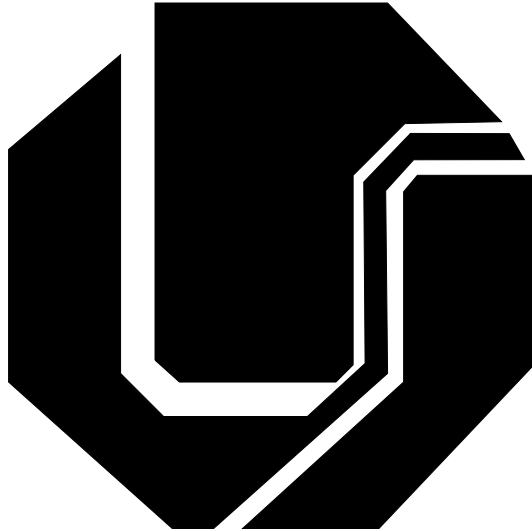


Universidade Federal de Uberlândia
Faculdade de Engenharia Elétrica
Pós-Graduação em Engenharia Elétrica



**AMBIENTES VIRTUAIS PARA AUXILIAR O
DESENVOLVIMENTO DA COGNIÇÃO ESPACIAL EM
CEGOS: UMA ABORDAGEM COM INTERAÇÃO NATURAL**

Luciana de Oliveira Berretta

Uberlândia - MG, Brasil

13 de Maio de 2015

Luciana de Oliveira Berretta

***AMBIENTES VIRTUAIS PARA AUXILIAR O
DESENVOLVIMENTO DA COGNIÇÃO ESPACIAL
EM CEGOS: UMA ABORDAGEM COM
INTERAÇÃO NATURAL***

Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica. Área de concentração: Computação Gráfica.

Orientador:

Prof. Dr. Alexandre Cardoso

Coorientador:

Prof. Dr. Edgard Lamounier

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Uberlândia - MG, Brasil

13 de Maio de 2015

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

B533a
2015 Berretta, Luciana de Oliveira.
 Ambientes virtuais para auxiliar o desenvolvimetro da cognição
 espacial em cegos : uma abordagem com interação natural / Luciana de
 Oliveira Berretta. - 2015.
 114 f. : il.

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

 1. Engenharia elétrica - Teses. 2. Realidade virtual - Teses. 3. Cegos
- Teses. 4. Dispositivos de auto-ajuda para pessoas com deficiência -
Teses. I. Cardoso, Alexandre, 1964- II. Lamounier Júnior, Edgard
Afonso, 1964- III. Universidade Federal de Uberlândia, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. IV. Título.

CDU: 621.3

Tese de doutorado sob o título “*AMBIENTES VIRTUAIS PARA AUXILIAR O DESENVOLVIMENTO DA COGNIÇÃO ESPACIAL EM CEGOS: UMA ABORDAGEM COM INTERAÇÃO NATURAL*”, defendida por Luciana de Oliveira Berretta e aprovada em 13 de Maio de 2015, em Uberlândia, estado de Minas Gerais, pela banca examinadora constituída pelos professores:

Prof. Dr. Edgard Lamounier
Universidade Federal de Uberlândia
Coordenador do Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Elétrica

Prof. Dr. Alexandre Cardoso
Universidade Federal de Uberlândia
Orientador

Prof. Dr. Edgard Lamounier
Universidade Federal de Uberlândia
Coorientador

Prof. Dr. Adriano Alves Pereira
Universidade Federal de Uberlândia

Profa. Dra. Pollyana Notargiacomo Mustaro
Mackenzie

Prof. Dr. Cláudio Kirner
Universidade Federal de Itajubá

Dedicatória

A vida é como uma viagem em alto mar. Há momentos de calma e momentos de tempestades. Durante esse tempo de doutorado enfrentei as maiores tempestades da minha vida, e precisei de muita ajuda para não “afundar”. Esse trabalho, dedico a todos aqueles que estiveram ao meu lado, em especial minha família que sempre foi e sempre será meu porto seguro.

Agradecimentos

Agradeço,

a Deus por me dar força para superar as dificuldades e mostrar os caminhos nas horas incertas.

Aos professores Alexandre Cardoso e Edgard Lamounier (Orientador e Coorientador, respectivamente) pela confiança, colaboração e conhecimentos transmitidos.

Aos meus pais, Marcos e Cristina, e irmãos Ricardo e Mariana, por estarem sempre ao meu lado. Não tenho palavras para descrever meu amor e gratidão.

À minha sobrinha Júlia, por sempre me fazer sorrir.

Ao Luciano por entrar novamente em minha vida e me mostrar que é possível recomeçar.

À Milena que me ajudou na parte metodológica e psicológica.

Às minhas tias, primas e cunhada Patrícia pelo apoio e torcida.

Ao Fabrizzio por toda a ajuda dedicada a esse trabalho, desde a ideia inicial até a finalização.

Ao Marcos Wagner que me incentivou a entrar para o "mundo" da Computação Gráfica.

À Deller pela parceria nos trabalhos.

À Cinara que sempre me ajudou de imediato em tudo que precisei.

Aos colegas do LabCG pelos momentos e conhecimentos compartilhados, em especial Daniel Stefany, Pedro Cacique, Fábio Henrique e Kenedy.

Aos voluntários que testaram o sistema, além da ajuda técnica, me fizeram ver o mundo de outra forma e me mostraram o verdadeiro significado da palavra superação.

A diretora, assistente social, professores de Orientação e Mobilidade e todos os funcionários

do centro de reabilitação de cegos, que permitiram a realização dos testes.

À Sônia que me indicou esse centro de reabilitação de cegos e me apresentou ao professor de OM.

À CAPES e à FAPEG pelo apoio financeiro.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho.

“A força não provém da capacidade
física. Provém de uma vontade
indomável.”

(Mahatma Gandhi)

Resumo

A impossibilidade de navegar de forma independente é uma das desvantagens mais significativas que podem ser causadas pela cegueira. Muitas dificuldades são encontradas quando pessoas com deficiência visual (PDVs) precisam visitar lugares novos e desconhecidos. Este trabalho propõe o uso de uma interface de simulação de locomoção que permita uma forma natural de exploração de Ambientes Virtuais (AV), para propiciar aos deficientes visuais a criação de mapas cognitivos de forma eficiente e, assim, auxiliar a sua mobilidade. Foi desenvolvido um sistema computacional, denominado SACEC - Sistema de Auxílio da Cognição Espacial em Cegos, que utiliza técnicas de Realidade Virtual e Interação Natural. O sistema permite a modelagem de Ambientes Virtuais bidimensionais ou tridimensionais. É possível reproduzir ambientes reais como escolas, universidades e outros espaços de interesse. A interação com o Ambiente Virtual ocorre por meio do reconhecimento de poses, que são interpretadas como ações de andar, girar ou tatear, e com respostas sonoras. Foram realizados testes com 20 PDVs, homens e mulheres com idades entre 18 e 60 anos, para avaliação e validação do sistema desenvolvido, bem como da interface proposta. Os resultados obtidos demonstraram a efetividade do SACEC, assim como avaliação positiva de todos os participantes que conseguiram criar o mapa cognitivo do ambiente navegado e reproduzi-lo verbalmente e em blocos montáveis. Desta forma, pode ser indicado no auxílio do trabalho de Orientação e Mobilidade (OM), e consequentemente contribuir com maior inclusão social dessas pessoas.

Palavras-chave: Ambiente Virtual, Cegos, Interação Natural, Kinect, Mapas Cognitivos Espaciais, Tecnologia Assistiva.

Abstract

The inability to navigate independently is one of the most significant handicaps due by blindness. Many difficulties can be faced when visually impaired people (VIP) need to visit new and unknown places. Our approach is to use locomotion simulation interface to allow a natural exploration way of virtual environment (VE) to assist VIP to create cognitive maps efficiently, and thereby to enhance their mobility skill. A computer system, called SACEC - Assist System Spatial Cognition in the Blind, was developed using virtual reality techniques and natural interaction. The system allows the modeling of two-dimensional or three-dimensional virtual environments, and it is possible to reproduce actual environments such as schools, universities and others points of interest. The interaction with the virtual environment is based on the recognition of poses, which are interpreted as actions such as walking, turning, or front and side touch, and feedback sounds are sent to user. In order to review and validation of the developed system and the proposed interface tests are performed with actual VIPs, men and women aged from 18 to 60 years. A result shows the effectiveness of the SACEC in developing cognitive map of the simulated environment, as well the positive feedback shows that the system can be entertaining and pleasant to the participants. Therefore, SACEC has a great potential to be used in aid to Orientation and Mobility (OM) trainings, and thus contribute to greater social inclusion of those people.

Keywords: Assistive Technologies, Blind Person, Kinect, Natural Interaction, Spatial Cognitive Maps, Virtual Environment.

Sumário

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

Lista de abreviaturas e siglas

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivos do Trabalho	3
1.2	Hipóteses	3
1.3	Estrutura do Trabalho	3
2	DEFICIÊNCIA VISUAL	5
2.1	Introdução	5
2.2	Orientação e Mobilidade (OM)	6
2.3	Percepção	8
2.3.1	Audição	8
2.3.2	Tato ou sistema háptico	9
2.3.3	Olfato	10
2.3.4	Cinestesia	10
2.3.5	Sentido vestibular ou labiríntico	10

2.3.6	Memória muscular	11
2.4	Mapas Cognitivos	11
2.5	Tecnologias Assistivas para Cegos	12
2.5.1	Tecnologias assistivas tradicionais	13
2.5.2	Tecnologias assistivas de substituição sensorial	13
2.5.3	Sistemas de auxílio à navegação	16
3	INTERFACES COM INTERAÇÃO NATURAL E REALIDADE VIRTUAL	17
3.1	Introdução	17
3.2	Interface Humano-Computador	18
3.3	Interação Natural	20
3.4	Dispositivos de Interação	21
3.5	Realidade Virtual	25
3.5.1	Ambientes virtuais	27
3.5.2	Aplicações de realidade virtual	27
4	TECNOLOGIAS PARA AUXILIAR A NAVEGAÇÃO DE PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL	29
4.1	Introdução	29
4.2	<i>Personal Guidance System</i>	30
4.3	<i>MoBIC Travel Aid</i>	30
4.4	<i>Sistemas Guiados por Balizas</i>	31
4.5	<i>Navbelt</i>	32
4.6	<i>Autonomous System for Mobility, Orientation, Navigation and Communication</i>	33
4.7	<i>Tyflos</i>	34
4.8	<i>Mobile Vision as Assistive Technology for the Blind: An Experimental Study</i> . .	34
4.9	<i>Cognitive-Map Formation of Blind Persons in a Virtual Sound Environment</i> . .	35
4.10	<i>AudioDoom, AudioMetro e Audio-Based Environment Stimulator</i>	36

4.11	<i>Spatial Learning Using Locomotion Interface to Virtual Environment</i>	37
4.12	<i>NAVI – Navigational Aids for the Visually Impaired</i>	38
4.13	Cão-Guia Robô	39
4.14	Resumo Comparativo	39
5	SACEC - SISTEMA DE AUXÍLIO A COGNIÇÃO ESPACIAL EM CEGOS	42
5.1	Introdução	42
5.2	SACEC	42
5.2.1	Configuração do sistema	44
5.2.2	Funcionamento do sistema	44
5.3	Reconhecimento de Poses	45
5.3.1	Inicialização do sistema	46
5.3.2	Cálculo de distâncias para detecção de poses	46
5.3.3	Detecção das poses de tateamento lateral	47
5.3.4	Detecção das poses de tateamento frontal	48
5.3.5	Detecção da simulação de caminhada	49
5.3.6	Detecção do movimento de girar para a esquerda e direita	50
5.4	Parâmetros para as Poses	51
6	MÉTODO E RESULTADOS	53
6.1	Introdução	53
6.2	Participantes	53
6.3	Materiais e Métodos	54
6.3.1	Procedimento	54
6.3.2	Local de realização do estudo	54
6.3.3	Ambiente usado nos testes	55
6.4	Resultados	55

6.5	Desempenho dos Participantes	57
6.5.1	Participante P1	57
6.5.2	Participante P2	58
6.5.3	Participante P3	58
6.5.4	Participante P4	59
6.5.5	Participante P5	60
6.5.6	Participante P6	61
6.5.7	Participante P7	61
6.5.8	Participante P8	62
6.5.9	Participante P9	63
6.5.10	Participante P10	63
6.5.11	Participante P11	63
6.5.12	Participante P12	64
6.5.13	Participante P13	65
6.5.14	Participante P14	66
6.5.15	Participante P15	66
6.5.16	Participante P16	67
6.5.17	Participante P17	68
6.5.18	Participante P18	69
6.5.19	Participante P19	69
6.5.20	Participante P20	70
6.6	Avaliação do Desempenho dos Participantes	71
6.7	Verificação das Hipóteses	74
6.7.1	Hipótese 1	75
6.7.2	Hipótese 2	75
6.7.3	Hipótese 3	76

6.7.4	Avaliação do sistema pelos participantes	77
6.7.5	Considerações finais	80
7	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	81
7.1	Trabalhos Futuros	82
7.2	Publicações Originadas Deste Trabalho	83
	Referências Bibliográficas	84
	Anexo A – Questionário Inicial e Final	96
A.1	Questionário Inicial	96
A.2	Questionário Final	96
	Anexo B – Sequência de Movimentos dos Participantes	98
B.1	Participante P1	98
B.2	Participante P2	100
B.3	Participante P3	101
B.4	Participante P4	102
B.5	Participante P5	103
B.6	Participante P6	104
B.7	Participante P7	104
B.8	Participante P8	105
B.9	Participante P9	105
B.10	Participante P10	107
B.11	Participante P11	107
B.12	Participante P12	108
B.13	Participante P13	109
B.14	Participante P14	110

B.15 Participante P15	111
B.16 Participante P16	112
B.17 Participante P17	112
B.18 Participante P18	113
B.19 Participante P19	114
B.20 Participante P20	114

Lista de Figuras

3.1	<i>PlayStation EyeToy</i>	22
3.2	Nintendo Wii Remote.	22
3.3	<i>PlayStation Eye</i>	23
3.4	PlayStation Move.	23
3.5	<i>Kinect</i> para <i>XBOX 360</i>	24
3.6	Asus <i>Xtion</i>	25
4.1	Personal Guidance System.	30
4.2	Protótipo do software de exploração.	31
4.3	Sistema por balizas	31
4.4	Navbelt.	32
4.5	Autonomous System for Mobility, Orientation, Navigation and Communication.	33
4.6	Protótipo Tyflos. Esquerda: câmeras estéreo anexado em óculos escuros, microfone, fones de ouvido e computador portátil. Direita: Colete vibração anexado no abdômen de um usuário.	34
4.7	Marcadores de cores especiais detectados por celular.	35
4.8	O participante navegando no sistema e o editor de mapas.	35
4.9	<i>AudioDoom</i>	36
4.10	<i>Audiometro</i>	37
4.11	<i>EnvironmentStimulator</i>	37

4.12	Interface de locomoção usando esteira mecânica.	38
4.13	NAVI.	38
4.14	Cão guia robótico.	39
5.1	Tela do SACEC.	43
5.2	Exemplo de arquivo texto do ambiente modelado.	43
5.3	Estrutura do sistema com reconhecimento de poses.	45
5.4	Modelo em pose ψ	46
5.5	Medidas obtidas após a calibração.	47
5.6	Pose de tatear para o lado e modelo geométrico.	48
5.7	Pose frontal de verificação de obstáculo.	49
5.8	Pose de caminhada	49
5.9	Modelo geométrico da pose de caminhada.	50
5.10	Pose de rotação	50
5.11	Visão superior da rotação dos ombros em relação ao pescoço.	51
6.1	Visão de topo 2D do labirinto.	55
6.2	Participante P1.	58
6.3	Participante P2.	58
6.4	Participante P3.	59
6.5	Participante P4.	60
6.6	Participante P5.	60
6.7	Participante P6.	61
6.8	Participante P7.	62
6.9	Participante P8.	62
6.10	Participante P10.	64
6.11	Participante P11.	64
6.12	Participante P12.	65

6.13 Participante P13.	66
6.14 Participante P14.	66
6.15 Participante P15.	67
6.16 Participante P16.	68
6.17 Participante P17.	68
6.18 Participante P18.	69
6.19 Participante P19.	70
6.20 Participante P20.	70
6.21 Relação tempo e número de movimentos do participante P1.	73
6.22 Relação tempo e número de movimentos do participante P1.	74
6.23 Sentimento após utilização do sistema	78
6.24 Sugeriram melhorias para o sistema	78
6.25 Usaria novamente o sistema	79
6.26 Usaria novamente o sistema	79

Lista de Tabelas

4.1	Características dos trabalhos relacionados	40
5.1	Parâmetros para detecção de poses	52
6.1	Resumo estatístico dos dados dos participantes	55
6.2	Desempenho participante P1	57
6.3	Desempenho participante P2	58
6.4	Desempenho participante P3	59
6.5	Desempenho participante P4	59
6.6	Desempenho participante P5	60
6.7	Desempenho participante P6	61
6.8	Desempenho participante P7	61
6.9	Desempenho participante P8	62
6.10	Desempenho participante P9	63
6.11	Desempenho participante P10	63
6.12	Desempenho participante P11	64
6.13	Desempenho participante P12	65
6.14	Desempenho participante P13	65
6.15	Desempenho participante P14	66
6.16	Desempenho participante P15	67
6.17	Desempenho participante P16	67

6.18	Desempenho participante P17	68
6.19	Desempenho participante P18	69
6.20	Desempenho participante P19	69
6.21	Desempenho participante P20	70
6.22	Desempenho dos Participantes	71
6.23	Ganho Relativo de Aprendizagem	72
6.24	Desempenho Estatístico	73
6.25	Teste de Sinal	75
6.26	Teste U Wilcoxon-Mann-Whitney	76
6.27	ANOVA Kruskal-Wallis	76
6.28	Teste Student-Newman-Keuls	77

Lista de abreviaturas e siglas

ACM	Association for Computing Machinery
AV	Ambiente Virtual
CAT	Comitê de Ajudas Técnicas
DP	Desvio Padrão
GIS	Geographic Information System (Sistema de Informação Geográfica)
GPS	Global positioning System (Sistema de Posicionamento Global)
GUI	Graphical User Interface (Interface Gráfica de Usuário)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEEE	Institute of Electric and Electronic Engineers (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos)
GD	Giro para Direita
GE	Giro para Esquerda
IHC	Interação Humano-Computador
OM	Orientação e Mobilidade
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PDV	Portador de Deficiência Visual

PF	Passo a Frente
RV	Realidade Virtual
SACEC	Sistema de Auxilio a Cognição Espacial em Cegos
TF	Tateamento Frontal
TD	Tateamento para Direita
TE	Tateamento para Esquerda
USB	Universal Serial Bus

INTRODUÇÃO

“[...] quero olhar o mundo com a
coragem do cego.”

Cazuza

Nas últimas décadas, em todo o mundo, a questão da inclusão vem ganhando espaço e força, estando hoje constituída como movimento social e político. A Declaração dos Direitos das Pessoas Deficientes, aprovada em 1975 pela Organização das Nações Unidas - ONU, considera como deficiente aquela pessoa incapaz de assegurar por si mesma, total ou parcialmente, as necessidades de uma vida individual ou social normal, em decorrência de uma deficiência, congênita ou não, em suas capacidades físicas ou mentais (ONU, 1975).

Em 1981 a ONU instituiu o Ano e a Década da Pessoa Portadora de Deficiência, abrindo espaço nos meios de comunicação para uma maior conscientização da sociedade. A partir da década de 1990, com a realização da Conferência Mundial de Educação para Todos (1990) e com a Declaração de Salamanca de Princípios, Política e Prática para as Necessidades Educativas Especiais (1994), passou a vigorar a era da inclusão em que as exigências não se referem apenas ao direito da pessoa com deficiência à integração social, mas sim, ao dever da sociedade como um todo, de se adaptar às diferenças individuais (KRUENZER; CALAZANS; GARCIA, 2003).

Inicia-se, portanto, uma mudança cultural, social e paradigmática em relação ao tratamento das pessoas deficientes, mas acima de tudo, de inclusão social. De acordo com Sassaki (1997), a inclusão social foi um processo que contribuiu para a construção de um novo tipo de sociedade por meio de transformações nos ambientes físicos e na mentalidade de todas as pessoas e também do próprio portador de necessidades especiais.

Este trabalho versa sobre dificuldade de locomoção da pessoa com deficiência visual. A deficiência visual é definida como a perda total ou parcial, congênita ou adquirida, da visão. A cegueira caracteriza-se pela perda total da visão ou pouquíssima capacidade de enxergar. A baixa visão ou visão subnormal caracteriza-se pelo comprometimento do funcionamento visual dos olhos mesmo após tratamento ou correção (NOWILL, 2013) .

A delimitação do grupamento de pessoas cegas e com baixa visão se dá por duas escalas oftalmológicas. Essas escalas são a acuidade visual e campo visual. A acuidade visual é o que se enxerga a uma determinada distância e o campo visual é a amplitude da área alcançada pela visão. Uma pessoa é considerada cega se a visão corrigida do melhor dos seus olhos é de 20/200 ou menos, isto é, se ela pode ver a 20 pés (6 metros) o que uma pessoa de visão normal pode ver a 200 pés (60 metros), ou se o diâmetro mais largo do seu campo visual subentende um arco não maior de 20°, ainda que sua acuidade visual nesse estreito campo possa ser superior a 20/200. Nesse contexto, caracteriza-se como portador de baixa visão aquele que possui acuidade visual de 6/60 a 18/60 e/ou um campo visual entre 20 e 50°(CONDE, 2013).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que 285 milhões de pessoas ao redor do mundo possuem algum tipo de deficiência visual. Deste total, 90% vivem em países em desenvolvimento (WHO Media Centre, Jun, 2012). No Brasil, de acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2012), mais de 506 mil pessoas são cegas e mais de 6 milhões possuem deficiência visual severa, totalizando mais de 6,5 milhões de pessoas que possuem alguma deficiência visual.

