,219577
4	0,811844	0,383961	0,261377	0,27944
5	0,949089	0,426191	0,194143	0,405217
6	0,855085	0,640521	0,369894	0,306504
7	0,510713	0,47598	0,238441	0,160724
8	0,791983	0,587903	0,323849	0,418093
9	0,655245	0,593922	0,226141	0,261921
10	0,860626	0,39184	0,178059	0,132672

Tabela 9.30: Quantidade do objeto mantida dentro do círculo menor utilizando gestos.

### 9.3.3 Execução da tarefa com combinações de mouse e teclado

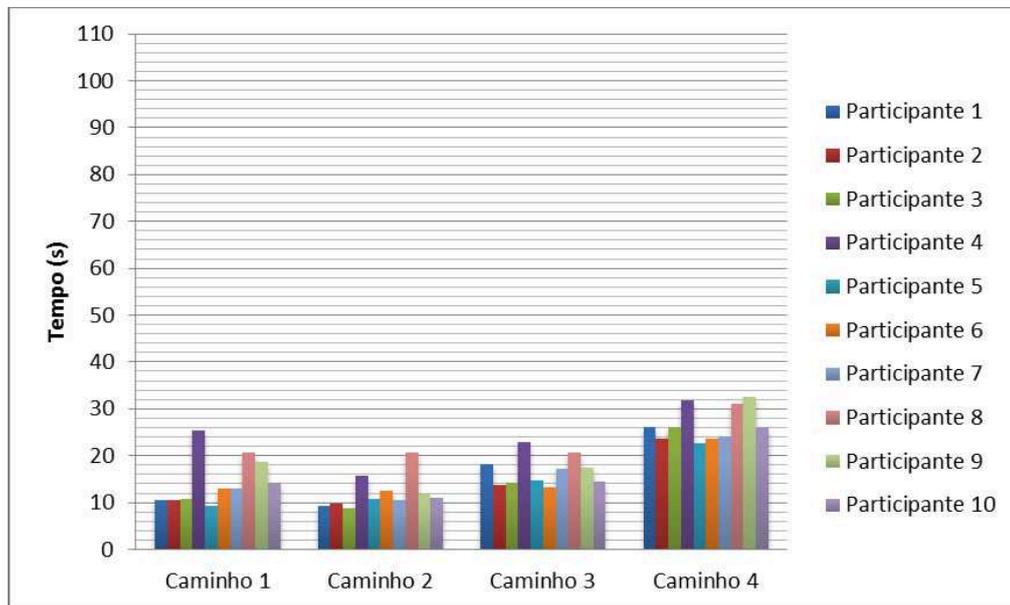


Figura 9.24: Tempo de cada participante para percorrer os caminhos utilizando combinações de mouse e teclado.

Participante	Caminho 1	Caminho 2	Caminho 3	Caminho 4
1	10,615172	9,353884	18,140691	26,00696
2	10,516371	9,690538	13,785423	23,710327
3	10,682674	8,6986085	14,269406	26,13744
4	25,294845	15,587063	22,825923	31,800197
5	9,1568255	10,774949	14,678081	22,55116
6	13,026764	12,60128	13,135021	23,693675
7	13,043211	10,383009	17,239745	24,118981
8	20,55723	20,750242	20,616955	31,050449
9	18,623893	11,734251	17,338936	32,418618
10	14,252883	10,999317	14,369566	26,093972

Tabela 9.31: Tempos de execução da tarefa (em segundos) utilizando combinações de mouse e teclado.