Os maiores desafios enfrentados por pessoas com deficiência visual estão relacionados com a Orientação e a Mobilidade. Os cegos não podem contar com pistas visuais para obter informações e visualmente ordenar e classificar o seu ambiente físico. Porém, mesmo não dispondo do canal visual, os deficientes visuais adquirem conhecimento do ambiente utilizando os outros mecanismos sensoriais (MACHADO, 2003).

Uma pessoa completamente cega, quando bem treinada, locomove-se sem precisar de auxílio em um ambiente conhecido (SMITH, 2001). Isso se dá pelo fato do indivíduo construir um mapa cognitivo do ambiente à sua volta (MONTEIRO, 2004).

Em consonância com as discussões acima e com a busca de décadas pela inclusão social, novas Tecnologias Assistivas estão sendo trabalhadas. As interfaces de locomoção, segundo Patel e Vij (2012), têm potencial para fornecer uma sensação próxima da natural de uma navegação real e uma efetiva capacidade para desenvolver a habilidade de navegação espacial em deficientes visuais.

1.1 Objetivos do Trabalho

Este trabalho tem como objetivo geral criar uma interface de locomoção que permita a exploração de Ambientes Virtuais, por meio de Interação Natural, para propiciar a pessoa com deficiência visual a criação do mapa cognitivo dos ambientes navegados e proporcionar uma locomoção mais autônoma e independente em ambientes reais.

O trabalho tem como objetivos específicos:

- Desenvolver uma interface de locomoção utilizando técnicas de Realidade Virtual e Interação Natural.
- Criar ambientes virtuais (2D ou 3D) como réplicas de ambientes reais (escolas, universidades, órgãos públicos, praças e outros).
- Desenvolver relações entre conjuntos de poses e informações sonoras para a representação de colisões entre o corpo do usuário e elementos do ambiente virtual.
- Treinar o usuário para se locomover no ambiente virtual e avaliar se o treinamento propicia o desenvolvimento de um mapa cognitivo do ambiente navegado e, conseqüentemente, uma maior facilidade de locomoção no ambiente real.

1.2 Hipóteses

- O SACEC pode contribuir para a aprendizagem espacial de pessoas com deficiência visual;
- O nível de visão (Cego, Baixa Visão) tem influência significativa no aprendizado espacial usando SACEC;
- A habilidade em OM (Excelente, Bom, Regular) tem influência significativa no aprendizado espacial usando SACEC.

1.3 Estrutura do Trabalho

Este capítulo apresenta o problema, os objetivos e hipóteses deste trabalho.

O capítulo 2 descreve uma visão geral sobre Orientação e Mobilidade, Percepção, Cognição e ainda apresenta algumas Tecnologias Assistivas para cegos.

O capítulo 3 mostra a evolução das Interfaces Humano-Computador destacando as interfaces de Interação Natural, conceitua Realidade Virtual e lista alguns dispositivos de interação.

O capítulo 4 expõe trabalhos correlatos.

O capítulo 5 apresenta o sistema proposto para este trabalho.

O capítulo 6 descreve os experimentos e os resultados.

O capítulo 7 apresenta as conclusões e trabalhos futuros.

DEFICIÊNCIA VISUAL

“O impossível existe até quando alguém duvide dele e prove o contrário.”

Albert Einstein

2.1 Introdução

A visão pode ser considerada como o sentido predominante do ser humano. A maior parte da capacidade do cérebro de processar informações sensoriais é usada para lidar com estímulos visuais (LORA, 2003). O evidente domínio da visão sobre os sentidos torna complicada a execução de tarefas simples do cotidiano pelo deficiente visual. Locomover-se, procurar objetos, vestir-se, tudo tem um grau de dificuldade acentuado. Porém, uma das maiores dificuldades esta ligada às limitações no campo da locomoção (MACHADO, 2003). A perda da liberdade, da facilidade de ir e vir, faz com que seja exigida do sujeito em questão uma nova relação com o mundo, na qual outros canais perceptivos passam a obter destaque na interação homem-ambiente (MONTEIRO, 2004). O desenvolvimento dos outros sentidos aliado ao uso de objetos ou ferramentas adaptadas ou especialmente projetadas para o deficiente visual pode contribuir para uma vida semelhante a de uma pessoa sem deficiência (NOWILL, 2013).

Este capítulo apresenta uma visão geral sobre Orientação e Mobilidade, ressalta a importância dos sentidos remanescentes e da construção de mapas cognitivos para a locomoção, e lista algumas tecnologias tradicionais e assistivas para cegos.

2.2 Orientação e Mobilidade (OM)

Para a Sociedade de Assistência aos Cegos (SAC, 2013), Orientação e Mobilidade é uma área da educação especial voltada à educação e à reabilitação de pessoas que possuem deficiência visual por problemas congênitos ou adquiridos.

A orientação é a habilidade do indivíduo para perceber o ambiente que o cerca, estabelecendo as relações corporais, espaciais e temporais com esse ambiente, por meio dos sentidos (MACHADO, 2003). A orientação do deficiente visual é alcançada pela utilização dos sentidos remanescentes como a audição, tato, olfato, aparelho vestibular e consciência cinestésica (FELIPPE; FELIPPE, 1997). Estes sentidos serão tratados nas seções posteriores deste capítulo.

O processo de orientação, segundo Weishaln (1990), tem como princípio saber onde está, onde quer ir e como chegar ao local desejado. Para responder essas questões, deve-se passar por um processo que envolve a percepção, análise, seleção, planejamento e execução. A percepção é responsável por captar informações presentes no meio ambiente pelos canais sensoriais. A análise por organizar os dados percebidos em graus variados de confiança, familiaridade, sensações e outros. A seleção por escolher os elementos mais importantes que satisfaçam as necessidades imediatas de orientação. O planejamento por elaborar um plano de ação, de como chegar ao objetivo, com base nas fases anteriores. E a execução por realizar o plano de ação por meio da prática.

A mobilidade é a capacidade do indivíduo de se mover reagindo a estímulos internos ou externos, seja em equilíbrio estático ou dinâmico (MACHADO, 2003). A mobilidade é alcançada por um processo ensino-aprendizado e por um método de treinamento que envolve a utilização de recursos mecânicos, ópticos, eletrônicos, animal (cão-guia) em vivência contextualizada, favorecendo o desenvolvimento das habilidades e capacidades perceptivo-motoras do indivíduo (FELIPPE; FELIPPE, 1997).

A Orientação e a Mobilidade devem propiciar ao deficiente visual autonomia na locomoção, auto-confiança, aumento da auto-estima e independência, elementos que são facilitadores na sua integração social (BASTO; GAIO, 2010).

Segundo Machado (2003), para a pessoa com deficiência visual movimentar-se com segurança e eficiência, são necessários os seguintes conceitos básicos relacionados à Orientação e Mobilidade:

Conceito corporal: O indivíduo percebe objetos a partir de um ponto de vista egocêntrico.

Envolve a imagem, o conceito e a concepção corporal, que são elementos essenciais e

independentes para a percepção das relações espaciais. A imagem corporal é a experiência subjetiva do próprio corpo que envolve sentimentos acerca de si mesmo. O conceito do corpo inclui a habilidade de identificar partes do corpo, sua localização e funções. A concepção do corpo, também chamada sensação proprioceptiva, é inconsciente, muda constantemente e serve para tomar conhecimento do próprio corpo.

Conceito espacial: A medida que se desenvolve o conhecimento do próprio corpo, vai se formando um conceito corporal mais exato de suas posições e relações. Na construção dos conceitos espaciais, é necessário levar em consideração o espaço corporal (a consciência das posições, direções e distâncias em relação a seu corpo), o espaço de ação (a orientação para a execução de movimentos), o espaço dos objetos (posição dos objetos quanto à direção e distância, a partir do espaço corporal perceptivo), o espaço geométrico (orientação a partir das experiências concretas, utilizando os conceitos geométricos para elaboração de mapas mentais, a partir de algum sistema de coordenação ou direção, aplicável em diferentes áreas) e o espaço abstrato (capacidade de manejo dos conceitos para elaboração de rotas, traçados de plantas, mapas e outros).

Conceito de medidas: Conceitos como distância, quantidade, tempo, peso, volume, largura, comprimento e tamanho são extremamente importantes na vida diária e para a orientação e mobilidade, independente da pessoa ser ou não deficiente visual.

Conceitos espaciais que indicam ações ou movimentos: Levam em consideração ações como curvar-se, deitar-se, sentar-se, ficar em pé, agachar-se, ajoelhar-se, debruçar-se e posições como desviar-se, virar, andar, correr, saltitar, saltar, subir, marchar, pular. Consideram ainda movimentos para frente, para trás, diagonal, para cima, para baixo, paralelo e voltas de 45, 90, 180 ou 360 graus. O movimento por meio do ambiente requer compreensão do corpo, dos conceitos espaciais básicos e do que existe no ambiente.

Conceitos ambientais topográficos: Servem para a compreensão do ambiente e como pontos de referência, como, por exemplo, esquina, ladeira, buraco, outros.

Conceitos de texturas: Conceitos tais como liso, sedoso, cascalho, paralelepípedo, elevado, rebaixado, entre outros são usados em situações de mobilidade em qualquer ambiente.

Conceitos de temperatura: Permitem identificar características como quente, frio, úmido, seco, sombra, ensolarado e outros.

Além dos conceitos básicos apresentados, Darken e Peterson (2001) enfatizam, que uma parte essencial do sentido de orientação é o desenvolvimento e uso de mapas cognitivos. Uma

vez que os mapas cognitivos são criados utilizando as modalidades sensoriais do indivíduo, faz-se necessário destacar a percepção nesse processo que envolve a orientação e mobilidade.

2.3 Percepção

A Percepção pode ser entendida como conhecimento a partir dos sentidos. Se dá em consequência ao processamento do estímulo sensorial, dando-lhe um significado. Os estímulos recebidos são organizados e integrados pelo interlocutor, que utiliza informações já armazenadas na sua memória sobre objetos e meio ambiente para transformar sensações em significados, relações e julgamento (ILDA, 2005). A percepção é, portanto, o ponto de partida de toda atividade humana. É a partir dela que as pessoas adquirem toda a informação necessária para a orientação em um determinado ambiente (BINSELY, 2004).

Para Lora (2003), as pessoas videntes percebem parte da realidade à sua volta por meio da visão, o que não significa que as com deficiência visual estejam impossibilitadas de conhecer e se relacionar com o mundo. Dischinger (2000) coloca que a percepção contextualizada do espaço se dá em uma situação de constante atenção, pois a visão deficiente exige maior esforço de sentidos remanescentes. Portanto, as pessoas com deficiência visual devem fazer uso de outras percepções sensoriais, como a audição, o sistema háptico ou tato ativo, o olfato, a cinestesia, o sentido vestibular ou labiríntico, a memória muscular e o aproveitamento máximo de qualquer grau de visão que possa ter, para obter informações e relacioná-las com rotas e eventos memorizados.

2.3.1 Audição

Para a Orientação e Mobilidade, a audição é um dos sentidos mais importantes, porque possibilita estabelecer as relações espaciais. É o único meio pelo qual a pessoa cega pode perceber a distância e a profundidade em qualquer ambiente (MACHADO, 2003). A audição envolve as funções de ecolocalização, localização dos sons, escutar seletivamente e sombra sonora.

- A ecolocalização indica a habilidade de transmitir um som e perceber as qualidades do eco refletido. Capacita a pessoa cega a adquirir informações a respeito das dimensões das habitações, a presença de objetos no ambiente e a direção dos corredores ou passagens estreitas e bem como detalhes que cada um é capaz de captar.

- A localização dos sons refere-se a habilidade para determinar com precisão a localização da fonte sonora, comparando-se o momento de chegada e a intensidade do som em cada ouvido. A localização do som depende da fonte sonora ter uma duração suficiente que permita ao indivíduo medi-la auditivamente, encontrar a direção de maior intensidade e determinar a pista para um caminhar mais seguro.
- O escutar seletivamente possibilita à pessoa cega extrair uma pista de orientação auditiva entre muitos sons.
- A sombra sonora é uma área de relativo silêncio atrás de um objeto que filtra suas ondas. Essa capacidade pode ser usada pela pessoa cega para detectar troncos de árvores, postes, caixas de correio e outros obstáculos, possíveis de serem detectados quando esta habilidade é desenvolvida.

A idéia de uma capacidade auditiva superior em cegos, sugerindo a presença de compensação funcional em resposta à ausência da informação visual, tem sido fortalecida pelos trabalhos de Lessard et al. (1998), Ohuchi et al. (2006), Giudice (2006) e Riehle, Lichter e Giudice (2008).

2.3.2 Tato ou sistema háptico

O tato é a percepção sensorial mais importante que a pessoa cega possui para conhecer o mundo (MACHADO, 2003). Muitas informações para orientação são obtidas tocando os objetos e os transformando em pontos de referência. Permite conhecer características e propriedades dos objetos tais como a textura, a temperatura, a forma (em objetos pequenos ou por meio de protótipos ou modelos) e as relações espaciais.

Esse sistema fornece informações sensoriais acerca de estímulos puramente táteis ou de pressão ou de determinadas vibrações recebidas pela pele na qual estão localizados os receptores. A pele é o maior órgão sensorial do corpo e, portanto, todo o corpo recebe informações sensoriais por meio de estímulos externos. Apesar dos receptores táteis estarem distribuídos por todo o corpo, a maior quantidade deles está localizada nos dedos da mão. São eles que levam a maior quantidade de informação ao cérebro (CORMEDI, 2011).

Batista (2005) diferencia o tato em “tato passivo” e “tato ativo”. O tato passivo são todas as informações recebidas de forma não intencional, quando não há o propósito de receber qualquer informação, mas que, mesmo assim, é processada. Já o tato ativo, ou percepção háptica é definido pelo toque que implica manipulação e é um ato intencional representado pela manipulação do objeto com o intuito de explorá-lo perceptualmente. A compreensão da informação recebida

e a exploração do ambiente é feita de uma forma dinâmica e intencional (MARTINS; BUENO, 2003). O tato ativo é, então, fundamental para a percepção do mundo e consequentemente para a aprendizagem (BATISTA, 2005).

2.3.3 Olfato

O olfato é um sentido de longo alcance e pode fornecer pistas para a orientação e localização de ambientes. Desperta sensações de alerta ou tranquilidade, conforto ou incômodo. Informa-nos a origem de cada coisa e está intimamente relacionado ao instinto de sobrevivência. Deve ser bastante estimulado, porque, além de ser um auxiliar para orientação e mobilidade, contribui, também, para a proteção e cuidados pessoais na discriminação de produtos de diferentes naturezas, como alimentação, higiene pessoal, limpeza, medicamentos e outros (MACHADO, 2003).

2.3.4 Cinestesia

Cinestesia é a sensibilidade para perceber os movimentos musculares ou das articulações. Por esse sentido as pessoas deficientes visuais podem detectar as inclinações ou os desníveis das superfícies sobre as quais caminham, quando o ângulo do pé ou da parte inferior da perna trocam sua posição normal, face a modificação do solo (MACHADO, 2003).

Está associada a um senso espacial corporal interno e externo, sendo a dimensão externa associada ao conceito denominado peri-espço, que seria o espaço não corporal logo em torno do corpo e que faz parte de um sistema de esquema corporal ligado à sensação de movimento (BROZZOLI et al., 2009). O senso interno está associado à interação entre canais sensoriais básicos no corpo para a sensação de movimento. Ambos, sentidos interno e externo, indicam uma integração primária com o sistema sensorial vestibular, localizado no ouvido interno (CASTRO, 2013).

2.3.5 Sentido vestibular ou labiríntico

O sentido vestibular provê informações sobre a posição vertical do corpo e dos componentes rotatórios e lineares dos movimentos sobre o eixo de uma volta em graus (LAMBERT, 1986). Os movimentos para a direita ou para a esquerda exercem grande influência no equilíbrio e a pessoa deficiente visual precisa vivenciar situações desse tipo para não se desorientar ou desequilibrar-se (MACHADO, 2003).

As informações vestibulares contribuem para a formação da cognição espacial de forma indireta. Elas fornecem informações sobre a posição espacial das várias partes do corpo. Pode-se, com isso, determinar a angulação entre essas partes, sendo possível abstrair relações geométricas dessas informações (MATTEI; MATTEI, 2005).

2.3.6 Memória muscular

A memória muscular é a repetição de movimentos em uma sequência fixa, que se convertem em movimentos automáticos (MACHADO, 2003). Nos deficientes visuais, esse fenômeno é valioso para trajetos curtos em ambientes internos. Por meio dele a pessoa pode realizar um caminho e retornar ao ponto de partida sem a necessidade de contar os passos. Essa habilidade não é percebida pelas pessoas que enxergam uma vez que utilizam a visão como principal referência para realizar esse controle. Embora inata, esta habilidade deve ser estimulada no cego possibilitando a vivência dos movimentos que contribuirão para a sua independência.

2.4 Mapas Cognitivos

A cognição é um conceito geral que alcança todas as formas de conhecimento, inclui percepção, raciocínio, aprendizado, memória, solução de problemas, comunicação e julgamento (CHAPLIN, 1985). É o processo de organizar e dar significado a uma experiência. Desenvolve-se de forma gradual pela modificação das estruturas mentais em repetidas interações com o meio (NEWMAN; NEWMAN, 2007).

Uma área de estudo muito importante associada à cognição é a cognição espacial. Esta estuda as habilidades de locomoção e as estratégias de memorização de rotas. Segundo Olson e Bialystok (1983), a cognição espacial refere-se aos mecanismos especializados na realização de tarefas espaciais, tais como representar o espaço, deslocar-se por ele e analisar propriedades espaciais de objetos e lugares. Mattei e Mattei (2005), afirmam que a cognição espacial corresponde à capacidade de um indivíduo de perceber as relações espaciais entre os objetos. Esta capacidade envolve ainda, lidar com as noções de profundidade, solidez e distância. A cognição espacial está intimamente correlacionada com a percepção espacial, a qual pode ser entendida como o resultado final da organização e integração de diversos estímulos sensoriais de maneira a fornecer à consciência um panorama geral acerca das formas do meio externo entre si e suas relações espaciais.

Para uma pessoa se deslocar de um ponto para outro, é fundamental saber onde se está em

relação a onde se deseja ir e em que direção se deve seguir (SILVERMAN; CHOI, 2005). Deve-se construir um mapa cognitivo do ambiente a sua volta (MONTEIRO, 2004). O mapa cognitivo é uma representação mental de um ambiente. Estes mapas são representações de indícios visuais, táteis e auditivos que modelam o ambiente e permitem as pessoas se localizarem no espaço (ZANELLI; ANDRADE; BASTOS, 2007). Segundo Downs e Stea (1973), mapeamento cognitivo é o processo de aquisição, formação e manutenção de informação e conhecimento espacial. Mondschein, Blumenberg e Taylor (2005), afirmam que os mapas cognitivos são essências para o comportamento espacial e tomada de decisão. Para Lloyd e Buncch (2005), estes mapas são estruturas de memórias internas que representam a informação espacial aprendida.

O principal objetivo do mapeamento cognitivo é capacitar os indivíduos a fazerem escolhas relacionadas com o ambiente espacial (CHEN, 2001). A ausência dessa capacidade pode ter um efeito valorativo para os deficientes visuais. Um mapa incompleto ou uma cognição imprecisa pode levar à confusão e desorientação do indivíduo (SEMWAL, 2001). Assim, formar mapas cognitivos precisos é a chave principal para o sucesso e facilidade de navegação¹. Uma vez formado, o mapa cognitivo fornece o mapeamento necessário do mundo físico, de modo que o deficiente visual consiga navegar com sucesso e com o mínimo de assistência.

Para Briggs (1973), os mapas cognitivos são criados por meio de modalidades sensoriais de um indivíduo, a partir de representações simbólicas, tais como mapas; bem como, a partir de reflexões sobre o ambiente, que são inferidas por meio de experiências em outros locais igualmente espaciais.

2.5 Tecnologias Assistivas para Cegos

Ao longo da história, o homem instintivamente tem buscado alternativas para melhorar suas condições de vida em sociedade. O desenvolvimento de Tecnologias Assistivas é um elemento importante para a promoção da inclusão de pessoas com deficiências.

No Brasil, o Comitê de Ajudas Técnicas - CAT, instituído pela PORTARIA N° 142, DE 16 DE NOVEMBRO DE 2006 (CAT, 2007), conceitua Tecnologia Assistiva como uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação de pessoas com deficiência, incapacidade ou mobilidade reduzida.

¹A navegação é definida por Darken e Peterson (2001), como o processo que agrega orientação e movimento pelo qual as pessoas determinam sua posição e a posição relativa de outros elementos da paisagem, como forma de chegar a outros locais a partir de sua posição inicial.

A Tecnologia Assistiva deve ser então entendida como o auxílio que promoverá a ampliação de uma habilidade funcional deficitária ou possibilitará a realização da função desejada e que se encontra impedida por circunstância de deficiência. Pode-se, desse modo, dizer que o objetivo primordial da Tecnologia Assistiva é proporcionar maior independência, autonomia, qualidade de vida e inclusão social, à pessoa com deficiência, por meio da ampliação de sua comunicação, mobilidade, controle de seu ambiente e outras habilidades para seu aprendizado (BERSCH, 2008).

2.5.1 Tecnologias assistivas tradicionais

Cegos e pessoas de baixa visão têm feito uso, por vários anos, de vários tipos de dispositivos para ajudá-los no cotidiano. A seguir, são citadas algumas Tecnologias Assistivas Tradicionais:

Bengalas: Amplamente utilizadas por pessoas cegas para navegar em ambientes externos.

Cães-guia: São treinados para ajudar a pessoa cega se locomover em ambientes complexos. Esses animais são capazes de evitar obstáculos.

Braille: Um sistema de escrita baseado em seis pontos, que permite 63 combinações que garantem à pessoa cega ler e escrever.

Livros com fontes aumentadas: Úteis para quaisquer pessoas com visão reduzida.

Livros em áudio ou em braille: Qualquer material específico precisa ser encomendado.

Gravadores: Ferramenta simples tanto para anotações como para leitura de livros falados, normalmente gravados por voluntários.

2.5.2 Tecnologias assistivas de substituição sensorial

As Tecnologias Assistivas de Substituição Sensorial envolvem tecnologias que substituem a visão perdida por outras modalidades sensoriais. Na maior parte dos casos, os sentidos substitutos são a audição e o tato.

Dispositivos de saída em braille: Existem vários dispositivos de saída que produzem braille, como impressoras e telas. As impressoras braille, também chamadas de *embossers*, funcionam de maneira similar às impressoras convencionais. Antes de serem usadas, porém, é preciso utilizar um *software* leitor de tela para converter o texto convencional num formato aceito pelo *embosser*. Já as telas braille são dispositivos conectados à porta serial

ou ao barramento USB (*Universal Serial Bus*) de um computador, que mostram o texto que seria exibido numa tela convencional em uma fileira de 40 a 80 caracteres, formados por grupos de pinos.

BR Braille: Programa transcritor de textos em caracteres braille para caracteres alfanuméricos em português. Foi desenvolvido pela Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da UNICAMP, e pode ser baixado gratuitamente pela internet (BRBRAILE, 2013).

Braille Creator: *Software* que permite criar textos em braille. É compatível com as principais impressoras braille no mercado (BRAILLECREATOR, 2013).

Braille Fácil: Programa que permite digitar diretamente ou importar um texto de um editor de texto convencional para preparar textos que podem ser enviados para uma impressora braille.

Conversor Braille: Trata-se de um equipamento que converte sinais mandados por um teclado em linguagem braille. Composto por três partes: um teclado para inserção dos caracteres, um *display* e uma célula braille. Depois de escrito um caractere, ele é transferido para o *display*. Em seguida, o caractere ou frase é convertido em linguagem braille e enviado à célula braille para que o deficiente possa interpretá-lo. Este dispositivo é de grande importância no auxílio de deficientes com um bom domínio do braille (MASSAMBANI et al., 2011).

Gráficos Táteis: Apresentam informações tipicamente gráficas, como mapas, diagramas e fotografias desenhados em alto relevo, para serem lidas por meio do tato, de forma similar ao braille.

Imagens sonoras: A sonificação da imagem envolve a conversão de informação em sons.

Teclado falado: Digita com sintetizador de voz.

Leitores de tela: São programas que, interagindo com o Sistema Operacional do computador, capturam toda e qualquer informação apresentada na forma de texto e a transforma em uma resposta falada utilizando um sintetizador de voz. Dentre os diversos programas disponíveis destacam-se:

DOXVOX: Sistema desenvolvido pelo Núcleo de Computação Eletrônica da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Se comunica com o usuário por meio de síntese de voz. Estabelece um diálogo amigável, por meio de programas específicos e interfaces adaptativas. Grande parte das mensagens sonoras emitidas é feita em voz humana

gravada. O programa é composto por: sistema operacional que contém os elementos de interface com o usuário; sistema de síntese de fala; editor, leitor e impressor/formatador de textos; impressor/formatador para braille; diversos programas de uso geral para o cego, como jogos de caráter didático e lúdico; ampliador de telas para pessoas com visão reduzida; programas para ajudar na educação de crianças com deficiência visual; programas sonoros para acesso à internet. O sistema fala em português, oferece um alto grau de interatividade e está disponível gratuitamente para *download* (DOSVOX, 2013).

JAWS (Job Access With Speech): Desenvolvido pela *Freedom Scientific*. Possui um *software* de sintetizador de voz que utiliza a própria placa de som do computador. Permite aos usuários cegos ou com baixa visão acesso as principais funcionalidades do sistema, como manipulação de pastas e arquivos, configuração e personalização do sistema, criação e edição de documentos no pacote de escritório *Office*, navegação em *sites* da internet, entre outras funcionalidades. Roda em diversos idiomas, inclusive em português (JAWS, 2013).

VIRTUAL VISION: Desenvolvido em 1997 a partir de pesquisas da *MicroPower* com modelos de processamento de linguagem natural. Faz uma varredura nos programas em busca de informações que podem ser lidas para o usuário, por um sintetizador de voz, possibilitando a navegação por *menus*, telas e textos. A navegação é realizada por meio de um teclado comum e o som é emitido por uma placa de som presente no computador. Nenhuma adaptação especial é necessária para que o programa funcione e dispensa a utilização de sintetizadores externos. Acessa o conteúdo presente na internet pela leitura de páginas inteiras, leitura sincronizada, navegação elemento a elemento e listagem de *hyperlinks* presentes nas páginas (VIRTUALVISION, 2013).

NVDA (Non Visual Desktop Access): *Software* com código aberto, para o ambiente *Windows*, que disponibiliza síntese de voz em diversos idiomas, incluindo o português. Além da versão para instalação, possui também uma versão para viagem, que pode ser executada de um *CD* ou *Pen Drive*. Foi construído em módulos, em que a maior parte de seu código pode ser facilmente expandida com a finalidade de suportar novos programas e/ou controles no *Windows* (NVDA, 2013).

ORCA: Software gratuito e de código aberto. Seu desenvolvimento tem sido guiado pelo *Accessibility Program Office of Sun Microsystems, Inc.* com contribuições de muitos membros da comunidade. Possui um leitor de telas e também um ampliador de telas, possibilitando ao deficiente visual a utilização de apenas um programa para tornar o sistema acessível. Roda em Sistema Operacional *Linux* e já vem instalado como recurso de acessibilidade padrão em algumas distribuições (ORCA, 2013).

Leitor *CPqD*: *Software* leitor de telas que visa contextualizar o usuário, narrando as mensagens do ambiente *Microsoft Windows*, assim como a maior parte das informações escritas em tela. Abrange o sistema operacional e as principais ferramentas de escritório, tais como: *Explorer*, *Microsoft Office* (*Word*, *Excel*, *Power Point*, *Outlook*), Calculadora, *Notepad*, *Wordpad*, *Internet Explorer* e a maioria das aplicações providas de acessibilidade (CPQD, 2013).

Dolphin: *Software* desenvolvido pela companhia Britânica *Dolphin*. Inclui um leitor de tela para cegos e um ampliador de tela para pessoas com visão subnormal (DOLPHIN, 2013).

2.5.3 Sistemas de auxílio à navegação

Sistemas de Auxílio à Navegação têm o potencial de enriquecer o conhecimento do indivíduo a respeito do ambiente que o circunda, dando ao deficiente visual uma autonomia similar à de uma pessoa com plena capacidade visual, que faz uso de um mapa ou segue indicações visuais disponíveis (GOLLEDGE et al., 1998). Alguns trabalhos que utilizam a tecnologia para auxiliar a navegação de cegos serão descritos posteriormente no capítulo 4, que trata dos trabalhos correlatos.

INTERFACES COM INTERAÇÃO NATURAL E REALIDADE VIRTUAL

“Para as pessoas sem deficiência, a tecnologia torna as coisas mais fáceis. Para as pessoas com deficiência, a tecnologia torna as coisas possíveis.”

RADABAUGH, 1993

3.1 Introdução

O estudo de interfaces obtém êxito quando este é voltado ao desenvolvimento visando o próprio usuário e a humanização da relação entre homem e máquina, tornando-a mais fluida, ergonômica, natural, intuitiva e servindo de ferramenta no auxílio à inclusão, seja social ou tecnológica (WIGDOR; WIXON, 2011).

Os avanços tecnológicos, ocorridos nos últimos tempos, têm possibilitado novas formas de interação, cada vez mais complexas e centradas no usuário (CABREIRA; MULLING, 2012). Neste cenário, pode-se destacar o crescimento de sistemas baseados em técnicas de Realidade Virtual e Interação Natural (FRANCA, 2012). A RV estabelece novos paradigmas de interface com o usuário nos quais os indivíduos não estão apenas frente a monitores, mas sim interagindo diretamente e sentindo-se dentro dos ambientes virtuais. Buscando esta imersão, a RV tenta captar e reproduzir movimentos de partes do corpo do usuário, em geral, braços, pernas e cabeça, e a partir destes dados, realizar a interação homem-computador. A vantagem desse tipo

de interface é que o conhecimento intuitivo do usuário pode ser transferido para interagir com o ambiente virtual, permitindo que estes interajam com objetos virtuais da mesma forma como fazem na vida real (PACKER; JORDAN, 2001). A Interação Natural tem como propósito tornar a experiência do usuário mais próxima de contextos do cotidiano, sem a necessidade de aprendizado de novos procedimentos, comandos, linguagens ou dispositivos eletrônicos (FRANCA, 2012).

Este capítulo apresenta de forma resumida a evolução das interfaces de computador, lista alguns de dispositivos de interação, dando ênfase ao *Kinect*, além de discorrer sobre Realidade Virtual.

3.2 Interface Humano-Computador

O meio que permite a comunicação entre o usuário e o sistema é a interface. Segundo Moran (1981), a interface pode ser conceituada como parte do sistema com o qual o usuário realiza contato pelo plano físico, perceptivo e cognitivo. Guedes (2008), define Interface humano-computador como a área preocupada com design, avaliação e implementação de sistemas computacionais interativos para uso humano e, ainda, com o estudo dos principais fenômenos subjacentes a eles. Compreende os comportamentos do usuário e do computador que são observáveis externamente. Há uma linguagem de entrada, uma de saída para refletir os resultados e um protocolo de interação. Uma interface tanto define as estratégias para a realização da tarefa, como conduz, orienta, recepciona, alerta, ajuda e responde ao usuário durante as interações.

No início da era computacional, na década de 1960, as interfaces de acesso e manipulação de dados de sistemas computacionais eram físicas e havia principalmente o caráter motor em sua utilização. Tratava-se, de acordo com Laoreal (1990), da primeira geração da forma de interação do usuário com o sistema computacional. Usavam basicamente dispositivos como botões e discos para transmitir de forma mecânica e eletromecânica dados para a máquina executar determinada tarefa ou ser reprogramada (CARVALHO; ROCHA, 2013).

A segunda geração utilizava cartões ou fitas perfuradas que, ao serem inseridas no computador e processadas, eram devolvidas com o resultado da operação impresso nelas. A sua programação era baseada em tarefas a serem executadas em lote, conhecida como *batch processing*. O usuário necessitava especificar todos os detalhes do procedimento desejado antes de dar início à operação e as respostas só eram recebidas após a finalização de todos os procedimentos (LIU, 2010). Esse processo satisfazia a maioria das necessidades de cálculo, mas não

se adequava à comunicação interativa com computadores.

A terceira geração de interação introduz outra interface física: o teclado. Por ele o programador pode programar as funções da máquina, por meio de linguagens específicas de programação, as chamadas interfaces por linha de comando. O operador agora “conversa” com a máquina, instruindo-a de acordo com o necessário, e ela lhe “responde” pelo monitor de vídeo, usando-o como uma forma de saída de dados do computador (LAUREAL, 1990). Ao permitir utilizar caracteres para a entrada e saída de dados no lugar dos cartões perfurados, o teclado e o monitor permitem uma interação mais dinâmica com os computadores e uma visualização mais confortável das informações (LEMOS, 2002).

Nas interfaces por linha de comando, a interação com o computador ocorre por meio da digitação de comandos de texto para a realização de tarefas específicas (DIX et al., 2004). É uma interface abstrata, no qual muitos nomes de comandos não tem significado para os usuários. Possui padrão de interação único, por comando textual via teclado. Exibe pouco ou nenhum alerta e instruções na tela, por padrão exibe apenas o *prompt* de comando. É focada no sistema e não no usuário, assim o usuário precisa saber como o sistema funciona, onde seus programas e dados estão armazenados. Este tipo de interação se consolidou rapidamente em razão de sua eficiência e precisão, porém as interfaces baseadas neste paradigma de interação exigem certo grau de conhecimento do usuário, sendo necessário que o mesmo saiba sintaxes e atributos dos comandos, o que dificulta o seu uso.

Na quarta geração, a interação ocorre por meio de menus textuais, cujo acesso se dá por teclado, mouse e pelos dados mostrados na tela do monitor do computador.

A evolução da interface computacional em termos gráficos teve um impulso com o *WIMP* (*Windows, Icons, Menus e Points Devices*) como forma de facilitar a manipulação dos elementos da interface visual. Surgia a metáfora de *Desktop* para a interface gráfica, que utiliza o conceito de *affordance*: “a capacidade de o elemento indicar seu melhor uso, tendo como base a experiência cotidiana do usuário em relação aos elementos e comandos do mundo natural” (CARVALHO; ROCHA, 2013). Um exemplo disso são os ícones que se parecem com objetos comuns ao ambiente de trabalho do usuário, como a lixeira.

Na Interface Gráfica de Usuário - *Graphical User Interface* (GUI), a interação é realizada a partir de um dispositivo físico de entrada que controla a posição de um cursor e apresenta a informação organizada em janelas e por ícones que a represente. Os comandos são dispostos em menus para serem, então, selecionados e acionados pelo dispositivo. Deste modo, não é necessário memorizar diversos comandos, como é o caso da Interface por Linha de Comando, tornando-se um ambiente mais familiar.

A quinta geração, na qual a interface gráfica tem uma predominância entre as outras, é a atual. É a geração que introduziu sistemas de manipulação direta do objeto de interesse na comunicação homem/máquina (SHNEIDERMAN, 1998).

O desenvolvimento da interface computacional permite novas formas de possibilitar a interação do usuário com o sistema. Para tornar cada vez mais intuitivo seu uso, criam-se interfaces que deixam mais transparente a relação do usuário com o sistema (CARVALHO; ROCHA, 2013).

As Interfaces Naturais são interfaces que não apresentam uma metáfora gráfica controlada mecanicamente e sim, criam experiências nas quais o usuário tem a sensação de estar interligado com o sistema em questão, utilizando meios naturalmente humanos de comunicação, como gestos ou linguagem sonora (WIGDOR; WIXON, 2011). Essas interfaces, segundo Norman e Nielsen (2010), precisam apresentar características como: a) detectabilidade: refere-se à presença de uma ou múltiplas propriedades que indiquem como interagir com um objeto ou com algum aspecto dele; b) confiabilidade: qualidade da interface em passar segurança para o usuário, encorajando-o a interagir com o sistema; c) ser responsiva: deve fornecer respostas instantâneas para as ações do usuário; d) adequação: refere-se à capacidade da interface se apresentar adequada ao contexto na qual o usuário está inserido; e) significância: deve apresentar significados específicos em relação as necessidades do usuário; f) habilidade: deve apresentar um sistema hábil, realizando eficientemente uma tarefa que o ser humano tem dificuldade de realizar ou não realiza bem; g) inteligência: capacidade de predizer as necessidades do usuário e cumpri-las com eficácia; h) divertimento: refere-se à habilidade de gerar engajamento do usuário por meio da diversão; i) agradabilidade: deve ser prazerosa aos sentidos visual e auditivo; j) ética: refere-se à capacidade da interface em respeitar as limitações do usuário.

3.3 Interação Natural

A palavra interação é definida como influência recíproca de dois ou mais elementos (PRIBERAM, 2010). A Interação Humano-Computador (IHC), segundo Rehen, Santos e Andrade (2011), é uma área multidisciplinar que envolve a área de ciência da computação, psicologia, linguística, artes, dentre outras. O conhecimento sobre as limitações da capacidade humana, restrições e evoluções (em termos de dispositivos, interfaces e poder de processamento) das tecnologias existentes devem ser levados em conta para oferecer aos usuários uma forma adequada para interagir com plataformas computacionais.

A Interação Natural é considerada um conceito que estuda formas do homem interagir com

dispositivos eletrônicos por meio dos cinco sentidos do ser humano, seja por gestos; comandos de voz; movimentos e expressões corporais; detecção e identificação de partes do corpo como rosto, mão, polegar, retina, articulações, entre outros. Desenvolver aplicações que lidam com Interação Natural significa criar sistemas capazes de entender as ações dos usuários enquanto eles estão interagindo naturalmente com o ambiente a sua volta. Nesse sentido, as pessoas não precisam vestir ou usar algum equipamento, muito menos aprender instruções específicas, a interação é intuitiva (VALLI, 2007).

Modelos diferentes de Interação Natural estão em desenvolvimento (YONCK, 2010). Dentre esses, pode-se destacar:

- Telas Sensíveis ao Toque: permitem ao usuário interagir diretamente com o que está sendo exibido. Essa tecnologia já é muito utilizada atualmente, principalmente em *smartphones* e *tablets*;
- Modelo Háptico: tecnologia que possui *feedback* de força permitindo interação com sensação de tato;
- Reconhecimento de Fala: proporciona a tradução da fala para texto, permitindo o uso de comandos de voz como modo de interação com o sistema;
- Reconhecimento de Gestos/Movimentos: permite o uso de gestos como modo de interação com o sistema.

A interação gestual aplicada em interfaces humano-computador possibilita o uso de operações previamente conhecidas pelo usuário, tornando a experiência mais natural e o domínio desta interface mais amigável.

3.4 Dispositivos de Interação

Os componentes que tornam possível a interação homem-máquina são os dispositivos de entrada e saída. Estes permitem ao usuário estabelecer uma comunicação com o sistema, enviando e recebendo dados do computador. Nos últimos anos, empresas desenvolvedoras de *games* lançaram plataformas nas quais a interação jogador/jogo é realizada pela movimentação corporal (SANTOS; GARDENGHI, 2013). Apesar de terem sido desenvolvidos para jogos, esses dispositivos estão sendo usados na construção de ferramentas de reabilitação, treinamento, entre outros (RAND; KIZONY; WEISS, 2004), (BROOKS; PETERSSON, 2005), (SANDLUND, 2007), (FLYNN; PALMA; BENDER, 2007), (FLYNN; PALMA; BENDER,

2008), (PIGFORD; ANDREWS, 2010), (SHIH; SHIH; CHIANG, 2010), (ZÖLLNER; HUBER, 2011) (NSK - Motion & Control, Oct 2011) (RAHMAN, 2010), (FRATI; PRATTICHIZZO, 2011), (CHANGA; CHENB; HUANGC, 2011), (BERG et al., 2012), (GORDON; ROOPCHAND-MARTIN; GREGG, 2012), (SU, 2013), (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2014).

O uso do movimento do corpo, como modo de interação no mundo dos jogos, pode ser visto a partir de 2003 com o *EyeToy* desenvolvido para o *PlayStation 2* da *Sony*. O *EyeToy* é uma câmera digital em cores, semelhante a uma *webcam*, que utiliza-se de visão computacional e reconhecimento de gestos no processamento das imagens capturadas pela câmera. A Figura 3.1 apresenta um exemplo de *PlayStation EyeToy*.



Figura 3.1: *PlayStation EyeToy*.

Em 2006 foi lançado o *Nintendo Wii*. Esse dispositivo capta os movimentos do comando quando o jogador o move, por meio de três acelerômetros embutidos e de um sensor de infravermelho. Tem um sistema de vibração e um pequeno alto-falante que emite sons. Possui na parte de baixo uma porta de expansão para que sejam ligados alguns periféricos, que incluem o *Nunchuk*¹ e o *Wii Motion Plus*². Permite interações comumente utilizadas nos jogos, como seleção, navegação, desenho, rotação de objetos e a ação de empurrar e puxar. A Figura 3.2 apresenta um exemplo de *Wii Remote*.



Figura 3.2: *Nintendo Wii Remote*.

¹ Possui a mesma tecnologia de sensor de movimento, mas inclui um controle analógico e mais dois botões para auxiliar na execução do movimento dos personagens.

² Acessório que pode ser plugado na parte inferior do *Wii Remote*. Com o uso deste acessório, os movimentos passam a acontecer em tempo real, além de uma precisão maior.

A *Sony* lançou em 2007 o *PlayStation Eye*, a versão do EyeToy para o seu novo *console*, o *PlayStation 3*, que possui o dobro da sensibilidade do seu antecessor. A Figura 3.3 apresenta um exemplo de *PlayStation Eye*.



Figura 3.3: *PlayStation Eye*.

Três anos depois, a *Sony* também lançou o *PlayStation Move*, que possui controles com sensores de movimento, e que podem ser utilizados juntamente com o *PlayStation Eye*, permitindo uma grande precisão no rastreamento dos movimentos. O controle possui um acelerômetro, um giroscópio de duplo eixo (x, y), outro de eixo único (z) e um magnetômetro. Essa tecnologia de jogos de movimento baseia-se na associação do controle de movimento com o olho da câmera. A esfera na extremidade do controle de movimentos permite que o olho da câmera siga cada movimento e a posição dentro do recinto. Esse acompanhamento do movimento é transferido para o jogo com um nível máximo de precisão. A Figura 3.4 apresenta um exemplo de *PlayStation Move*.



Figura 3.4: *PlayStation Move*.

Também em 2010, alguns meses depois do lançamento do *PlayStation Move*, foi lançado pela *Microsoft* o *Kinect*, um sistema que não exige o uso de controles físicos e que permite grande precisão no reconhecimento de movimentos. O *Kinect Xbox* é um sensor óptico de movimentos desenvolvido pela *PrimeSense Company* em parceria com a *Microsoft*. Seu lançamento aconteceu nos EUA como um acessório para o *console* de jogos do *Xbox 360*. Quando

usados para jogos, ele segmenta pessoas e é capaz de estimar a sua postura e ações. Foi projetado com duas câmeras do tipo infra-vermelho para detectar a distância de obstáculos. Uma câmera faz a projeção dos pontos infra-vermelho e a outra recebe os dados. A câmera que recebe os dados tem uma resolução de 320x240 e possui valores de 16 *bits* para calcular a profundidade do obstáculo. Possui uma câmera RGB de resolução 640x480 com 32 *bits* de cores e 30 *frames* por segundo (KERKHOVE, 2012). A captura de imagens coloridas é associada a dados de profundidade para cada pixel. Além da cor, atributos como profundidade e luminância podem ser usados para processamento da imagem. É possível a obtenção de informações visuais e geométricas da cena (CRUZ; SILVA; VELHO, 2012). Internamente o *Kinect* é composto por quatro microfones distribuídos na parte de baixo que servem, para detectar e reconhecer comandos de voz dos usuários. Os microfones conseguem diferenciar comandos de voz de barulhos do ambiente (KERKHOVE, 2012). O dispositivo permite uma interação baseada em gestos e voz sem a necessidade de controles. A Figura 3.5 ilustra o *Kinect* para *XBOX-360*.