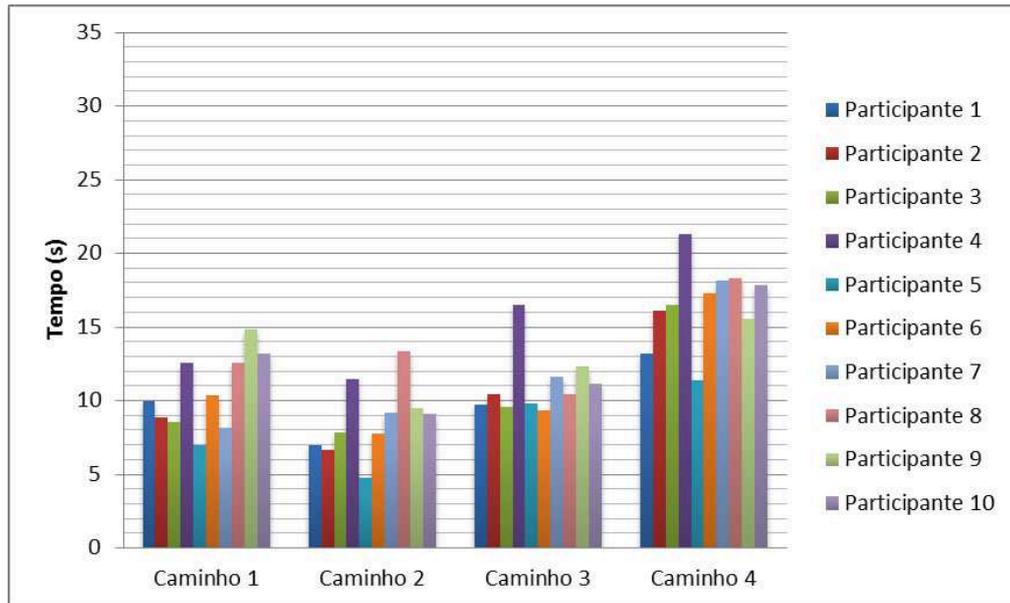


Figura 9.25: Tempo de cada participante mantendo o objeto dentro do círculo maior utilizando combinações de mouse e teclado. Valores detalhados são encontrados na Tabela 9.26.

Participante	Caminho 1	Caminho 2	Caminho 3	Caminho 4
1	9,927478	6,916267	9,69126	13,175899
2	8,840471	6,655346	10,424845	16,046147
3	8,523056	7,839593	9,524529	16,478547
4	12,493216	11,425515	16,496441	21,249418
5	6,971891	4,720446	9,740593	11,376332
6	10,307858	7,756596	9,290879	17,230821
7	8,105991	9,123843	11,562806	18,149151
8	12,559897	13,311118	10,408593	18,264975
9	14,811257	9,474749	12,310454	15,530066
10	13,160576	9,057022	11,125417	17,778261

Tabela 9.32: Tempo (em segundos) mantendo o objeto dentro do círculo maior utilizando combinações de mouse e teclado.

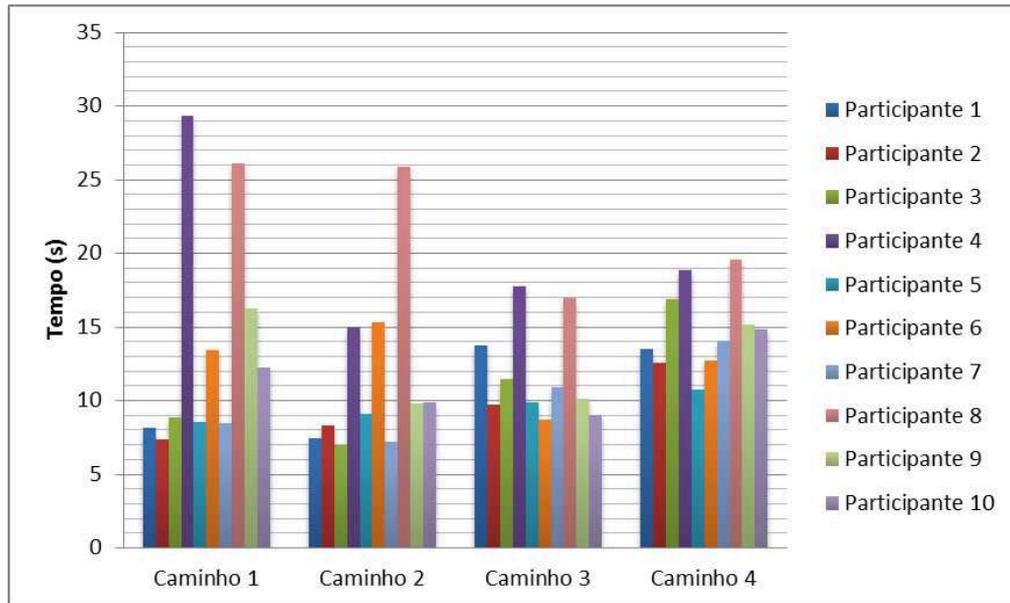


Figura 9.26: Tempo de cada participante mantendo o objeto dentro do círculo menor utilizando combinações de mouse e teclado. Valores detalhados são encontrados na Tabela 9.27.