Figura 3.5: *Kinect* para *XBOX 360*.

Conforme o Guia de Interface Humana para *Kinect* da *Microsoft* (MICROSOFT, 2012), esse dispositivo possui limitações nos campos de vista horizontal e vertical e limitações de profundidade. As restrições nos campos de vista das câmeras do *Kinect* (Profundidade e RGB) são 57,5° na horizontal e 43,5° na vertical. Como o *Kinect* possui um mecanismo de inclinação motorizado, a direção do campo de vista vertical pode ser modificado em um intervalo entre -27° e +27°. As restrições de profundidade, por sua vez, estão associadas à capacidade de rastrear o esqueleto do usuário, sendo seus limites físicos de 0,8 a 3,5 metros.

Em 2011, a *ASUS* e a *PrimeSense* anunciaram o lançamento do *Xtion*, acessório exclusivo para *PC* que permite controlar jogos com o movimento do corpo de maneira semelhante ao *Kinect*; utiliza sensores sofisticados para controle preciso dos movimentos com uma interface intuitiva; funciona com qualquer computador via USB; reconhece gestos de toque, ondas, entre outros, permitindo por meio dos gestos um acesso rápido a jogos, filmes, fotografias e navegadores de Internet.

As aplicações de *Facebook*, *Picasa* e *Flickr* foram especialmente desenhadas para o *Xtion*. Inclui ainda uma aplicação do *YouTube* dedicada que utiliza os controles dos sensores de movi-

mento. A Figura 3.6 apresenta um exemplo de *Xtion*.



Figura 3.6: Asus Xtion.

O *Kinect* foi um dos grandes exemplos de reinvenção de produto dos últimos anos. Projetado para ser usado com o videogame *XBox 360*, o sensor de movimentos e voz da *Microsoft* ganhou novos usos não imaginados pela empresa. Foi parar em hospitais, centros de reabilitação, showrooms automobilísticos, supermercados e até mesmo em performances artísticas (ESTADAO..., 2014). Graças a esses novos usos, a *Microsoft* lançou em 2012 o *Kinect for Windows*, que não é destinado para jogos, apenas para uso comercial e para desenvolvedores. A versão para *Windows* é capaz de monitorar os movimentos da cabeça, pescoço e braços dos usuários, estando eles sentados ou em pé, bem como as suas características faciais, sendo capaz de acompanhar a posição da cabeça, das sobrancelhas e a forma da boca.

3.5 Realidade Virtual

A Realidade Virtual (RV) é um conceito de interfaces gráficas avançadas que permite aplicações computacionais, na qual haja uma interação em tempo real com usuários, em ambientes tridimensionais sintéticos, utilizando dispositivos multisensoriais (KIRNER et al., 1995).

Pode ser visualizada como um sistema computacional usado para criar ambientes artificiais, no qual o usuário tem a impressão de não somente estar dentro desses ambientes, mas também habilitado, com a capacidade de navegar no mesmo e de interagir com seus objetos de maneira intuitiva e natural (CARDOSO et al., 2007).

Segundo Tori, Kirner e Siscouto (2006), um sistema é classificado como uma aplicação de RV, caso seja considerado a coexistência de três aspectos: imersão, que está ligada à sensação de presença do usuário no Ambiente Virtual; interação, que é a capacidade do computador detectar as ações do usuário e reagir instantaneamente modificando aspectos da aplicação e envolvimento, que é o grau de motivação para o engajamento de uma pessoa com determinada atividade.

Em função do senso de presença do usuário, a RV pode ser classificada segundo Tori, Kirner e Siscouto (2006) como imersiva ou não-imersiva. A imersiva ocorre quando o usuário é

transportado predominantemente para o domínio da aplicação, por meio de dispositivos multisensoriais, que captam seus movimentos e comportamento e reagem a eles, provocando uma sensação de presença dentro do ambiente. A não-imersiva, que acontece quando o usuário é transportado parcialmente ao ambiente virtual mas continua sentindo predominantemente o mundo real.

Em relação as formas de interação, Mine (1995) observa que algumas técnicas podem ser implementadas e classificadas em: interação direta do usuário, controles físicos e controles virtuais. A interação direta do usuário ocorre quando uma ação do usuário resulta em uma ação no mundo virtual, usando, por exemplo, reconhecimento de gesto, apontamento, direção do olhar. Os controles físicos envolvem a utilização de botões, *joysticks* e outros dispositivos, com o intuito de que o usuário interaja com o ambiente virtual. E controles virtuais são usados quando um objeto do ambiente virtual pode ser implementado como um controle a ser utilizado, proporcionando flexibilidade, mas podendo gerar certa dificuldade de interação com tal objeto, pois além de servir de controle, ele pode ser selecionado e manipulado.

Bowman et al. (2001), definem as operações de interação nesses ambientes em navegação, seleção/manipulação e controle do sistema. A navegação consiste no movimento do usuário dentro do ambiente sintético e pode ser dividida em exploração (o usuário realiza uma investigação do ambiente), busca (movimentação do participante para um local específico) e manobras (movimentos de alta precisão). A Seleção/manipulação consiste na escolha de um objeto virtual do Ambiente Virtual e a consequente modificação de suas características. E o controle do sistema diz respeito ao estabelecimento de comandos específicos disponíveis para alterar seu estado.

As técnicas de controle de sistema podem ser classificadas em quatro grupos segundo Bowman et al. (2001): sistema baseado em GUI (*Graphical User Interface*) usam comandos representados visualmente, como menus gráficos, que podem ser implementados no Ambiente Virtual em uma, duas ou três dimensões; comando de voz no qual o sistema interpreta comandos de fala do usuário por meio de um reconhecedor de voz; interação via gesto em que comandos são representados por movimentos do corpo ou partes do corpo do usuário, como o movimento dos dedos e das mãos; e ferramentas que consistem em controles físicos e virtuais, como pedais e rodas de determinados dispositivos, e objetos dentro do próprio mundo virtual, que representem comandos para o sistema.

A grande vantagem desse tipo de interface está no fato do usuário poder usar as habilidades e conhecimentos intuitivos para a manipulação dos objetos virtuais (TORI; KIRNER; SISCOUTO, 2006).

3.5.1 Ambientes virtuais

Um Ambiente Virtual (AV) pode ser entendido como um sistema de software que cria a ilusão de um mundo que não existe na realidade. Isto requer a combinação de entrada (interação do usuário), computação (simulação de processos) e saída (estímulos multi-sensoriais). Pode ter várias formas, representando prédios ou objetos, como automóveis e personagens (avatares) ou não ter nenhuma referência no mundo real, constituindo-se um modelo abstrato (RIBEIRO, 2006).

O AV deverá conter objetos virtuais que terão certos atributos a eles associados como, geometria, cores, texturas, iluminação, características dinâmicas, restrições físicas e atributos acústicos. Em geral, os objetos virtuais podem ser classificados como estáticos ou dinâmicos, dependendo da capacidade de movimentação de cada um. Além disso, o usuário deve poder navegar em três dimensões, ou seja, com seis graus de liberdade, no qual, cada grau se aplica a uma direção ou rotação do movimento (TORI; KIRNER; SISCOUTO, 2006).

Os Ambientes Virtuais tem sido considerados como a forma mais natural de interação entre homem e máquina, pois permitem que o ser humano use seus sentidos, como tato, audição e visão, de forma semelhante ao mundo real, para realizar operações, enviando e recebendo informações do computador (MINE, 1995).

3.5.2 Aplicações de realidade virtual

Devido às potencialidades visualizadas pela RV, surgiram diversas aplicações suportadas por essa tecnologia. Na educação, a RV tem potencial para propiciar uma educação como processo de exploração, descoberta, observação e construção de uma nova visão do conhecimento, oferecendo ao aprendiz a oportunidade de melhorar a compreensão do objeto de estudo. Essa tecnologia, portanto, tem potencial de colaborar no processo cognitivo do aprendiz (ROUSSOU, 2009) .

Algumas aplicações incluem laboratórios virtuais, encontros remotos de alunos e professores para terem uma aula ou alguma atividade coletiva, participação em eventos virtuais, consulta a bibliotecas virtuais, educação de excepcionais, entre outros (RODELLO, 2003), (RIBEIRO, 2006), (SILVA, 2009), (ROUSSOU, 2009), (HERPICH et al., 2014).

Na área de medicina e da saúde, os pesquisadores acreditam que a RV providencia um recurso ímpar para o ensino e treinamento em estruturas anatômicas. O aprendiz pode repetidamente explorar as estruturas de interesse, separando-as ou agrupando-as com diferentes formas

de visualização, imersão e exploração; realizar treinamentos de procedimentos cirúrgicos; pegar e manipular instrumentos como bisturis e grampos virtuais e aplicá-los sobre o modelo; entre outras (MACHADO, 2002), (RAMOS; NUNES, 2005), (HENG, 2006), (TANG et al., 2007), (SOLER et al., 2008), (TORI et al., 2009), (BOHIL; ALICEA; BIOCCA, 2011), (RIBEIRO; NUNES, 2014), (OLIVEIRA et al., 2014), (SILVA; RODRIGUES, 2014).

Na engenharia, destaca-se as facilidades providas por essa tecnologia para a criação de protótipos virtuais e projetos baseados em simulação (LIDAL et al., 2007), (COELHO; COELHO; CARDOSO, 2011).

No entretenimento, dentre as diversas aplicações, além dos jogos tridimensionais com interação em tempo real, tem-se turismo virtual, passeio ciclístico virtual, esportes virtuais, cinema virtual e outros (BILLINGHURST; KATO; POUPYREV, 2001), (RAPOSO, 2003).

Em treinamentos, os modelos computacionais podem ser apresentados por meio de um AV e os usuários podem interagir com o sistema virtual como se ele fosse real. Algumas aplicações possíveis são simuladores de voôs, planejamento de operações militares, treinamento de astronautas, entre outras (MCCARTY, 1994), (PIMENTEL; BLAU, 1994), (JUAN et al., 2005), (MACEDONIA, 2008), (TRINDADE et al., 2014).

Na visualização da informação, a representação e o posicionamento de informações no mundo virtual tridimensional vem agregar um grande potencial para aplicações como a visualização financeira, informação virtual, visualização de simulação de sistemas complexos e outros (CHEN, 1999), (CARD; MACKINLAY; SHNEIDERMAN, 1999), (PANAS; BERRIGAN; GRUNDY, 2003), (MEIGUINSAND, 2004), (SPENCE, 2007).

A área de artes também pode receber um grande diferencial com RV. Pinturas em relevo, esculturas, museus virtuais com detalhes nas paredes e teto, além das próprias obras de arte e música com instrumentos virtuais são algumas das aplicações possíveis. Isto pode dar aos artistas e ao público em geral dimensões jamais vistas ou sentidas, por meio da eliminação ou alterações das restrições do mundo real ou da ampliação da imaginação.

As aplicações científicas também podem utilizar-se da RV para mostrar conceitos abstratos; comportamento de elementos de grandes proporções, como galáxias, ou pequenas, como estruturas atômicas; bem como outras características científicas. Dentre as diversas aplicações tem-se a visualização de superfície planetárias, síntese molecular, visualização de elementos matemáticos, análise de comportamento de estruturas atômicas e moleculares, análise de fenômenos físico-químicos e outros.

TECNOLOGIAS PARA AUXILIAR A NAVEGAÇÃO DE PESSOAS COM DEFICIÊNCIA VISUAL

“O sucesso nasce do querer, da
determinação e persistência em se chegar
a um objetivo. Mesmo não atingindo o
alvo, quem busca e vence obstáculos, no
mínimo fará coisas admiráveis”

José de Alencar

4.1 Introdução

A evolução da tecnologia e a sua aplicação no campo da assistência à navegação possibilitam novas perspectivas no auxílio a pessoas com deficiência visual, levando-as a realizar tarefas que de outra forma seriam quase impossíveis.

Como já citado no capítulo 2, os Sistemas de Auxílio à Navegação têm o potencial de enriquecer o conhecimento do indivíduo a respeito do ambiente que o circunda, dando ao deficiente visual uma autonomia similar à de uma pessoa com plena capacidade visual que faz uso de um mapa ou segue indicações visuais disponíveis (GOLLEDGE et al., 1998).

Em busca de trabalhos relacionados a este, uma pesquisa foi realizada em periódicos e conferências da *IEEE*, *ACM*, *Elsevier* e *Springer*. Como critério de busca, estabeleceu-se traba-

lhos que abordam o mesmo objeto de estudo, porém usam outros métodos para sua resolução. Foram analisadas os seguintes itens: tecnologia de interação (dispositivo utilizado); local de navegação (ambientes reais ou virtuais); Interação Natural (se há ou não o uso); necessidade de dispositivos atrelados ao corpo; construção de novos modelos e uso de mecanismo complexo ou volumoso.

São apresentados a seguir doze trabalhos que utilizam diferentes métodos para auxiliar cegos a navegar de forma mais autônoma e independente em ambientes desconhecidos, e consequentemente, melhorar sua mobilidade.

4.2 *Personal Guidance System*

O *Personal Guidance System* é um sistema desenvolvido por Loomis et al. (1994), composto de três partes: um GPS (*Global Positioning System*), usado para determinar a posição e a orientação do usuário; um GIS (*Geographic Information System*) para armazenar dados espaciais; e uma interface sonora com os usuários, conforme Figura 4.1 ((LOOMIS et al., 1994) - página 88).

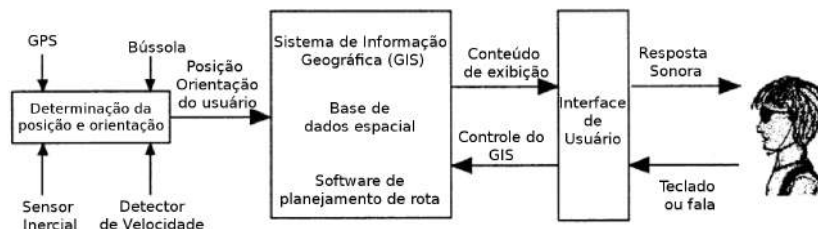


Figura 4.1: Personal Guidance System.

O GPS é responsável por determinar a posição absoluta, em termos de longitudes e latitudes e passar essas informações para o GIS, que é responsável por determinar a posição do usuário relativa à base de dados espacial. O planejamento de rota é feito por um computador carregado pelo usuário e as instruções de como se locomover de um lugar a outro são fornecidas por instruções ou descrições verbais, geradas por um sintetizador de voz.

4.3 *MoBIC Travel Aid*

O *MoBIC Travel Aid (MoTA)*, descrito por Strothotte et al. (1996) é um sistema composto de duas partes: o *MoBIC Pre-Journey System (MoPS)* e o *MoBIC Outdoor System (MoODS)*. O primeiro permite aos usuários explorar o ambiente em um mundo virtual simulado. A jornada simulada ajuda o usuário a se preparar para navegar no mundo real. Já o *MoODS* usa a

arquitetura proposta por Loomis et al. (1994) empregando um sistema de posicionamento auxiliar, que usa uma técnica de triangulação e possibilita localizar o telefone celular integrado ao sistema. O usuário entra com dados por meio de um teclado portátil e o sistema apresenta retorno sonoros emitidos em um fone de ouvido. O planejamento de rotas é criado e testado no *MoPS*, e só então, transferido para o *MoODS* para navegação no ambiente real. A Figura 4.2 ((STROTHOTTE et al., 1996) - página 141) apresenta protótipo do software de exploração do MoBIC Travel Aid.

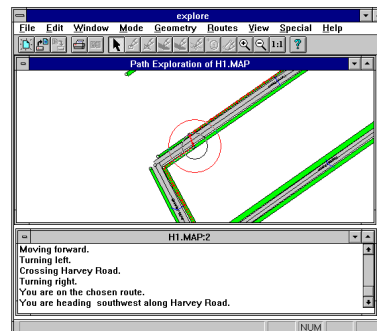


Figura 4.2: Protótipo do software de exploração.

4.4 *Sistemas Guiados por Balizas*

O *Auditory Location Finder* desenvolvido por Hine e Nooralahivan (1998) utiliza o som proveniente de balizas instaladas em prédios e monumentos, na tentativa de compensar a ausência de informações visuais sobre pontos de referência e placas. Estas balizas, depois de instaladas no ambiente desejado, transmitem continuamente sinais de rádio contendo informações sonoras sobre a sua localização. O sistema utiliza um receptor específico, processa estes sinais e os converte nos nomes dos locais navegados. A Figura 4.3 ((HINE; NOORALAHIVAN, 1998) - página 285) apresenta o esquema de uma ambiente guiado por balizas.

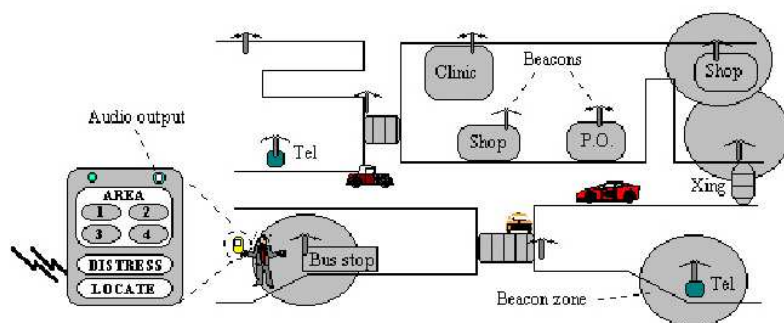


Figura 4.3: Sistema por balizas .

O *Orientation by Electronic Navigation (OPEN)* de Whitney (1998) é um sistema que também utiliza balizas emissoras de infravermelho instaladas em diversas localizações das construções que enviam informações da sua localização continuamente.

O *Personal Electronically-Recorded Speech-Output Navigation Aid (PERSONA)* é outro sistema baseado em balizas para navegação em ambientes internos, desenvolvido por Sonnenblick (1998). As balizas do *PERSONA* são posicionadas nos tetos dos corredores, ao invés de ficarem em pontos de referência espalhados pelo caminho. A localização deve-se ao fato de que cada baliza armazena um código de localização, ao invés de informações sonoras. Um receptor é usado para receber os sinais infravermelho e mapear os códigos de localização no mapa do prédio armazenado no *wearable computer*¹. Este processo permite ao sistema identificar a localização do usuário relativa ao prédio.

4.5 Navbelt

O *Navbelt* foi desenvolvido na Universidade de Michigan por Shoval, Borenstein e Koren. (1994) e Shoval, Borenstein e Koren (1998). Utiliza um sistema de robô móvel como um dispositivo de orientação para deficientes visuais. A tecnologia robótica móvel foi usada para integrar a detecção de obstáculos e a navegação global para proporcionar uma navegação segura e confiável em um ambiente desconhecido. O protótipo é composto de sensores de ultrassom, computador e fones de ouvido (Figura 4.4 (SHOVAL; BORENSTEIN; KOREN., 1994) - página 460).

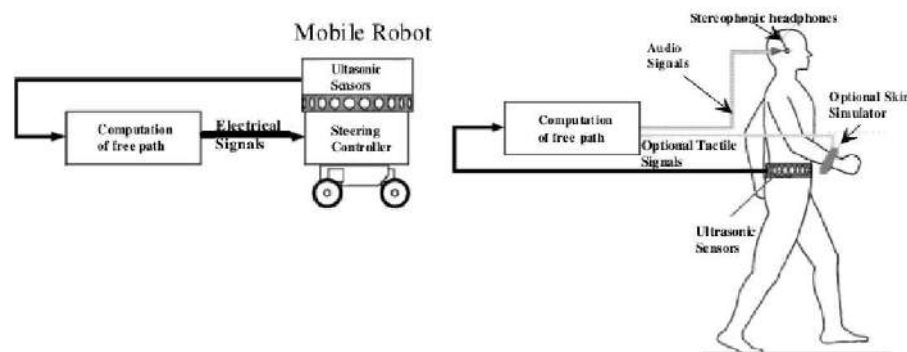


Figura 4.4: Navbelt.

O computador recebe a informação a partir dos oito sensores ultrassônicos e cria um mapa dos ângulos (um para cada sensor) e a distância de qualquer objeto a este ângulo. Em seguida, o

¹Um *wearable computer* é um equipamento que o usuário "veste", no qual ele pode dar entrada e executar uma série de comandos, podendo executar tais ações em movimento ou enquanto realiza outras atividades. (MANN, 1998).

algoritmo de desvio de obstáculos produz sons apropriados para cada modo (modo de orientação e modo de imagem). Durante o modo de orientação, o computador sabe o destino do usuário e com um único sinal sonoro recorrente orienta o deficiente visual na direção ideal. No modo de imagem, diferentes amplitudes são jogados em uma rápida sucessão de oito direções virtuais diferentes (semelhante a um radar de varredura). O computador traduz esses mapas para sons e o usuário pode ouvi-los por seus fones de ouvido.

4.6 *Autonomous System for Mobility, Orientation, Navigation and Communication*

O *Autonomous System for Mobility, Orientation, Navigation and Communication* é um sistema baseado em visão estéreo para ajudar pessoas com deficiência visual (MOLTON et al., 1998). Para obter informação local, o sistema possui sensores de ultrassom, acoplados em um cinto, na altura do peito e da cintura do usuário e duas câmeras para detectar objetos de grande dimensão (Figura 4.5 (MOLTON et al., 1998)).



Figura 4.5: Autonomous System for Mobility, Orientation, Navigation and Communication.

O modelo de visão por computador é baseado no algoritmo *Ground Plane Obstacle Detection* (GPOD). Este algoritmo usa duas câmeras para caracterizar o chão por meio de uma parametrização da medição de disparidade das vistas das duas câmeras. O algoritmo foi estendido de modo a incluir uma recalibração dinâmica do nível do chão (DRGP) em imagens sucessivas. Para estimar o movimento do chão, foi também criado um modelo baseado no filtro de *Kalman*². O algoritmo DRGP e a estimativa do movimento do chão têm precisão suficiente, mas não conseguem funcionar em tempo real.

²Em estatística, o filtro de Kalman é um método matemático criado por Rudolf Kalman. Seu propósito é utilizar medições de grandezas realizadas ao longo do tempo (contaminadas com ruído e outras incertezas) e gerar resultados que tendam a se aproximar dos valores reais das grandezas medidas e valores associados.

4.7 *Tyflos*

Sistema desenvolvido por Bourbakis e Kavraki (2001) destinado a assistir a navegação de pessoas com deficiência visual. É composto por dois módulos básicos: o leitor e o navegador. A informação do ambiente que rodeia o usuário é processada de modo a fornecer-lhe uma descrição da cena, numa linguagem natural. Os módulos principais do sistema consistem num sistema de visão montado nos óculos do usuário, um *laser scanner* para obter informação de distância, uma interface composta por microfone, fone de ouvido e um módulo de comunicações. Todos os módulos estão ligados centralmente a um computador portátil. O sistema apresenta dois modos de interação com o usuário: por comandos e em modo contínuo. Em ambas as situações a informação visual é convertida em texto falado. Esse sistema foi melhorado (BOURBAKIS; KAVRAKI, 2005) em nível de hardware e das técnicas de processamento de imagem. O novo sistema é composto por um computador de mão com capacidade de ligação de dados sem fios, um sistema de visão, software de síntese de voz e um gravador digital de áudio. A abordagem principal ao problema passa por fundir a informação proveniente do *scanner* 3D (*laser scanner*) com a imagem adquirida pelo sistema de visão, em tempo real. O mapa 3D gerado é, em seguida, convertido para alimentar pequenos vibradores colocados em contato com pele do usuário. A Figura 4.6 ((BOURBAKIS; KAVRAKI, 2001) - página 233) apresenta o Tyflos.



Figura 4.6: Protótipo Tyflos. Esquerda: câmeras estéreo anexado em óculos escuros, microfone, fones de ouvido e computador portátil. Direita: Colete vibração anexado no abdômen de um usuário.

4.8 *Mobile Vision as Assistive Technology for the Blind: An Experimental Study*

Manduchi (2012) desenvolveu um sistema que usa marcadores de cores especiais, colocados em locais-chave no ambiente, que pode ser detectado por um celular. Foi utilizado um algoritmo de visão computacional implementado para celular. O retorno fornecido pelo sistema de detecção para o usuário está na forma de um sinal acústico (uma sequência de bipes). Existem duas taxas de bipes distintos: a taxa mais lenta (cerca de 2 sinais por segundo) a distâncias

superiores a 1 metro, e uma taxa mais rápida (cerca de 5 bips por segundo) a distâncias menores. O celular vibra se o usuário girar o celular por mais do que 30 graus em torno do seu eixo óptico. Isto proporciona um aviso discreto e lembra que o usuário tem que manter o celular para cima. A Figura 4.7 ((MANDUCHI, 2012) - página 12) apresenta um experimento com um usuário cego em busca de um marco (representado por um marcador de cor colocada na parede), utilizando uma câmera de celular.



Figura 4.7: Marcadores de cores especiais detectados por celular.

4.9 *Cognitive-Map Formation of Blind Persons in a Virtual Sound Environment*

No trabalho de Ohuchi et al. (2006) foi desenvolvido um sistema composto por labirintos virtuais com sons. A Figura 4.8 ((OHUCHI et al., 2006) - página 02 - ICAD06) apresenta um participante navegando no sistema e a tela do editor de mapas.

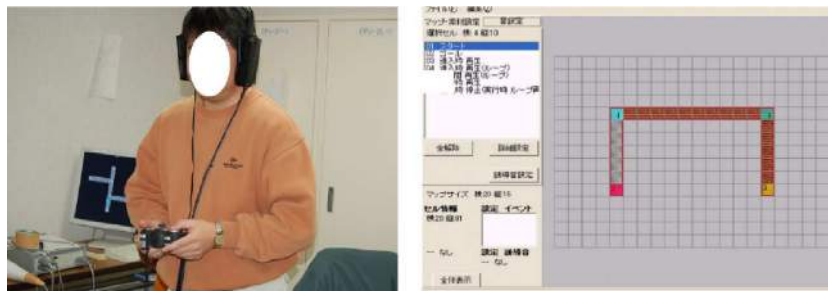


Figura 4.8: O participante navegando no sistema e o editor de mapas.

O usuário navega por meio de ambientes virtuais sonoros usando um controlador de jogo ao invés de viajar fisicamente. O usuário se move para frente, pressionando o botão para a frente no controlador. A posição é determinada apenas pela direção da cabeça do usuário. Portanto, o usuário não pode mudar de direção, utilizando os botões no controlador. O usuário deve voltar seu corpo para a direita e, em seguida, pressionar o botão para a frente, se desejar virar à direita. Para mover-se para trás, o usuário deve girar 180 graus, em seguida, pressionar o botão para

a frente. Há também uma mensagem verbal "Você virou à direita" e "Você virou à esquerda", confirmando a ação do usuário por meio de sons que são emitidos por fones de ouvido.

O labirinto é composto de uma série de células e sempre que o usuário se mover em uma dessas células, é emitido o som de um passo. Nas células podem existir marcos como sons de animais, carros, entre outros. Os pontos de referência podem ser usados de duas maneiras: em "modo de rastreo", no qual o usuário ouve o som do marco constantemente, guiando o usuário para a célula, e em "modo de estilo livre", o utilizador encontra o marco apenas quando atinge a célula. Quando o usuário atingir algum obstáculo, o controlador de jogo emite resposta sonora e resposta tátil por meio de uma vibração. O movimento do usuário pode ser traçado na tela do computador ou pode ser desligado de acordo com a preferência.

4.10 *AudioDoom, AudioMetro e Audio-Based Environment Simulator*

Sánchez et al. (2010) criaram uma ferramenta para auxiliar o desenvolvimento das habilidades cognitivas e sensoriais de pessoas cegas e baixa visão. Foram criados três jogos de computador com base em indicações auditivas e controlados pelo teclado: o *AudioDoom*, o *AudioMetro* e o *Audio-Based Environment Simulator*.

O *AudioDoom* é um jogo de computador desenvolvido para crianças cegas. Neste jogo, um jogador navega por um labirinto virtual com paredes e corredores pré-determinados. O objetivo do jogo é encontrar um caminho para o portal de saída e iniciar o próximo nível. No labirinto existem monstros que devem ser evitados. Após a utilização do jogo, os jogadores foram capazes de criar representações táteis das rotas navegadas. A figura 4.9 ((SÁNCHEZ et al., 2010) - página 131) apresenta (A) um jogo com corredores, portas, becos sem saída e objetos; (B) uma criança convidada a criar um modelo do jogo usando peças de Lego; (C) representação do modelo.

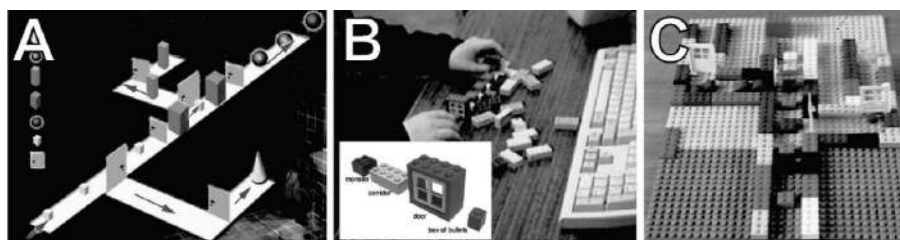


Figura 4.9: *AudioDoom*.

O *AudioMetro* foi desenvolvido com o objetivo de auxiliar o usuário com deficiência visual a organizar e preparar uma rota de viagem antes de andar em um metrô real. O usuário navega

virtualmente pela rede de metrô da cidade de Santiago, a partir do ponto de partida, passando por sucessivas estações, até finalmente chegar ao destino desejado. A Figura 4.10 ((SÁNCHEZ et al., 2010) - página 132) apresenta (A) a seção do mapa do Metro de Santiago-Chile, que indica uma viagem da Universidade de Santiago até a estação Santa Lucia; (B) a interface com o usuário para selecionar a origem desejada e destino da viagem; (C) Simulação da viagem pelo metrô.



Figura 4.10: *Audiometro*.

No *Audio-Based Environment Stimulator*, o usuário explora um prédio, movendo-se no ambiente e ouvindo sugestões depois de cada passo. Após a utilização desse jogo, os usuários foram capazes de navegar no prédio real. A Figura 4.11 ((SÁNCHEZ et al., 2010) - página 134) apresenta (A) a planta real de um edifício; (B) a representação virtual da planta do edifício mostrando vários objetos com os quais o usuário pode interagir.

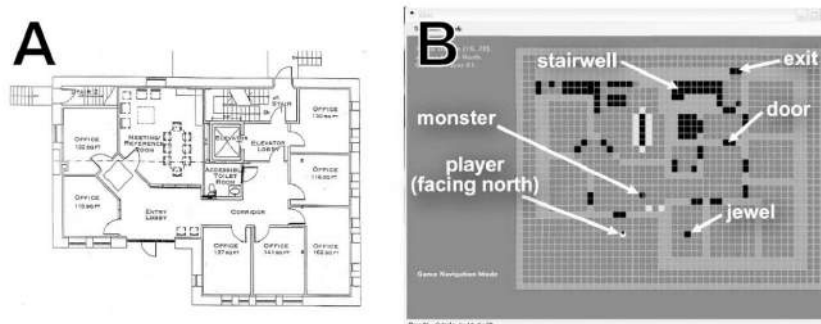


Figura 4.11: *EnvironmentStimulator*.

4.11 *Spatial Learning Using Locomotion Interface to Virtual Environment*

No trabalho realizado por Patel e Vij (2012), foi construída uma interface de locomoção e interação com ambientes virtuais utilizando uma esteira mecânica. É constituído por uma esteira de motor que descansa sobre uma base mecânica giratória. O cinto da esteira possui sensores de força que detectam a posição dos pés. As posições angulares dos pés sobre a esteira

são monitorados para determinar a intenção do usuário de virar para os lados. O ambiente virtual foi desenvolvido com base no piso térreo de uma instituição de ensino. Possui uma entrada principal, três corredores e oito marcos (como sala de professores, auditório, biblioteca, sala de aula, etc.). A orientação ocorre por meio de descrições do ambiente que são emitidos por alto-falantes ou fones de ouvido. A Figura 4.12 ((PATEL; VIJ, 2012) - página 172) apresenta o protótipo do dispositivo composto por 3 partes: (a) a esteira mecânica, (b) base rotativa mecânica e (c) bloco contendo o motor e a caixa de velocidades para girar a base mecânica; o modelo real; e a tela do ambiente simulado.



Figura 4.12: Interface de locomoção usando esteira mecânica.

4.12 NAVI – Navigational Aids for the Visually Impaired

Zöllner e Huber (2011) utilizaram um *Kinect* e um cinto de vibração para ajudar as pessoas com deficiência visual a transitar por locais fechados. O *Kinect* é montado em um capacete para captar informações de profundidade do ambiente em volta do usuário, as informações são processadas por um computador portátil montado em uma mochila especial, as respostas do sistema são transmitidas a três pares de motores de vibração no cinto do usuário, e pistas de voz são emitidas ao usuário por um fone de ouvido sem fio. A Figura 4.13 ((ZÖLLNER; HUBER, 2011) - página 585) apresenta o NAVI.



Figura 4.13: NAVI.

4.13 Cão-Guia Robô

A empresa japonesa *NSK - Motion & Control* (NSK - Motion & Control, Oct 2011) desenvolveu um cão-guia robô com o *kinect*. O quadrúpede eletrônico se movimenta de forma semelhante a um cão de verdade e pode caminhar por superfícies planas, subir e descer escadas e ultrapassar obstáculos. O cão-guia robótico é ativado quando o condutor pressiona uma alça acoplada à máquina. Assim, ele sabe que o usuário está pronto para começar a caminhada. Os movimentos do robô são ajustados conforme os obstáculos detectados. As patas do robô são equipadas com sensores para evitar buracos com possibilidade de impacto forte e para evitar os carros.

Os pesquisadores têm trabalhado recentemente na incorporação de comandos de voz. A NSK diz que seu cão-guia pode eventualmente integrar as facilidades de um GPS para fornecer orientações mais precisas para os deficientes visuais. A Figura 4.14 (NSK - Motion & Control, Oct 2011) apresenta o protótipo do cão guia robótico.



Figura 4.14: Cão guia robótico.

4.14 Resumo Comparativo

Foram apresentados doze trabalhos que utilizam diferentes dispositivos para interação entre o usuário e o sistema. Dentre os dispositivos usados pode-se citar o *GPS*, celular, baliza sonora, marcador colorido, *joystick*, teclado, esteira mecânica e *kinect*. Apenas quatro permitem a navegação em ambientes virtuais, sendo que em dois casos, a forma de interação não é natural (um utiliza o *joystick* e outro o teclado). Em dez trabalhos, o usuário necessitar ter algum dispositivo atrelado ao corpo, destacando-se que três possuem mecanismo complexo ou volumoso. A Tabela 4.1 apresenta um resumo comparativo entre os trabalhos citados.

Tabela 4.1: Características dos trabalhos relacionados

Trabalho	Dispositivo utilizado	Navegação em AV	Interação Natural	Dispositivo atrelado ao corpo	Construção de novos modelos	Mecanismo complexo volumoso
4.2	GPS/ Computador	Não	Sim	Sim	Sim	Não
4.3	GPS/ Celular	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
4.4	Baliza	Não	Sim	Não	Não	Não
4.5	Robô	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
4.6	Sensor Ultra-som	Não	Sim	Sim	Sim	Não
4.7	Óculos/ <i>Laser Scanner</i>	Não	Sim	Sim	Sim	Não
4.8	Marcador/ Celular	Não	Sim	Sim	Sim	Não
4.9	<i>Joystick</i>	Sim	Não	Sim	Não	Não
4.10	Teclado	Sim	Não	Sim	Não	Não
4.11	Esteira Mecânica	Sim	Sim	Não	Não	Sim
4.12	<i>Kinect</i>	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
4.13	<i>Kinect</i>	Não	Sim	Sim	Sim	Sim

No *Personal Guidance System* a navegação é feita no ambiente real, considerando todas as adversidades que podem ocorrer, e o usuário necessita de um computador. O sistema é totalmente dependente do sinal *GPS* que pode ser bloqueado por obstáculos, como prédios, e também não funcionar em ambientes internos.

O *MoBIC Travel Aid (MoTA)* usa uma técnica de triangulação que possibilita localizar o telefone celular integrado ao sistema. O planejamento de rotas é criado e testado em um módulo, e só então, transferido para o outro módulo para navegação no ambiente real. A dependência deste tipo de planejamento reduz a flexibilidade do seu uso em ambientes novos.

Nos sistemas guiados por baliza, a maior limitação é a ausência de uma função de planejamento de rota. Estes sistemas apenas apresentam informações espaciais para o usuário, deixando para ele o processo de planejamento.

O *Navbelt* utiliza um robô, a navegação é feita no ambiente real e necessita de dispositivo atrelado ao corpo. O protótipo é volumoso e os usuários necessitam de treinamentos extensos. O *Autonomous System for Mobility, Orientation, Navigation and Communication* é um sistema baseado em visão estéreo, a navegação também ocorre em ambiente real e também há a necessidade de dispositivo atrelado ao corpo. Como já citado, não consegue funcionar em tempo real.

O *Cognitive-Map Formation of Blind Persons in a Virtual Sound Environment* e o *Audio-*

Doom, *AudioMetro* e *Audio-Based Environment Stimulator* são sistemas que permitem navegação em ambiente virtual, porém essa navegação está limitada ao teclado e ao controlador de jogo respectivamente.

O *Spatial Learning Using Locomotion Interface to Virtual Environment*, a navegação é feita em ambiente virtual, a interação ocorre de forma natural e não necessita de dispositivo atrelado ao corpo. Uma limitação desse sistema, segundo os autores, é sua incapacidade de simular caminhos em zigue-zague. Além disso, o volume do dispositivo e o mecanismo complexo podem impactar sua usabilidade.

O *NAVI – Navigational Aids for the Visually Impaired* e o *Cão-Guia Robô* utilizam o *kinect*, necessitam de dispositivos atrelados ao corpo e possuem mecanismos complexos ou volumosos.

O Sistema de Auxílio da Cognição Espacial em Cegos (SACEC) desenvolvido nesse trabalho, utiliza o dispositivo *Kinect*. Permite a navegação em Ambientes Virtuais com Interação Natural e respostas sonoras, não necessita nenhum dispositivo atrelado ao corpo do usuário, permite a modelagem de qualquer ambiente de interesse, nenhum treinamento especial é necessário para a utilização do sistema, o processo é natural e intuitivo, não possui mecanismo complexo ou volumoso, proporciona sensação de segurança, não tem nenhum risco em relação a integridade física do usuário, além de ser um sistema de baixo custo, que é simples de operar e manter.

Outra característica do SACEC é a forma como foi implementada a detecção das poses para interação como o sistema. Os gestos padrões da biblioteca *NITE* não foram utilizados. Foram desenvolvidas poses que representam os movimentos básicos utilizados em treinamento de OM para deficientes visuais como a marcha, proteção frontal/lateral e o giro de 1/4 de volta. Essas poses estão descritas no próximo capítulo.

SACEC - SISTEMA DE AUXÍLIO A COGNIÇÃO ESPACIAL EM CEGOS

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”

Charles Chaplin

5.1 Introdução

O potencial das interfaces de locomoção em fornecer uma sensação próxima da natural de uma navegação real, bem como sua efetiva capacidade de desenvolver a habilidade de navegação espacial em deficientes visuais motivou o desenvolvimento do SACEC. Esse sistema permite a exploração de ambientes virtuais antes da navegação no ambiente real. A interação com o ambiente virtual é feita de forma natural e controlada pelo *Kinect*. Esse dispositivo foi utilizado pelo seu histórico científico de uso, preço acessível e difusão no mercado. A seguir é apresentado o SACEC.

5.2 SACEC

O sistema proposto é um ambiente virtual controlado pelo dispositivo *Kinect*. O ambiente virtual é usado para fornecer aos usuários informações espaciais por meio de instruções de

áudio e prepará-los para uma locomoção de forma mais independente nos ambientes reais. O *Kinect* é utilizado para o reconhecimento de poses pré-definidas e para a realização de ações de exploração e navegação no ambiente.

O *software* possui uma tela para a visualização da localização do usuário pelos tutores de OM, uma tela que permite a visão 3D que representa a percepção frontal do ambiente pelo usuário e uma tela que mostra a imagem do usuário capturada pelo *Kinect*, conforme exemplo apresentado pela Figura 5.1 .

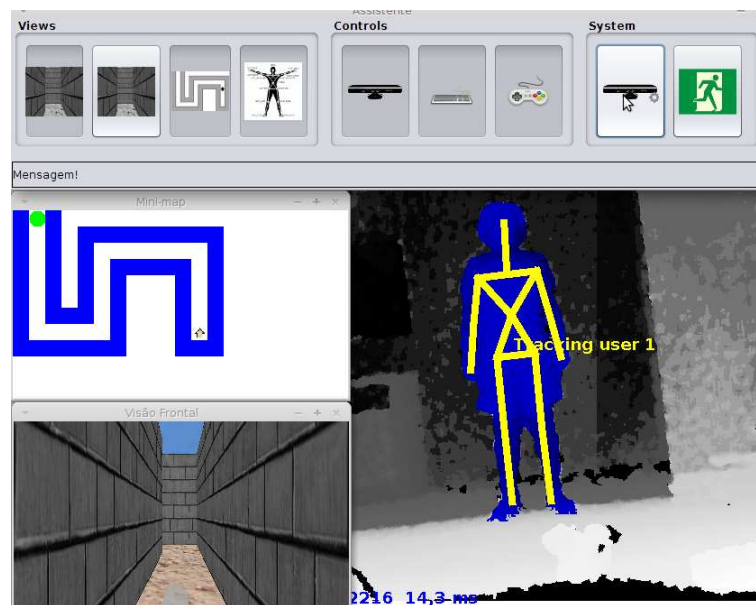


Figura 5.1: Tela do SACEC.

Os modelos virtuais não são fixos, eles podem ser montados manualmente pelos tutores e armazenados em arquivos textos *ASCII*. Para usá-los, o nome do arquivo deve ser informado na inicialização do sistema. A Figura 5.2 ilustra o exemplo em formato texto para representação do ambiente apresentado na Figura 5.1, no qual o caracter *#* representa um bloco de parede, um espaço em branco indica uma passagem livre e a posição e direção inicial do usuário é marcada com um dos caracteres *^*, *v*, *>* e *<*, que indicam as direções norte, sul, leste ou oeste, respectivamente.

```

# #
# # #####
# # #
# # #####
# # # ^#
# # # #
# # # #
# # # #
# # # #
#####

```

Figura 5.2: Exemplo de arquivo texto do ambiente modelado.

5.2.1 Configuração do sistema

Hardware

A configuração utilizada para o sistema consiste em um computador *Lenovo G460* com processador *Intel Core™ i5-430M* (3MB de cache, 2,26 GHz), 4GB de memória, utilizando o Sistema Operacional *Linux Ubuntu 10.10 (Maverick)* com uma placa gráfica *NVIDIA GeForce 310M* com 512MB; Um monitor *LCD* de 32 polegadas de tamanho físico e um sensor *Kinect* configurado para resolução de imagem de 640×480 e 30 quadros por segundo.