Participante	Caminho 1	Caminho 2	Caminho 3	Caminho 4
1	8,134893	7,407894	13,735194	13,463551
2	7,289348	8,291006	9,657948	12,560057
3	8,840533	6,922939	11,45918	16,847481
4	29,323091	14,945492	17,730868	18,798122
5	8,474603	9,057157	9,824004	10,673906
6	13,410598	15,245309	8,690182	12,693543
7	8,407224	7,137652	10,875944	14,046009
8	26,037237	25,821517	16,947401	19,515785
9	16,197419	9,741368	10,058402	15,096956
10	12,226661	9,807435	8,957374	14,813588

Tabela 9.33: Tempo (em segundos) mantendo o objeto dentro do círculo menor utilizando combinações de mouse e teclado.

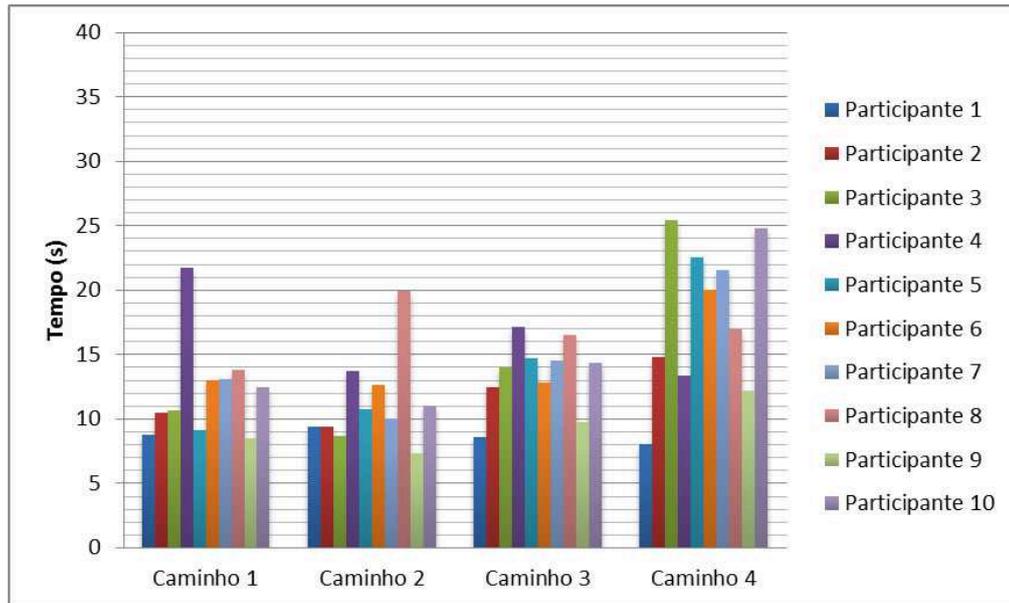


Figura 9.27: Tempo de cada participante mantendo o objeto dentro da distância estabelecida utilizando combinações de mouse e teclado. Valores detalhados são encontrados na Tabela 9.34.

Participante	Caminho 1	Caminho 2	Caminho 3	Caminho 4
1	8,7233655	9,3399295	8,5626345	8,0189045
2	10,500138	9,3406865	12,4766595	14,820178
3	10,6667365	8,682327	13,936149	25,4206605
4	21,67543	13,702641	17,096468	13,34394
5	9,1406565	10,758624	14,6617535	22,5349265
6	13,0103135	12,5852075	12,768431	19,9743975
7	13,026902	10,007848	14,479466	21,533887
8	13,7604525	19,8747085	16,5054775	16,980595
9	8,473642	7,3143005	9,7580235	12,151172
10	12,4260715	10,983466	14,3534625	24,7941505

Tabela 9.34: Tempo (em segundos) mantendo o objeto dentro da distância estabelecida utilizando combinações de mouse e teclado.