Software

Foi utilizado o *driver* de código aberto *OpenNI* ¹ para interface com o sensor *Kinect* e o *middleware NITE* ². O *NITE* está limitado a um conjunto com três articulações centrais - cabeça, pescoço, tronco - e seis articulações do lado esquerdo e do lado direito - ombros, cotovelos, mãos, quadril, joelhos e pés.

Para o desenvolvimento do sistema, foi utilizada a plataforma *Java* com *JDK* e *JRE* versão 1.6.0_22. Para a interface gráfica foi utilizada a versão 1.5.2 do *Java3D* ³, que tem como requisitos mínimos o *JDK 1.5.0* e o adaptador gráfico com suporte a extensões *GLX 1.3* e o *OpenGL 1.3* ⁴.

5.2.2 Funcionamento do sistema

O sensor *Kinect*, que realiza a captura do mapa de profundidade e da imagem colorida, detecta o usuário por meio da pose *PSI* rastreando seu esqueleto. Em seguida faz o reconhecimento das poses que são estimadas a partir das articulações rastreadas do usuário. As poses reconhecidas pelo sistema são: simulação de caminhada (marcha), simulação de virar para esquerda e para direita (1/4 de volta para direita/esquerda), tatear frontalmente com uma ou duas

¹ A biblioteca *OpenNI* é um código aberto multi-linguagem e multi-plataforma que define APIs para escrever aplicações que utilizam Interação Natural. Ela é composta de dois conjuntos de APIs, uma para implementar os dispositivos sensores e uma para implementar os componentes de *middleware* (CRUZ; SILVA; VELHO, 2012).

² A biblioteca *NITE* é um *middleware* que percebe o ambiente real 3D com base em imagens de profundidade. O *middleware* inclui algoritmos de visão computacional que permitem a identificação de usuários e o acompanhamento de seus movimentos. Ela inclui também uma API para implementação de controles de interação natural baseados em gestos do usuário. O algoritmo executa as bases de processamento do fluxo de imagens de profundidade e usa visão computacional para executar a segmentação de cena, detecção de mão e rastreamento de corpo inteiro (CRUZ; SILVA; VELHO, 2012).

³ A API *Java3D* é uma biblioteca da Sun Microsystems Inc. (JAVA3D, 2008) destinada à construção de aplicações e applets em Java. Fornece suporte a som animação, interações, renderização paralela e otimizada.

⁴ *OpenGL (Open Graphics Library)* é uma API livre utilizada na computação gráfica, para desenvolvimento de aplicativos gráficos, ambientes 3D, jogos, entre outros.

mãos e tatear para esquerda e para a direita (proteção frontal e lateral). Por último, realiza as ações no ambiente virtual, que pode ser o movimento de um passo a frente, um giro de 90° para a direita ou esquerda ou a emissão de sons. A Figura 5.3 apresenta de forma resumida o funcionamento do sistema, mostrando a sequência de passos para calibragem, a identificação de poses e suas interações com o ambiente virtual.

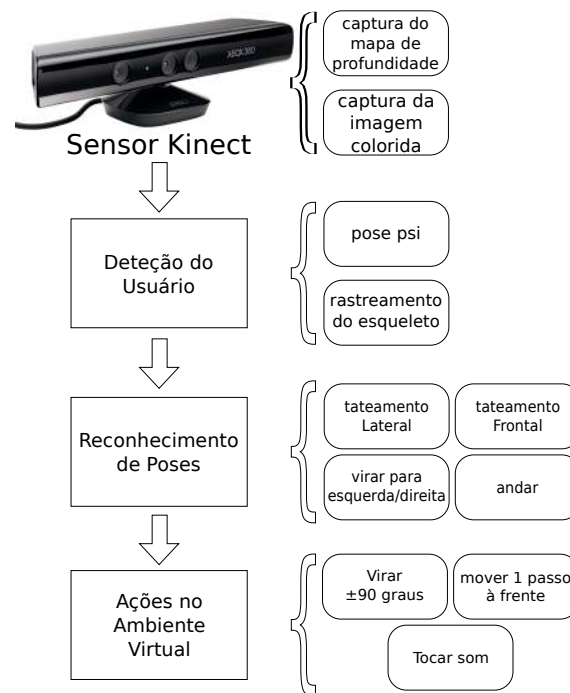


Figura 5.3: Estrutura do sistema com reconhecimento de poses.

Neste trabalho foram utilizados os algoritmos do *NITE* para detecção e rastreamento do esqueleto e para determinação da posição das articulações dos usuários. Os gestos padrões da biblioteca *NITE* não foram utilizados, como já mencionado, foram implementadas poses que representam os movimentos básicos utilizados nos treinamentos de OM.

5.3 Reconhecimento de Poses

A forma como é realizada a detecção das poses para interação como o sistema é descrita a seguir, mostrando como é feita a inicialização do sistema, o cálculo da distância para a detecção de poses, detecção das poses de tateamento frontal e lateral, simulação de caminhada e o movimento de giro para a direita e esquerda.

5.3.1 Inicialização do sistema

Inicialmente, o usuário não é reconhecido pelo sistema. O sistema permanece em espera por um usuário em pose de calibração ψ (psi). O usuário precisa permanecer nesta pose durante ≈ 3 segundos. A Figura 5.4 apresenta a pose ψ utilizada para calibração.

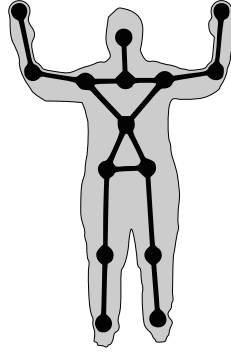


Figura 5.4: Modelo em pose ψ .

Detectada a pose de calibração, o sistema inicia o rastreamento do esqueleto. Em seguida, realiza rotinas de atualização das articulações e detecção de poses. A rotina de atualização das articulações captura as coordenadas 3D de cada articulação e as armazenam para a detecção de poses.

5.3.2 Cálculo de distâncias para detecção de poses

Todas as articulações do esqueleto possuem coordenadas (x,y,z) em milímetros. A coordenada z indica a distância de cada articulação ao *Kinect*. O *Kinect* representa o ponto de coordenada $(0,0,0)$. Portanto, sua posição é a referência das demais coordenadas do usuário e do ambiente.

Diversas poses do sistema são identificadas pela verificação de distâncias. A Figura 5.5 ilustra algumas distâncias e coordenadas úteis.

A distância $d(T, Hd)$ é usada com frequência pelo sistema. É obtida pela Eq. (5.1)

$$d(T, Hd) = d(N, S) + d(S, E) + d(E, Hd) \quad (5.1)$$

onde $d(N, S)$, $d(S, E)$ e $d(E, Hd)$ são as distâncias entre a articulação do pescoço e do ombro, entre a articulação do ombro e o cotovelo e entre a articulação do cotovelo e da mão, respectivamente.

A distância entre cada articulação é obtida pela distância euclidiana (Eq. (5.2)).

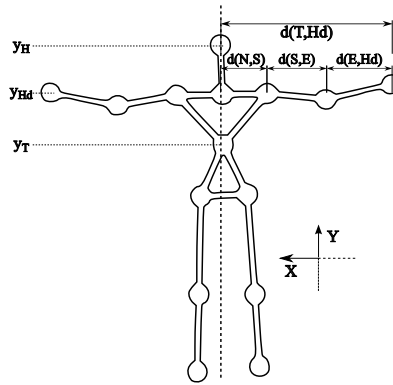


Figura 5.5: Medidas obtidas após a calibração.

$$d(A,B) = \sqrt{(x_b - x_a)^2 + (y_b - y_a)^2 + (z_b - z_a)^2} \quad (5.2)$$

onde $d(A,B)$ é a distância entre os pontos selecionados, A e B são as articulações que estão sendo utilizadas, x_a , y_a e z_a e x_b , y_b e z_b são as coordenadas das articulações A e B , respectivamente.

5.3.3 Detecção das poses de tateamento lateral

A pose de tateamento lateral é utilizada pelo usuário para a detecção de obstáculos laterais. Essa ação não desloca nem modifica o ponto de vista do usuário no ambiente virtual, apenas emite um alerta sonoro, quando obstáculos são encontrados. A pose de tateamento de obstáculos laterais é reconhecida quando

$$d^x(T,Hd) \geq d_{bound}^x, \quad (5.3)$$

$$d_{bound}^x = d(T,Hd) \cdot f^x(T,Hd), \quad (5.4)$$

onde $d^x(T,Hd)$ é a distância entre o tronco e uma das mãos no eixo X e $f^x(T,Hd)$ é um fator pré-estabelecido para o reconhecimento da detecção lateral. A distância $d^x(T,Hd)$ é calculada utilizando a Eq. (5.5).

$$d^x(T,Hd) = |x_T - x_{Hd}| \quad (5.5)$$

onde x_T e x_{Hd} são as coordenadas no eixo X do tronco e da mão, respectivamente. O fator $f^x(T,Hd)$ foi determinado empiricamente.

Além disso, é necessário ainda que

$$y_T \leq y_{Hd} \leq y_H, \quad (5.6)$$

onde y_T , y_{Hd} e y_H são as coordenadas no eixo Y do tronco, mão e cabeça, respectivamente.

As poses de detecção de obstáculos laterais e suas medidas são apresentadas pelas Figura 5.6(a) que ilustra a pose de tatear para o lados e a 5.6(b) o modelo geométrico. A verificação desta ação é realizada para cada mão, assim, tentativas de detectar obstáculos com duas mãos são permitidas.

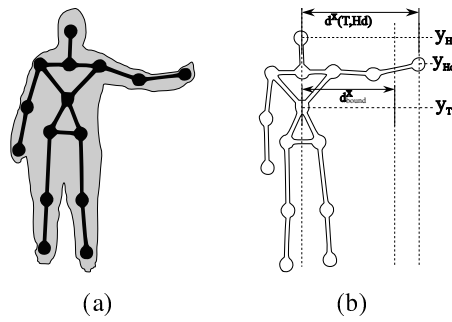


Figura 5.6: Pose de tatear para o lado e modelo geométrico.

5.3.4 Detecção das poses de tateamento frontal

A pose de tateamento frontal é utilizada pelo usuário para a detecção de obstáculos frontais. Como no tateamento lateral, essa ação não desloca nem modifica o ponto de vista do usuário no ambiente virtual, apenas emite um alerta sonoro, quando obstáculos são encontrados. A pose de tateamento de obstáculos frontais é reconhecida quando

$$d^z(T, Hd) \geq d_{bound}^z, \quad (5.7)$$

$$d_{bound}^z = d(T, Hd) \cdot f^z(T, Hd), \quad (5.8)$$

onde $d^z(T, Hd)$ é a distância entre o tronco e uma das mãos no eixo Z e $f^z(T, Hd)$ é um fator pré-estabelecido para o reconhecimento da detecção frontal. A distância $d^z(T, Hd)$ é calculada utilizando a Eq. (5.9).

$$d^z(T, Hd) = |z_T - z_{Hd}| \quad (5.9)$$

onde z_T e z_{Hd} são as coordenadas no eixo Z do tronco e da mão, respectivamente. O fator $f^z(T, Hd)$ foi determinado empiricamente.

Além disso, é necessário ainda que

$$y_T \leq y_{Hd} \leq y_H, \quad (5.10)$$

onde y_T , y_{Hd} e y_H são as coordenadas no eixo Y do tronco, mão e cabeça, respectivamente.

A Figura 5.7(a) ilustra a ação de tatear frontalmente com as duas mãos e as Figura 5.7(b) e 5.7(c) ilustram o modelo geométrico frontal e modelo em perspectiva respectivamente e as medidas utilizadas para detectar essa ação.

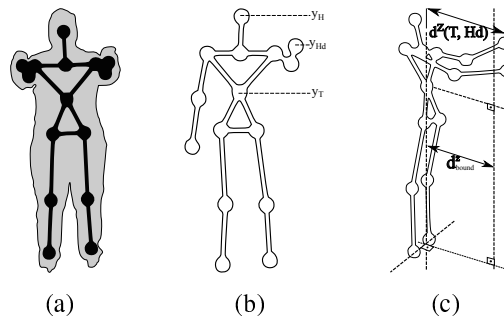


Figura 5.7: Pose frontal de verificação de obstáculo.

5.3.5 Detecção da simulação de caminhada

A cada passo do usuário, ou seja, pose de caminhada reconhecida, o sistema realiza o deslocamento frontal de um passo no labirinto. Se o usuário realizar um passo e sua passagem no labirinto estiver obstruída, o sistema emite um alerta sonoro e não realiza deslocamento no ambiente. As Figuras 5.8(a) e 5.8(b) ilustram a pose de simulação de caminhada e o modelo geométrico, respectivamente.

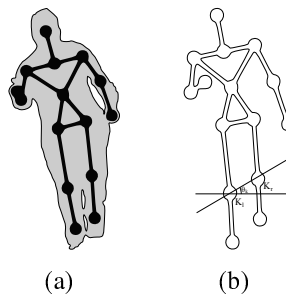


Figura 5.8: Pose de caminhada

Para o reconhecimento da pose de caminhada, foram utilizadas as articulações dos joelhos. Foram consideradas apenas as coordenadas dos eixos X e Y dos joelhos. As articulações dos joelhos são consideradas como pontos de uma mesma reta. Então, calcula-se o ângulo θ_k que indica a inclinação da reta. A Figura 5.9 apresenta o modelo geométrico da pose de caminhada. As articulações K_l e K_r correspondem aos joelhos esquerdo e direito, respectivamente.

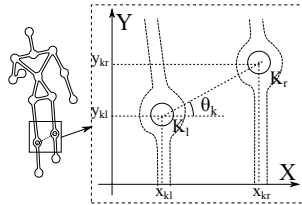


Figura 5.9: Modelo geométrico da pose de caminhada.

Quando a inclinação da reta ultrapassa um valor pré-estabelecido assume-se que foi realizada uma pose de andar. O ângulo θ_k é obtido pela Eq. (5.11).

$$\theta_k = \arctan \frac{y_{kr} - y_{kl}}{x_{kr} - x_{kl}} \quad (5.11)$$

onde θ_k é o ângulo de inclinação da reta, x_{kl} e y_{kl} são as coordenadas do joelho esquerdo e x_{kr} e y_{kr} são as coordenadas do joelho direito. Na Eq. 5.11, quando o ângulo θ_k é positivo o sistema identifica um passo com a perna direita e quando negativo um passo com a perna esquerda. No sistema os passos são identificados de forma alternada. Assim, se o usuário realizar uma sequência de passos com o mesmo joelho, somente o primeiro será considerado. Os demais serão ignorados.

5.3.6 Detecção do movimento de girar para a esquerda e direita

Para a detecção do movimento de girar o corpo, são utilizadas as articulações do pescoço e ombros. Essas articulações foram adotadas pois acompanham a torção do tronco e esboçam sua rotação. As Figura 5.10(a) e 5.10(b) apresentam a pose de girar e o seu modelo geométrico.

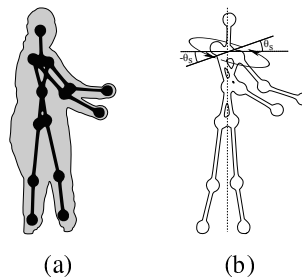


Figura 5.10: Pose de rotação

A articulação do pescoço foi considerada como o centro de rotação dos ombros. Quando o usuário está em repouso adota-se que as articulações dos ombros possuem coordenadas no eixo Z iguais à do pescoço. A Figura 5.11 apresenta a visão superior do usuário com o respectivo modelo geométrico. As articulações do pescoço, ombro esquerdo e ombro direito são representados pelos pontos N , S_l e S_r , respectivamente.

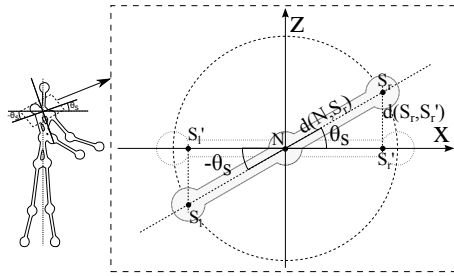


Figura 5.11: Visão superior da rotação dos ombros em relação ao pescoço.

Para verificar se o usuário rotacionou o corpo, verifica-se o ângulo θ_s dos ombros em relação à pose de repouso. Como as articulações dos ombros e pescoço são colineares, quando uma articulação de ombro é rotacionada para uma direção, a articulação do outro ombro rotaciona para a direção oposta com o mesmo ângulo, porém, com sinal contrário. Assim, é necessário apenas efetuar os cálculos para um dos ombros. Arbitrariamente, foi adotado o ombro direito.

A articulação S_r é projetada perpendicularmente ao eixo Z . As coordenadas de N são (x_n, y_n, z_n) . As coordenadas de S_r são $(x_{s_r}, y_{s_r}, z_{s_r})$ e as coordenadas projetadas S'_r são (x'_{s_r}, y_{s_r}, z_n) . As distâncias $d(N, S_r)$ entre N e S_r e $d(S_r, S'_r)$ entre S_r e S'_r são calculadas com a Eq. (5.2). O ângulo θ_s é calculado com a Eq. (5.12).

$$\theta_s = \arcsin \frac{d(S_r, S'_r)}{d(N, S_r)} \quad (5.12)$$

onde θ_s é o ângulo de rotação, $d(S_r, S'_r)$ é a distância entre as articulações S_r e S'_r e $d(N, S_r)$ é a distância entre os pontos N e S_r . Na Eq. 5.12, quando o ângulo da pose é positivo, é identificado como rotação para a esquerda e, quando negativo, é identificado como rotação para a direita.

5.4 Parâmetros para as Poses

Para a detecção da pose de tatear para o lado é necessário determinar o fator $f^x(T, Hd)$. Foram testados os valores: 0.25, 0.50, 0.75 e 1.00. Os fatores 0.25 e 0.50 deixaram o sistema muito sensível. O fator 1.00 além de ser muito difícil de ser atingido, causou certo desconforto

ao usuário. Assim, o fator que teve resultados mais satisfatórios foi de 0.75.

Na detecção da pose de tatear para a frente, os resultados obtidos foram idênticos à detecção da pose de tatear para o lado. Assim, o fator $f^z(T, Hd)$ que teve resultados mais satisfatórios foi também de 0.75.

Para a identificação da pose de simulação de caminhada foram experimentados valores para o ângulo θ_k . Para simplificar, os valores de θ_k foram convertidos de radianos para graus. Foram experimentados valores a partir de 10 graus com intervalos de 5 em 5 graus. O valor satisfatório foi de 25 graus. Ângulos menores apresentaram muita sensibilidade e ângulos maiores causaram desconforto. Ressalta-se que na simulação de caminhada é necessário que o usuário evite se deslocar. Embora as medidas sejam recalculadas em tempo real, mudanças de posição no ambiente real podem gerar erros de aproximação.

Para a identificação da pose de virar para os lados foram experimentados valores para o ângulo θ_s . Para simplificar os experimentos, os valores de θ_s também foram convertidos de radianos para graus e experimentados valores a partir de 10 graus com intervalos de 5 em 5 graus. O valor satisfatório foi de 45 graus. Novamente, ângulos menores apresentaram muita sensibilidade e ângulos maiores causaram desconforto.

A Tabela 5.1 resume os parâmetros experimentados, para detecção de poses, com resultados satisfatórios.

Tabela 5.1: Parâmetros para detecção de poses

Parâmetros	Descrição	Tempo valor
$f^x(T, Hd)$	Fator para tateamento lateral	0.75
$f^z(T, Hd)$	Fator para tateamento frontal	0.75
θ_k	Ângulo para simulação de caminhada	25 graus
θ_s	Ângulo para simulação de girar	45 graus

MÉTODO E RESULTADOS

“No meio da dificuldade vive a oportunidade.”

Albert Einstein

6.1 Introdução

Para avaliar o desempenho do sistema e verificar se os participantes são capazes de criar mapas cognitivos dos ambientes virtuais explorados, experimentos foram realizados com pessoas portadoras de deficiência visual. Esses experimentos foram aprovados por uma comissão de ética e todos os procedimentos propostos foram seguidos para proteger o bem-estar físico e mental dos voluntários, bem como seu anonimato. Este capítulo apresenta o procedimento para realização dos testes e os resultados obtidos.

6.2 Participantes

Os participantes foram indicados por dois professores de Orientação e Mobilidade (OM) e pela assistente social de um espaço de atendimento especializado em deficientes visuais da cidade de Goiânia. Propositamente, escolheu-se pessoas com diferentes níveis de deficiência visual (Cego ou Baixa Visão), que adquiriram a deficiência em diferentes fases da vida (nascimento, infância, adolescência, adulta) e com diferentes níveis de habilidade em OM. O nível de habilidade em OM independe do tempo de trabalho realizado, portanto, essa informação foi repassada pelo professor de OM, que classificou a habilidade de cada participante em excelente,

bom ou regular. Foram convidados 25 sujeitos com idades variando entre 18 e 60 anos, 15 do sexo masculino (M) e 10 do sexo feminino (F). Vale ressaltar que 5 sujeitos convidados (3 do sexo feminino e 2 do sexo masculino) não aceitaram realizar os testes.

6.3 Materiais e Métodos

6.3.1 Procedimento

O procedimento foi realizado em 5 etapas, conforme orientação do especialista em OM, no qual cada participante foi observado individualmente. A primeira etapa foi a anamnese; na segunda, foram passadas as instruções para utilização do sistema (pré-treino); a terceira, o teste; a quarta, a verbalização e reprodução do trajeto e a quinta, questionário final. Na primeira etapa, o participante foi informado que a pesquisa desse trabalho já havia sido aprovada pelo comitê de ética e, após a leitura do termo de consentimento livre e esclarecido e do aceite do participante, foi feita uma entrevista (anamnese). Nessa entrevista, o participante apresentou sua história, a concepção de si mesmo, a relação com a cegueira e respondeu o questionário inicial (A1 - Anexo A), no qual pode-se montar o perfil do sujeito. Na etapa seguinte, recebeu as instruções para utilização do sistema. Nesse momento, cada um pode esclarecer possíveis dúvidas, simular os movimentos reconhecidos pelo sistema e se ambientar com os sons utilizados. Aqueles que aceitaram continuar na pesquisa passaram para a terceira etapa que foi a realização dos testes. Cada participante foi posicionado em frente ao *Kinect* a uma distância de aproximadamente três metros. Manteve-se na posição *PSI* para sua captura e esqueletização. Reproduziu os movimentos reconhecidos (andar, tatear e girar) até encontrar a saída do ambiente modelado. Seguindo orientação dos profissionais especializados em OM, o ritmo do teste foi imposto pelo participante. O ambiente pode ser explorado até o sujeito memorizar o trajeto. Não foi delimitado tempo ou quantidade de repetições permitidas, todos puderam repetir o trajeto quantas vezes necessário, pois o mais importante era que cada participante memorizasse o ambiente percorrido, independente de qualquer fator. A etapa seguinte foi a verbalização do trajeto e a utilização de um jogo de montar blocos para a reprodução do caminho percorrido. Por último, foi aplicado o questionário final (A2 - Anexo A) para a avaliação do sistema.

6.3.2 Local de realização do estudo

As entrevistas e os testes foram realizados nas salas da assistente social, do professor de OM e da psicóloga do espaço de atendimento especializado em deficientes visuais da cidade de Goiânia. A primeira é uma sala ampla, medindo aproximadamente 20 m², contendo uma mesa,

três cadeiras, duas poltronas, dois armários, dois arquivos e alguns brinquedos. A segunda, praticamente a metade do tamanho da primeira, com uma mesa, duas cadeiras e um armário e a sala da psicóloga do mesmo tamanho da sala do professor de OM, decorada com uma mesa infantil, 4 cadeiras e vários brinquedos.

6.3.3 Ambiente usado nos testes

O SACEC, como já mencionado, permite a modelagem de qualquer ambiente de interesse. O ambiente virtual modelado e utilizado em todos os testes foi um labirinto sugerido pelo professor de OM e baseado em Dahlstrom et al. (2013), como apresentado na Figura 6.1.

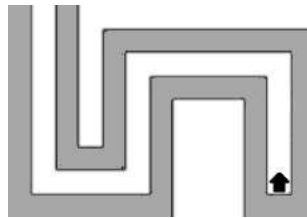


Figura 6.1: Visão de topo 2D do labirinto.

O usuário é inicialmente posicionado no início do labirinto com o objetivo de encontrar a saída. Para realização desse trajeto, são necessários no mínimo 41 movimentos. Seguindo orientações dos especialistas em OM, não estabeleceu-se nenhuma obrigação de concluir o experimento com um número mínimo de passos ou tempo.

6.4 Resultados

Após a aplicação do questionário inicial, verificou-se que a locomoção é a maior dificuldade enfrentada pelos entrevistados e 70% se sentem inseguros quando precisam andar em um ambiente desconhecido. Dos participantes, 25% nunca utilizaram ferramentas tecnológicas, porém, todos acreditam que essas ferramentas podem auxiliá-los, e 90% demonstraram boas expectativas em relação ao SACEC. Os resultados do questionário inicial são apresentados de forma resumida na Tabela 6.1.

Tabela 6.1: Resumo estatístico dos dados dos participantes

Pergunta	Resposta	Quantidade	Percentual
Gênero	Feminino	07	35%
	Masculino	13	65%

Faixa de Idade	← 20	02	10%
	20 → 30	10	50%
	30 → 40	05	25%
	40 →	03	15%
Tipo de Deficiência	Baixa Visão	10	50%
	Cego Total	10	50%
Fase da vida que adquiriu a deficiência	Nascença	06	30%
	Criança	07	35%
	Adolescência	02	10%
	Adulta	05	25%
Maior dificuldade causada pela deficiência Visual	Nada	02	10%
	Tudo	02	10%
	Locomoção	09	45%
	Leitura	07	35%
Tempo de Trabalho em OM	Nunca Fez	05	25%
	≤ 6 meses	09	45%
	> 6 meses	06	30%
Sentimento em local desconhecido	Tranquilo(a)	03	15%
	Inseguro(a)	14	70%
	Desafiado(a)	02	10%
	Perdido(a)	01	5%
Já usou ferramentas tecnológicas	Sim	15	75%
	Não	05	25%
Ferramentas tecnológicas podem auxiliar na inclusão	Sim	20	100%
	Não	00	0%
Tem expectativa em relação ao SACEC	Sim	18	90%
	Não	02	10%
Nível de habilidade em OM	Excelente	07	35%
	Bom	07	35%
	Regular	06	30%

6.5 Desempenho dos Participantes

Para verificar o desempenho dos participantes, o tipo de deficiência (cego ou baixa visão), a habilidade em OM (regular, bom ou excelente) e a quantidade de tentativas para memorização do trajeto foram considerados como variáveis independentes. O número de movimentos e tempo de cada tentativa foram considerados como variáveis dependentes, e foram analisados com base na formação parcial (primeira tentativa) e formação posterior (última tentativa). A seguir, apresenta-se o desempenho de cada participante descrevendo a quantidade de tentativas necessárias para memorização do trajeto, o tempo e a quantidade de movimentos de cada tentativa, a descrição verbal feita pelos participantes e a representação do trajeto percorrido montado em blocos coloridos. As sequências de passos dos participantes em cada tentativa encontram-se no anexo B.

6.5.1 Participante P1

A participante P1 criou o mapa mental do trajeto em 9 tentativas, seu desempenho é apresentado na Tabela 6.2.

Tabela 6.2: Desempenho participante P1

Tentativa	Tempo	Nº Movimentos
1 ^a	3'09"	67
2 ^a	1'40"	54
3 ^a	7'03"	130
4 ^a	6'26"	128
5 ^a	2'49"	60
6 ^a	3'33"	62
7 ^a	1'03"	46
8 ^a	2'08"	48
9 ^a	1'02"	41

Descrição verbal do trajeto feita pela participante P1: 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 6 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 4 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 6 passos para frente.

A Figura 6.2 apresenta a participante P1 com a representação do trajeto percorrido montado em blocos coloridos.



Figura 6.2: Participante P1.

6.5.2 Participante P2

O participante P2 criou o mapa mental do trajeto em 3 tentativas, seu desempenho é apresentado na Tabela 6.3.

Tabela 6.3: Desempenho participante P2

Tentativa	Tempo	Nº Movimentos
1 ^a	1'13"	47
2 ^a	56"	44
3 ^a	1'30"	44

Descrição verbal do trajeto feita pelo participante P2: 6 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 7 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 7 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 8 passos para frente.

A Figura 6.3 apresenta o participante P2 com a representação do trajeto percorrido montado em blocos coloridos.



Figura 6.3: Participante P2.

6.5.3 Participante P3

O participante P3 criou o mapa mental do trajeto em 5 tentativas, seu desempenho é apresentado na Tabela 6.4.

Tabela 6.4: Desempenho participante P3

Tentativa	Tempo	Nº Movimentos
1ª	2'19"	69
2ª	6'22"	199
3ª	2'41"	81
4ª	1'56"	61
5ª	42"	50

Descrição verbal do trajeto feita pelo participante P3: 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 5 passos para frente.

A Figura 6.4 apresenta o participante P3 com a representação do trajeto percorrido montado em blocos coloridos.



Figura 6.4: Participante P3.

6.5.4 Participante P4

A participante P4 criou o mapa mental do trajeto em 3 tentativas, seu desempenho é apresentado na Tabela 6.5.

Tabela 6.5: Desempenho participante P4

Tentativa	Tempo	Nº Movimentos
1ª	1'58"	49
2ª	2'31"	48
3ª	2'28"	46

Descrição verbal do trajeto feita pela participante P4: 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 7 passos para frente.

A Figura 6.5 apresenta a participante P4 com a representação do trajeto percorrido montado em blocos coloridos.



Figura 6.5: Participante P4.

6.5.5 Participante P5

O participante P5 criou o mapa mental do trajeto em 3 tentativas, seu desempenho é apresentado na Tabela 6.6.

Tabela 6.6: Desempenho participante P5

Tentativa	Tempo	Nº Movimentos
1ª	1'19"	46
2ª	1'09"	43
3ª	57"	41

Descrição verbal do trajeto feita pelo participante P5: 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 4 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 7 passos para frente.

A Figura 6.6 apresenta o participante P5 com a representação do trajeto percorrido montado em blocos coloridos.

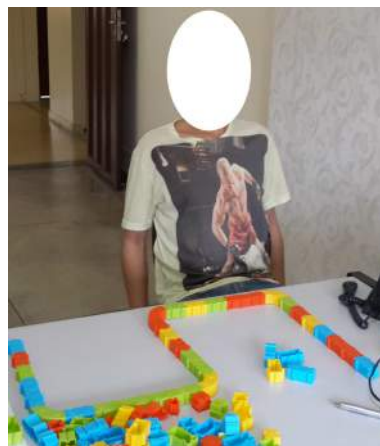


Figura 6.6: Participante P5.

6.5.6 Participante P6

O participante P6 criou o mapa mental do trajeto em 2 tentativas, seu desempenho é apresentado na Tabela 6.7.

Tabela 6.7: Desempenho participante P6

Tentativa	Tempo	Nº Movimentos
1 ^a	1'10"	47
2 ^a	1'04"	41

Descrição verbal do trajeto feita pelo participante P6: 4 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 4 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 4 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 4 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 5 passos para frente.

A Figura 6.7 apresenta o participante P6 com a representação do trajeto percorrido montado em blocos coloridos.



Figura 6.7: Participante P6.

6.5.7 Participante P7

O participante P7 criou o mapa mental do trajeto em 2 tentativas, seu desempenho é apresentado na Tabela 6.8.

Tabela 6.8: Desempenho participante P7

Tentativa	Tempo	Nº Movimentos
1 ^a	2'55"	72
2 ^a	1'59"	50

Descrição verbal do trajeto feita pelo participante P7: 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 6 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 4 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 7 passos para frente.

A Figura 6.8 apresenta o participante P7 com a representação do trajeto percorrido montado em blocos coloridos.



Figura 6.8: Participante P7.

6.5.8 Participante P8

O participante P8 criou o mapa mental do trajeto em 2 tentativas, seu desempenho é apresentado na Tabela 6.9.

Tabela 6.9: Desempenho participante P8

Tentativa	Tempo	Nº Movimentos
1 ^a	3'26"	44
2 ^a	2'53"	44

Descrição verbal do trajeto feita pelo participante P8: 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 6 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 4 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 5 passos para frente.

A Figura 6.9 apresenta o participante P8 com a representação do trajeto percorrido montado em blocos coloridos.



Figura 6.9: Participante P8.

6.5.9 Participante P9

O participante P9 criou o mapa mental do trajeto em 6 tentativas, seu desempenho é apresentado na Tabela 6.10.

Tabela 6.10: Desempenho participante P9

Tentativa	Tempo	Nº Movimentos
1 ^a	6'38"	127
2 ^a	7'08"	161
3 ^a	5'51"	112
4 ^a	3'26"	69
5 ^a	3'43"	48
6 ^a	2'11"	45

Descrição verbal do trajeto feita pelo participante P9: 6 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 7 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 7 passos para frente.

O participante P9 optou por não recriar o trajeto percorrido usando os blocos.

6.5.10 Participante P10

O participante P10 criou o mapa mental do trajeto em 2 tentativas, seu desempenho é apresentado na Tabela 6.11.

Tabela 6.11: Desempenho participante P10

Tentativa	Tempo	Nº Movimentos
1 ^a	2'51"	53
2 ^a	2'37"	46

Descrição verbal do trajeto feita pelo participante P10: 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 7 passos para frente.

A Figura 6.10 apresenta o participante P10 com a representação do trajeto percorrido montado em blocos coloridos.

6.5.11 Participante P11

A participante P11 criou o mapa mental do trajeto em 3 tentativas, seu desempenho é apresentado na Tabela 6.12.



Figura 6.10: Participante P10.

Tabela 6.12: Desempenho participante P11

Tentativa	Tempo	Nº Movimentos
1ª	4'06"	67
2ª	3'25"	58
3ª	3'18"	54

Descrição verbal do trajeto feita pela participante P11: 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 6 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 4 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 7 passos para frente.

A Figura 6.11 apresenta a participante P11 com a representação do trajeto percorrido montado em blocos coloridos.



Figura 6.11: Participante P11.

6.5.12 Participante P12

A participante P12 criou o mapa mental do trajeto em 3 tentativas, seu desempenho é apresentado na Tabela 6.13.

Descrição verbal do trajeto feita pela participante P12: 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 6 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 4 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 7 passos para frente.

Tabela 6.13: Desempenho participante P12

Tentativa	Tempo	Nº Movimentos
1ª	2'51"	70
2ª	2'36"	52
3ª	2'43"	47

A Figura 6.12 apresenta a participante P12 com a representação do trajeto percorrido montado em blocos coloridos.



Figura 6.12: Participante P12.

6.5.13 Participante P13

O participante P13 criou o mapa mental do trajeto em 4 tentativas, seu desempenho é apresentado na Tabela 6.14.

Tabela 6.14: Desempenho participante P13

Tentativa	Tempo	Nº Movimentos
1ª	4'42"	123
2ª	3'18"	61
3ª	3'27"	58
4ª	2'21"	52

Descrição verbal do trajeto feita pelo participante P13: 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 6 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 4 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 7 passos para frente.

A Figura 6.13 apresenta o participante P13 com a representação do trajeto percorrido montado em blocos coloridos.



Figura 6.13: Participante P13.

6.5.14 Participante P14

A participante P14 criou o mapa mental do trajeto em 5 tentativas, seu desempenho é apresentado na Tabela 6.15.

Tabela 6.15: Desempenho participante P14

Tentativa	Tempo	Nº Movimentos
1ª	5'24"	128
2ª	4'21"	68
3ª	4'54"	83
4ª	3'37"	60
5ª	2'53"	51

Descrição verbal do trajeto feita pela participante P14: 6 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 7 passos para frente.

A Figura 6.14 apresenta a participante P14 com a representação do trajeto percorrido montado em blocos coloridos.



Figura 6.14: Participante P14.

6.5.15 Participante P15

A participante P15 criou o mapa mental do trajeto em 3 tentativas, seu desempenho é apresentado na Tabela 6.16.

Tabela 6.16: Desempenho participante P15

Tentativa	Tempo	Nº Movimentos
1ª	3'27"	50
2ª	2'36"	49
3ª	1'32"	46

Descrição verbal do trajeto feita pela participante P15: 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 3 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 7 passos para frente.

A Figura 6.15 apresenta a participante P15 com a representação do trajeto percorrido montado em blocos coloridos.



Figura 6.15: Participante P15.

6.5.16 Participante P16

O participante P16 criou o mapa mental do trajeto em 2 tentativas, seu desempenho é apresentado na Tabela 6.17.

Tabela 6.17: Desempenho participante P16

Tentativa	Tempo	Nº Movimentos
1ª	1'59"	53
2ª	2'57"	58

Descrição verbal do trajeto feita pelo participante P16: 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 4 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 6 passos para frente.

A Figura 6.16 apresenta o participante P16 com a representação do trajeto percorrido montado em blocos coloridos.



Figura 6.16: Participante P16.

6.5.17 Participante P17

O participante P17 criou o mapa mental do trajeto em 3 tentativas, seu desempenho é apresentado na Tabela 6.18.

Tabela 6.18: Desempenho participante P17

Tentativa	Tempo	Nº Movimentos
1ª	2'06"	49
2ª	1'11"	44
3ª	1'08"	43

Descrição verbal do trajeto feita pelo participante P17: 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 6 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 4 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 7 passos para frente.

A Figura 6.17 apresenta o participante P17 com a representação do trajeto percorrido montado em blocos coloridos.



Figura 6.17: Participante P17.

6.5.18 Participante P18

A participante P18 criou o mapa mental do trajeto em 2 tentativas, seu desempenho é apresentado na Tabela 6.19.

Tabela 6.19: Desempenho participante P18

Tentativa	Tempo	Nº Movimentos
1ª	3'55"	53
2ª	2'40"	45

Descrição verbal do trajeto feita pela participante P18: 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 6 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 4 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 6 passos para frente.

A Figura 6.18 apresenta a participante P18 com a representação do trajeto percorrido montado em blocos coloridos.

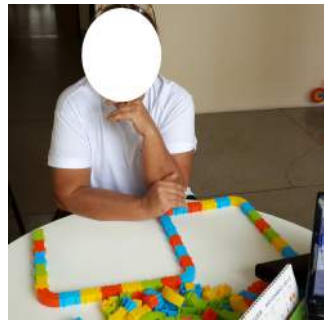


Figura 6.18: Participante P18.

6.5.19 Participante P19

A participante P19 criou o mapa mental do trajeto em 3 tentativas, seu desempenho é apresentado na Tabela 6.20.

Tabela 6.20: Desempenho participante P19

Tentativa	Tempo	Nº Movimentos
1ª	1'45"	50
2ª	1'08"	38
3ª	1'16"	44

Descrição verbal do trajeto feita pelo participante P19: 6 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 7 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 6 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 7 passos para frente.

A Figura 6.19 apresenta o participante P19 com a representação do trajeto percorrido montado em blocos coloridos.



Figura 6.19: Participante P19.

6.5.20 Participante P20

O participante P20 criou o mapa mental do trajeto em 4 tentativas, seu desempenho é apresentado na Tabela 6.21.

Tabela 6.21: Desempenho participante P20

Tentativa	Tempo	Nº Movimentos
1ª	4'28"	113
2ª	3'02"	51
3ª	3'16"	47
4ª	2'55"	44

Descrição verbal do trajeto feita pelo participante P20: 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 6 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a esquerda, 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 5 passos para frente, $\frac{1}{4}$ de volta para a direita, 7 passos para frente.

A Figura 6.20 apresenta o participante P20 com a representação do trajeto percorrido montado em blocos coloridos.



Figura 6.20: Participante P20.

A Tabela 6.22 apresenta um resumo dos experimentos dos participantes, expondo o total de tentativas, o tempo e a quantidade de movimentos da primeira e da última tentativa.

Tabela 6.22: Desempenho dos Participantes

ID	Nº de Tentativa	Tempo		Nº Movimentos	
		Primeira Tentativa	Última Tentativa	Primeira Tentativa	Última Tentativa
P1	9	3'09"	1'02"	67	41
P2	3	1'13"	1'30"	47	44
P3	5	2'19"	0'42"	69	50
P4	3	1'58"	2'28"	49	46
P5	3	1'19"	0'57"	46	41
P6	2	1'10"	1'04"	47	41
P7	2	2'55"	1'59"	72	50
P8	2	3'26"	2'53"	44	44
P9	6	6'38"	2'11"	127	45
P10	2	2'51"	2'37"	53	46
P11	3	4'06"	3'18"	67	54
P12	3	2'51"	2'43"	70	47
P13	4	4'42"	2'21"	123	52
P14	5	5'24"	2'53"	128	51
P15	3	3'27"	1'32"	50	46
P16	2	1'59"	2'57"	53	58
P17	3	2'06"	1'08"	49	43
P18	2	3'55"	2'40"	53	45
P19	3	1'45"	1'16"	50	44
P20	4	4'28"	2'55"	113	44

6.6 Avaliação do Desempenho dos Participantes

O desempenho deu-se pela verificação do Ganho Relativo de Aprendizagem (HAKE, 1998; PRATHER; RUDOLPH; BRISSENDEN, 2009) calculado pela Eq. 6.1.

$$G_i = \frac{N_{posterior_i} - N_{parcial_i}}{N_t - N_{parcial_i}}, \quad (6.1)$$

onde G_i é o ganho relativo do indivíduo i ; $N_{parcial_i}$ e $N_{posterior_i}$ são as quantidades de movimentos normalizados na primeira e última tentativa, respectivamente; e N_t é a meta de pontuação a ser cumprida.

Isto fornece as notas num intervalo crescente, de modo que os dados foram normalizados no intervalo $[0,1]$ (SOARES et al., 2012).

$$N_i = (b - a) \cdot \left(\frac{M_i - \min(M)}{\max(M) - \min(M)} \right) + a, \quad (6.2)$$

onde $\min(M)$ é a quantidade mínima de movimentos (41 para o labirinto proposto); $\max(M)$

é a quantidade máxima de movimentos; M_i a quantidade real e N_i a quantidade normalizada dos movimentos do i -experimento; e a e b são a normalização com os valores 1 e 0, respectivamente.

Uma vez que os dados foram normalizados, $N_t = 1$, e

$$\bar{G} = \frac{\sum_{i=1}^n G_i}{n}, \quad (6.3)$$

onde \bar{G} é a média G , e n é o número de indivíduos no grupo.

Nos estudos desenvolvidos por Hake (1998), Prather, Rudolph e Brissenden (2009) encontra-se uma média mínima para o Ganho Relativo de Aprendizagem de 30%. A Tabela 6.23 mostra o percentual médio do ganho agrupado por tipo de deficiência, nível de conhecimento em OM e também não agrupado, além do percentual de indivíduos por faixa de ganho: baixo (0-30), médio (30-70) e alta (70-100).