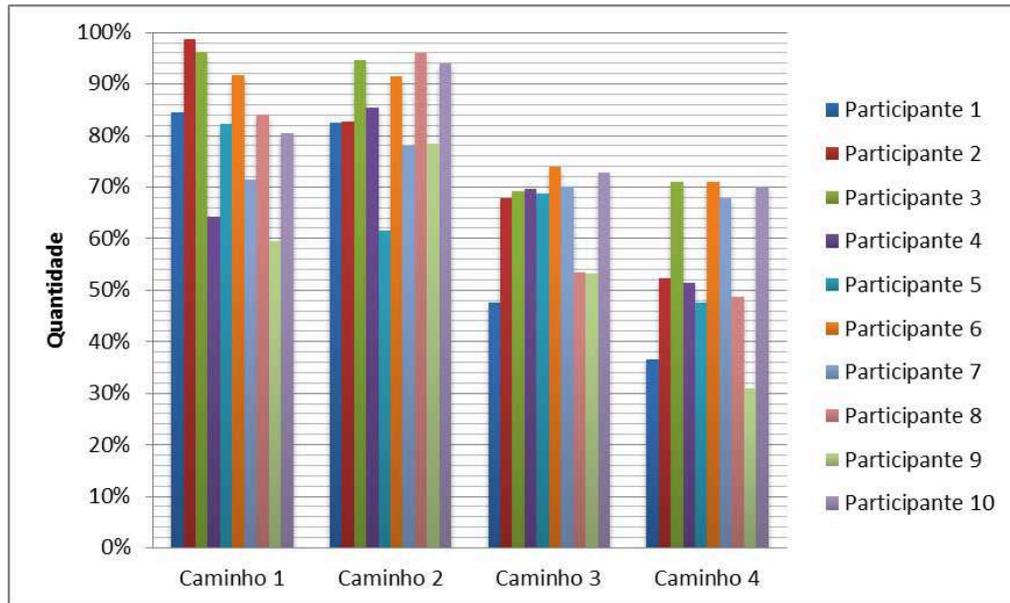


Figura 9.28: Quantidade do objeto que cada participante manteve dentro do círculo maior utilizando combinações de mouse e teclado. Valores detalhados são encontrados na Tabela 9.35.

Participante	Caminho 1	Caminho 2	Caminho 3	Caminho 4
1	0,8435	0,823552	0,475794	0,36529
2	0,986169	0,826514	0,677834	0,523009
3	0,961958	0,945262	0,6912	0,710407
4	0,641251	0,852506	0,694809	0,514751
5	0,821187	0,61499	0,687773	0,474285
6	0,916175	0,914329	0,738631	0,709288
7	0,7133	0,77976	0,700438	0,677364
8	0,839546	0,958965	0,534634	0,486974
9	0,595542	0,784503	0,532159	0,307824
10	0,804143	0,938095	0,727853	0,70146

Tabela 9.35: Quantidade do objeto mantida dentro do círculo maior utilizando combinações de mouse e teclado.

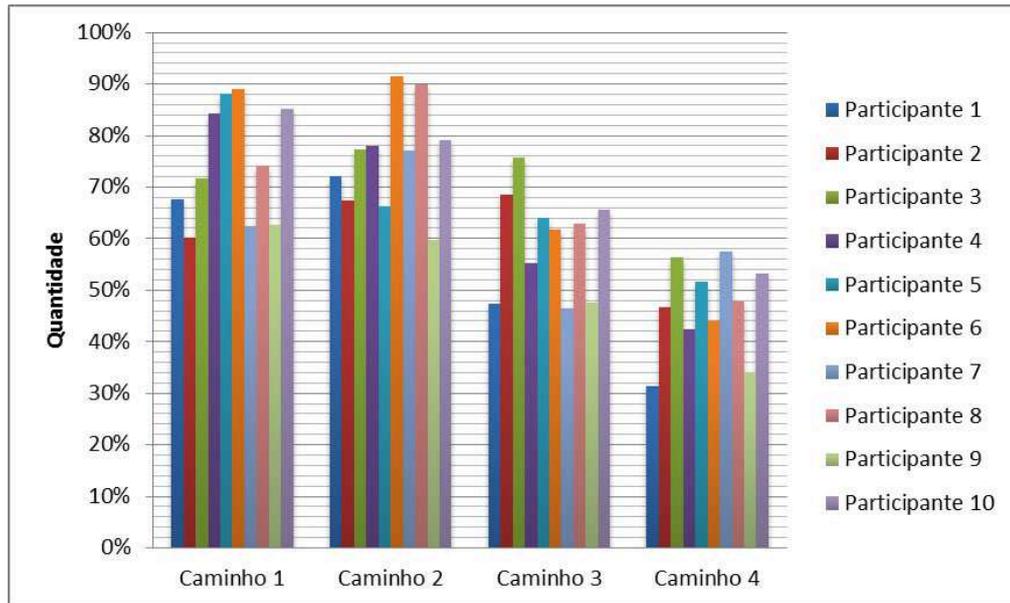


Figura 9.29: Quantidade do objeto que cada participante manteve dentro do círculo menor utilizando combinações de mouse e teclado. Valores detalhados são encontrados na Tabela 9.36.

Participante	Caminho 1	Caminho 2	Caminho 3	Caminho 4
1	0,674756	0,71956	0,471958	0,313698
2	0,600347	0,672663	0,683454	0,465724
3	0,716529	0,77134	0,756488	0,561812
4	0,840832	0,777962	0,55203	0,423556
5	0,87963	0,661887	0,638934	0,516722
6	0,889691	0,913954	0,615788	0,439459
7	0,624698	0,771007	0,463862	0,573054
8	0,740244	0,897139	0,628545	0,478332
9	0,62662	0,596638	0,474992	0,340297
10	0,850714	0,790869	0,655862	0,530279

Tabela 9.36: Quantidade do objeto mantida dentro do círculo menor utilizando combinações de mouse e teclado.

## REFERÊNCIAS

- [1] S. Airspace. Freeform. <https://airspace.leapmotion.com/apps/freeform/windows>, 2013. [Online; Acesso em: 20/06/2014].
- [2] O. K.-C. Au, C.-L. Tai, and H. Fu. Multitouch gestures for constrained transformation of 3d objects. *Computer Graphics Forum*, 31(2pt3):651–660, 2012.
- [3] AutoCAD. Autocad. <http://www.autodesk.com.br/products/autocad/overview>, 2014. [Online; Acesso em: 19/11/2014].
- [4] R. Balakrishnan and G. Kurtenbach. Exploring bimanual camera control and object manipulation in 3d graphics interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 56–62. ACM, 1999.
- [5] Blender. Blender. <http://www.blender.org/>, 2014. [Online; Acesso em: 23/06/2014].
- [6] M. Cabral, A. Montes, O. Belloc, R. Ferraz, F. Teubl, F. Doreto, R. Lopes, and M. Zuffo. Bi-manual gesture interaction for 3d cloud point selection and annotation using cots. In *3D User Interfaces (3DUI), 2014 IEEE Symposium on*, pages 187–188. IEEE, 2014.
- [7] J. Edelmann, A. Schilling, and S. Fleck. The dabr-a multitouch system for intuitive 3d scene navigation. *3DTV Conference: The True Vision-Capture, Transmission and Display of 3D Video, 2009*, pages 1–4, 2009.
- [8] M. Hachet, F. Declé, and P. Guitton. Z-goto for efficient navigation in 3d environments from discrete inputs. In *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*, pages 236–239. ACM, 2006.
- [9] K. Hald. Low-cost 3dUI using hand tracking and controllers. In *3D User Interfaces (3DUI), 2013 IEEE Symposium on*, pages 205–206. IEEE, 2013.
- [10] M. Hancock, S. Carpendale, and A. Cockburn. Shallow-depth 3d interaction: design and evaluation of one-, two-and three-touch techniques. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 1147–1156, 2007.

- [11] M. Hancock, T. Ten Cate, and S. Carpendale. Sticky tools: full 6dof force-based interaction for multi-touch tables. *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, pages 133–140, 2009.
- [12] M. Herrlich, B. Walther-Franks, and R. Malaka. Integrated rotation and translation for 3d manipulation on multi-touch interactive surfaces. *Smart Graphics*, pages 146–154, 2011.
- [13] H. Kim, G. Albuquerque, S. Havemann, and D. W. Fellner. Tangible 3d: Hand gesture interaction for immersive 3d modeling. *IPT/EGVE*, pages 191–199, 2005.
- [14] J.-S. Kim, D. Gračanin, K. Matković, and F. Quek. Finger walking in place (fwip): A traveling technique in virtual environments. In *Smart Graphics*, pages 58–69. Springer, 2008.
- [15] K. Kin, T. Miller, B. Bollensdorff, T. DeRose, B. Hartmann, and M. Agrawala. Eden: a professional multitouch tool for constructing virtual organic environments. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 1343–1352, 2011.
- [16] S. Kratz, M. Rohs, D. Guse, J. Müller, G. Bailly, and M. Nischt. PalmSpace: Continuous around-device gestures vs. multitouch for 3d rotation tasks on mobile devices. *Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, pages 181–188, 2012.
- [17] J. Lin, Q. Sun, G. Li, and Y. He. Snapblocks: a snapping interface for assembling toy blocks with xbox kinect. *Multimedia Tools and Applications*, pages 1–24, 2013.
- [18] J. Liu, O. K.-C. Au, H. Fu, and C.-L. Tai. Two-finger gestures for 6dof manipulation of 3d objects. *Computer Graphics Forum*, 31(7pt1):2047–2055, 2012.
- [19] P. Lubos, R. Beimler, M. Lammers, and F. Steinicke. Touching the cloud: Bimanual annotation of immersive point clouds. In *3D User Interfaces (3DUI), 2014 IEEE Symposium on*, pages 191–192. IEEE, 2014.
- [20] A. Martinet, G. Casiez, and L. Grisoni. The design and evaluation of 3d positioning techniques for multi-touch displays. *3D User Interfaces (3DUI), 2010 IEEE Symposium on*, pages 115–118, 2010.

- [21] C. Microsoft. Kinect sensor. <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/hh438998.aspx>, 2012. [Online; Acesso em: 04/06/2014].
- [22] H. Nishino, K. Utsumiya, and K. Korida. 3d object modeling using spatial and pictographic gestures. In *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*, pages 51–58. ACM, 1998.
- [23] F. Ortego, N. Rische, A. Barreto, and M. Adjouadi. Interaction with 3d environments using multi-touch screens. In *Innovations and Advances in Computer, Information, Systems Sciences, and Engineering*, pages 381–392. Springer, 2013.
- [24] Pocket-lint. Leap motion’s freeform app helps your 3d printing, next-gen tracking coming january 2014. <http://cdn.pocket-lint.com/r/s/727x/assets/images/phpvgi5co.jpg>, 2013. [Online; Acesso em: 23/06/2014].
- [25] J. L. Reisman, P. L. Davidson, and J. Y. Han. A screen-space formulation for 2d and 3d direct manipulation. *Proceedings of the 22nd annual ACM symposium on User interface software and technology*, pages 69–78, 2009.
- [26] K. Sabir, C. Stolte, B. Tabor, and S. I. O’Donoghue. The molecular control toolkit: Controlling 3d molecular graphics via gesture and voice. *Biological Data Visualization (Bio-Vis), 2013 IEEE Symposium on*, pages 49–56, 2013.
- [27] D. Scheurich and W. Stuerzlinger. A one-handed multi-touch method for 3d rotations. In *Human-Computer Interaction–INTERACT 2013*, pages 56–69. Springer, 2013.
- [28] M. Schlattmann, R. Klein, J. Herder, S. Richir, and I. Thouvenin. Efficient bimanual symmetric 3d manipulation for bare-handed interaction. *Journal of Virtual Reality and Broadcasting*, 7(8):3, 2010.
- [29] R. Sharma, M. Zeller, V. I. Pavlovic, T. S. Huang, Z. Lo, S. Chu, Y. Zhao, J. C. Phillips, and K. Schulten. Speech/gesture interface to a visual-computing environment. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, 20(2):29–37, 2000.
- [30] D. S. Tan, G. G. Robertson, and M. Czerwinski. Exploring 3d navigation: combining speed-coupled flying with orbiting. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 418–425. ACM, 2001.

- [31] C. Telkenaroglu and T. Capin. Dual-finger 3d interaction techniques for mobile devices. *Personal and ubiquitous computing*, 17(7):1551–1572, 2013.
- [32] B. Walther-Franks, M. Herrlich, and R. Malaka. A multi-touch system for 3d modelling and animation. *Smart Graphics*, pages 48–59, 2011.
- [33] Wieschooblog. a simple touchless mouse. <http://www.wieschoo.com/tutorials/leapmotion/touchless-mouse/001493/>, 2014. [Online; Acesso em: 04/06/2014].