Tabela 6.23: Ganho Relativo de Aprendizagem

Tipo	Ganho Médio ($\bar{G}_{\%}$)	Percentual de Indivíduo por faixa		
		0 + 30 (Baixo)	30 + 70 (Médio)	70 + 100 (Alto)
	<i>Agrupado por Nível de Visão</i>			
Cego	68	10	40	50
Baixa Visão	61	10	40	50
<i>Agrupado por Habilidade em OM</i>				
Regular	89	0	29	71
Bom	58	0	67	33
Excelente	51	28	29	43
<i>Não Agrupado</i>				
Total	67	10	40	50

O ganho médio total foi de 67%, o que está dentro da faixa média de ganho, não só maior do que o ganho de 30% recomendado, mas também bem próximo do limite inferior da faixa de alto ganho (70 - 100 %). Resultados semelhantes podem ser observados nos grupos de cegos e baixa visão, com 68% e 61%, respectivamente. No agrupamento por nível de habilidade em OM, o ganho foi de 89% para Regular, 58% para Bom e 51% para Excelente. Percebe-se que o grupo com habilidade em OM Regular obteve um maior ganho do treinamento, encontrando-se dentro da faixa alta de ganho. Os grupos Bom e Excelente ficaram na faixa média de ganho. No geral, 40% dos participantes apresentaram ganho relativo médio e 50%, alto.

A Tabela 6.24 mostra os dados estatísticos (Média e Desvio Padrão (DP)) do tempo e quantidade de movimentos da primeira e última tentativa, agrupados por nível de visão, habilidade em OM e não agrupados.

Tabela 6.24: Desempenho Estatístico

Nível Visão	Tentativa	Duração		Movimentos		Total Tentativas	
		Média	DP	Média	DP	Média	DP
Agrupado por nível de visão							
Cego	Primeira	2'42"	1'37"	62.3	25.7	3.7	2.3
	Última	1'50"	0'54"	44.8	3.4		
Baixa Visão	Primeira	3'28"	1'16"	78.1	33.5	3.2	0.9
	Última	2'22"	0'47"	48.4	5.1		
Agrupado por habilidade em OM							
Regular	Primeira	4'26"	1'33"	104.8	29.1	5.5	1.9
	Última	2'10"	1'03"	47.2	4.4		
Bom	Primeira	2'30"	1'01"	54.6	9.6	3.0	0.0
	Última	1'59"	0'47"	48.4	5.1		
Excelente	Primeira	2'31"	1'03"	52.5	10.3	2.1	0.4
	Última	2'09"	0'51"	46.4	6.0		
Não Agrupado							
Total	Primeira	3'05"	1'27"	69.8	29.9	3.5	1.7
	Última	2'06"	0'51"	46.6	4.6		

O grupo de baixa visão teve um desvio padrão menor na primeira tentativa em relação ao grupo de cegos. Porém, ambos tiveram desempenho semelhante na última tentativa. O mesmo comportamento pode ser observado nos grupos separados por habilidade em OM. O grupo Regular apresentou resultados inferiores aos outros grupos na primeira tentativa, e novamente todos os grupos apresentaram resultados semelhantes na última tentativa. Independente do nível de visão ou habilidade em OM, na última tentativa todos os grupos tiveram desempenho próximo de sua média, com um desvio padrão significativamente reduzido. Além disso, como mostram as figuras 6.21 e 6.22 referentes aos participantes P1 e P9 respectivamente, o tempo e o número de movimentos mostrou uma relação forte, e estas variáveis evoluíram juntas.

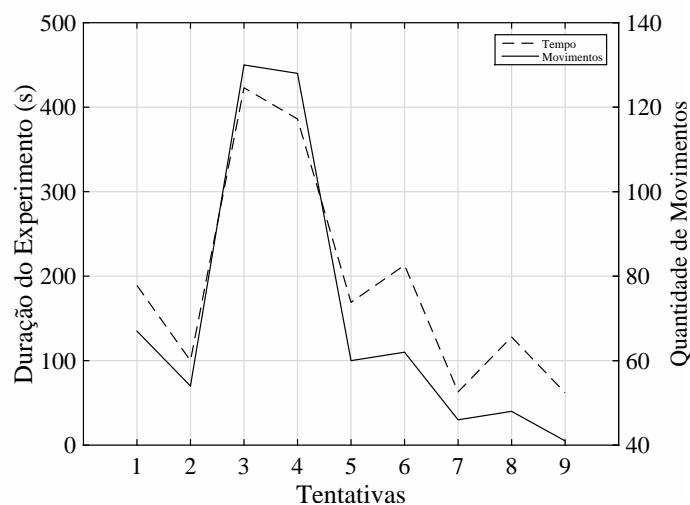


Figura 6.21: Relação tempo e número de movimentos do participante P1.

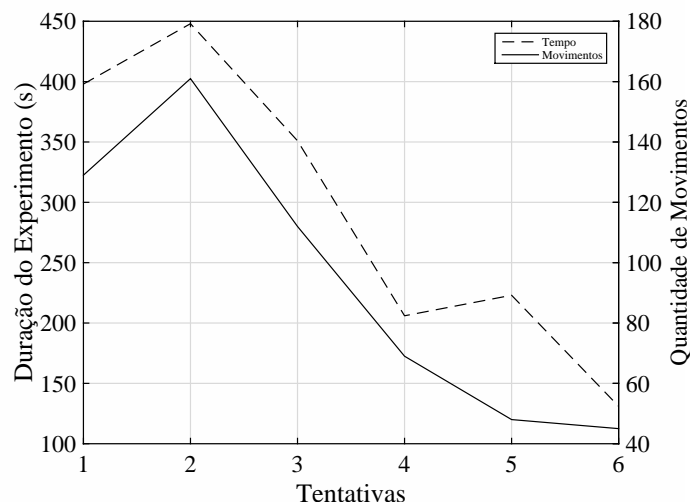


Figura 6.22: Relação tempo e número de movimentos do participante P1.

6.7 Verificação das Hipóteses

A fim de verificar a contribuição do sistema e a influência do perfil do participante sobre o aprendizado espacial, realizou-se o Teste de Hipóteses¹ nas três hipóteses já apresentadas na introdução deste trabalho:

1. O SACEC pode contribuir significativamente para a aprendizagem espacial de pessoas com deficiência visual;
2. O nível de visão (cego, baixa visão) tem influência significativa no aprendizado espacial usando SACEC;
3. A habilidade em OM (excelente, bom, regular) tem influência significativa no aprendizado espacial usando SACEC.

A normalidade das variáveis dependentes foram verificadas através do teste de Shapiro-Wilk (JOAQUIM; MARQUES, 2007) atendendo-se a um nível de significância de 5%. Considerando-se que nem todas as variáveis se ajustavam em uma distribuição normal, todas as hipóteses foram verificadas com testes não-paramétricos.

¹Teste de Hipóteses trata-se de uma técnica para se fazer a inferência estatística sobre uma população a partir de uma amostra. É uma regra de decisão para rejeitar ou não rejeitar uma hipótese estatística com base nos elementos amostrais.

6.7.1 Hipótese 1

Hipótese nula (H_0): O SACEC não contribui de forma significativa para a aprendizagem espacial de PDVs.

Hipótese alternativa (H_a): O SACEC contribui significativamente para a aprendizagem espacial de PDVs.

Para verificar essa hipótese, foi realizado um Teste de Sinal² com um Teste Binômial (SNEDECOR; COCHRAN., 1989). Esse teste foi usado para comparar todo o grupo em relação ao tempo e quantidade de movimentos na primeira e última tentativa, considerando-se um nível de significância de 5%. Tabela 6.25 apresenta os resultados dos Testes de Sinal para as variáveis tempo e movimentos.

Tabela 6.25: Teste de Sinal

Parâmetro	<i>p-valor</i>	Positivos	Negativos	Empates
Tempo	0.0026	17	3	0
Movimentos	≈ 0.0000	18	1	1

Pode-se observar que as variáveis tempo e movimentos mostraram p-valor de 0.0026 e $\approx 0.000^3$, respectivamente. Como a probabilidade foi inferior a 0,05 (nível de significância) pode-se concluir que existe diferença estatística entre o primeiro e último experimento em relação ao tempo e a quantidade de movimentos. Como o número de sinais positivos é maior que dos sinais negativos, isso significa que houve uma diminuição no tempo e na quantidade de movimentos para realização do último experimento.

Assim, pose-se rejeitar a hipótese nula (H_0). Portanto o SACEC contribui significativamente para a aprendizagem espacial de PDVs.

6.7.2 Hipótese 2

Hipótese nula (H_0): O nível de visão não influencia significativamente a aprendizagem espacial usando SACEC.

Hipótese alternativa (H_a): O nível de visão influencia significativamente a aprendizagem espacial usando SACEC.

²Teste não-paramétrico onde se define, em cada par, a diferença dos escores antes e depois do procedimento investigatório, baseando-se apenas no sentido das diferenças dos escores, registrados sob a forma de sinais: (+) e (-). Os pares com resultados iguais (considerados empatados), são eliminados dos cálculos.

³variável movimentos ≈ 0 , considerando 4 casas decimais.

Para comparar os grupos por nível de visão, foi realizado o *Teste U Wilcoxon-Mann-Whitney*⁴ considerando-se um nível de significância de 5%. Usou-se esse teste porque tem-se dois níveis de cegueira e os grupos são independentes. A Tabela 6.26 apresenta os resultados desse teste para as variáveis tempo e movimentos.

Tabela 6.26: Teste U Wilcoxon-Mann-Whitney

Parâmetro	Tentativa	z	p -valor
Tempo	Primeira	-1.5124	0.1304
	Última	-1.5880	0.1123
Movimentos	Primeira	-1.2511	0.2109
	Última	-1.5995	0.1097

Os p -valores na primeira e última tentativa foram 0,1304 e 0,1123 para tempo e 0,2109 e 0,1097 para os movimentos, respectivamente. Esses valores são superiores a 5%, e assim a hipótese nula não pode ser rejeitada. Portanto o nível de visão não influencia significativamente a aprendizagem espacial utilizando SACEC.

6.7.3 Hipótese 3

Hipótese nula (H_0): A Habilidade em OM não influencia significativamente a aprendizagem espacial utilizando SACEC.

Hipótese alternativa (H_a): A Habilidade em OM influencia significativamente a aprendizagem espacial usando SACEC.

Para comparar os grupos por habilidade em OM, realizou-se a *ANOVA Kruskal-Wallis*⁵, como mostra a Tabela 6.27, para tempo e movimentos na primeira e última tentativa, considerando um nível de significância de 5%.

Tabela 6.27: ANOVA Kruskal-Wallis

Parâmetro	Tentativa	χ^2	DoF*	p -valor
Tempo	Primeira	6.54	2	0.0379
	Última	0.06	2	0.9727
Movimentos	Primeira	9.67	2	0.0008
	Última	0.30	2	0.8622

* DoF - Graus de Liberdade

⁴O Teste *U de Wilcoxon-Mann-Whitney*, conhecido também como *teste de Mann-Whitney* ou ainda *Wilcoxon rank-sum test*, é uma prova não-paramétrica destinada a comparar duas amostras independentes do mesmo tamanho ou desiguais, cujos escores tenham sido mensurados pelo menos a nível ordinal.

⁵Teste não-paramétrico, conhecido como Teste H, destina-se a comparar três ou mais amostras independentes do mesmo tamanho ou desiguais, cujos escores devem ser mensurados, pelo menos, a nível ordinal.

Os p -valores para primeira tentativa das variáveis tempo e movimentos foram 0,0379 e 0,0008 respectivamente. Uma vez que estes são inferiores a 5%, a hipótese nula pode ser rejeitada para a primeira tentativa. No entanto, para última tentativa, os p -valores foram 0,9727 para a tempo e 0,8622 para movimentos. Estes são maiores do que 5%, e assim a hipótese nula não pode ser rejeitada para a última tentativa. Para verificar as razões das diferenças entre os grupos na primeira tentativa, realizou-se o teste de *Student-Newman-Keuls*, considerando-se um nível de significância de 5%, como mostra a Tabela 6.28.

Tabela 6.28: Teste Student-Newman-Keuls

(a) Tempo		
Grupos comparados	M	p -valor
Regular-Bom	7.4524	0.0235
Regular-Excelente	7.3095	0.0263
Bom-Excelente	-0.1429	0.9640
(b) Movimentos		
Grupos Comparados	M	p -valor
Regular-Bom	8.6071	0.0087
Regular-Excelente	9.2500	0.0048
Bom-Excelente	0.6429	0.8384

Entre os grupos com habilidade em OM Regular e Bom, Regular e Excelente, p -valores eram menores do que o nível de significância (5%) e, por isso, há diferenças estatísticas entre o grupo regular e os outros grupos. No entanto, para a comparação dos grupos Bom e Excelente, o p -valor para todas as variáveis foram maiores do que 5 % e, por isso, não há diferença estatística entre os dois grupos.

Os grupos Excelente e Bom tiveram desempenho semelhante em todos os experimentos. Já, o grupo regular teve desempenho significativamente inferior aos demais grupos na primeira tentativa e exigiu muito mais ensaios para serem treinados. Contudo, é possível observar que na última tentativa todos os grupos tiveram desempenho semelhante, e desta forma também é possível perceber que após o treinamento, independente da habilidade em OM, todos os grupos puderam aprender com o SACEC.

6.7.4 Avaliação do sistema pelos participantes

Após realização dos testes, o questionário final foi aplicado aos participantes para avaliação do sistema. Neste questionário, cada participante respondeu: Como se sentiria se tivesse que se locomover no ambiente real após usar o sistema; Se suas expectativas em relação ao sistema foram preenchidas; Sugestões de melhorias para o sistema; Se usaria novamente o sistema; Avaliação do sistema em muito bom, bom, regular, ruim, muito ruim.

Doze participantes responderam que se sentiriam mais seguros para navegar em um ambiente similar ao explorado, cinco mais tranquilos, um aliviado, um mais confortável e um do mesmo jeito como mostra a Figura 6.23. P16 e P18 afirmaram ainda que após o treinamento no ambiente virtual poderiam navegar no ambiente real sem a preocupação em bater em obstáculos.

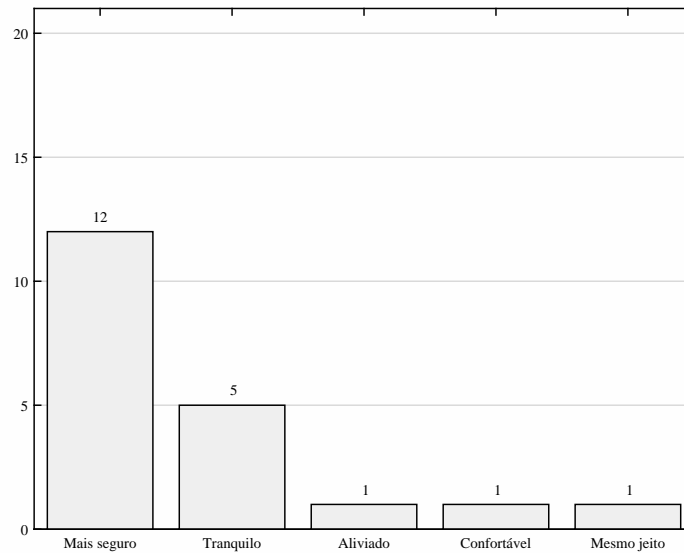


Figura 6.23: Sentimento após utilização do sistema

Onze participantes declararam gostar do sistema e não ter nenhuma sugestão para melhorias. Os outros sugeriram alteração dos sons, uso de sintetizador de voz e inclusão de referências táteis conforme ilustrado na Figura 6.24

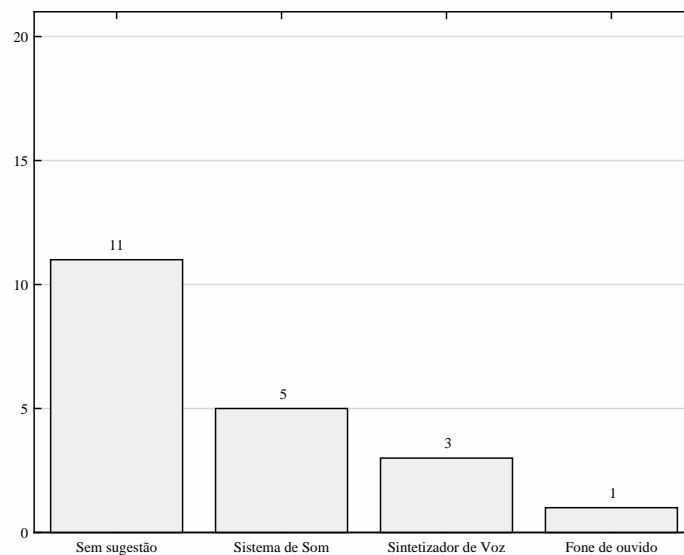


Figura 6.24: Sugeriram melhorias para o sistema

Dezenove responderam que o sistema atendeu as suas expectativas. O participante P5 disse que o sistema é melhor do que esperava. P1, P6 e P18 reforçaram que é fácil de usar e P3 afirmou que vai ajudar principalmente iniciantes em OM. Apenas P8 respondeu que não teve

suas expectativas preenchidas e afirmou que achou difícil usar um sistema apenas com respostas sonoras como mostra a Figura 6.25. Todos afirmaram que o usariam novamente (Figura 6.25) e, além disso, P18 ressaltou que ajuda na memorização do trajeto. P3 disse que recomenda o seu uso e P5 considerou que o usaria novamente porque aprendeu se divertindo

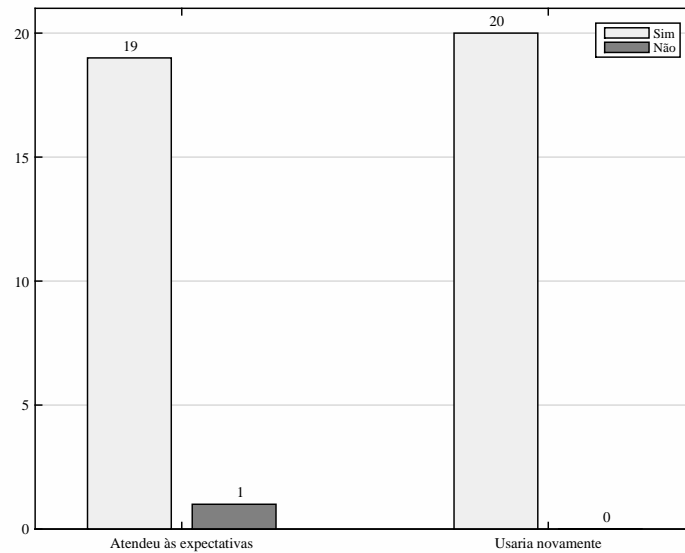


Figura 6.25: Usaria novamente o sistema

Por fim, como apresentado na 6.26, nove participantes classificaram o sistema como ótimo, dez acharam bom e apenas um o considerou regular

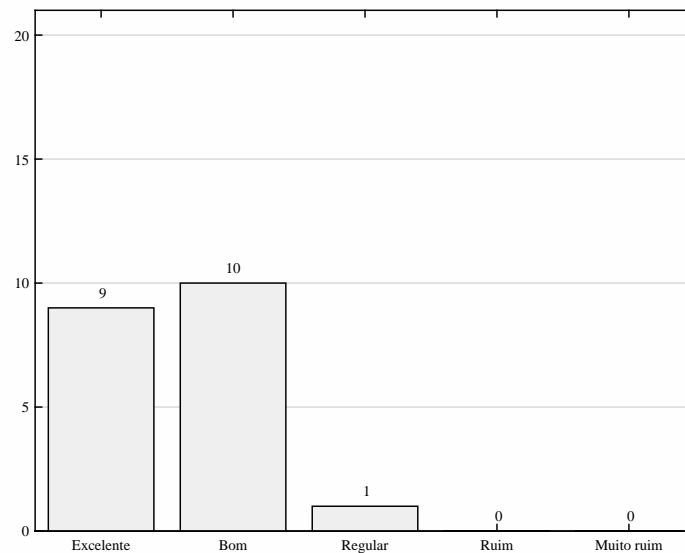


Figura 6.26: Usaria novamente o sistema

6.7.5 Considerações finais

Finalmente algumas afirmações são destacadas. "É uma iniciativa com visão". "Vou torcer muito para esse sistema ser usado". "O sistema é melhor do que bengala branca ". Para evitar falsas expectativas em relação a essa última frase, relatamos a este participante que a proposta do sistema nunca foi substituir qualquer ferramenta tradicional, mas complementá-las. No entanto, esse *feedback* foi destacado para mostrar o nível de entusiasmo demonstrado por alguns voluntários e uma motivação para continuação deste trabalho.

CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

“Só se vê bem com o coração, o essencial
é invisível para os olhos..”

Antoine de Saint-Exupéry

Neste trabalho, foi desenvolvida uma interface de locomoção para auxiliar pessoas com deficiência visual a se locomoverem de maneira mais autônoma e independente em ambientes desconhecidos. Os resultados demonstraram que todos os sujeitos conseguiram criar o mapa cognitivo do caminho percorrido, verbalizá-lo e reproduzi-lo com blocos de montar, ou seja, pessoas com deficiência visual são capazes de se apropriar do modelo cognitivo do ambiente, a partir de uma ferramenta baseada em Realidade Virtual.

Em termos de usabilidade, demonstrou-se que os participantes aprenderam com o sistema, concluindo-se que é apropriado para fins educacionais de treinamento em OM de usuários iniciantes e avançados, sem nenhuma exigência do aprendizado de uma abordagem não-padrão. Os participantes necessitaram de poucas orientações, ou seja, eles não tiveram nenhuma dificuldade para lidar com o ambiente virtual. Demonstrou-se que o processo de aprendizagem pode ser mais fácil e rápido quando aliado a uma experiência segura e agradável para os usuários.

A relação entre conjuntos de poses e informações sonoras para a representação de colisões entre o corpo do usuário e elementos do ambiente virtual foi bem aceita pelos participantes e os movimentos naturais proporcionaram uma sensação próxima de uma navegação real, o que facilitou a aprendizagem.

O tipo de deficiência visual (cego ou baixa visão), a fase da vida em que ficou deficiente

(nascença, infância, adolescente, adulto), o gênero ou a idade não influenciaram no desempenho dos testes e nem foram determinantes para o aprendizado. Sujeitos com características distintas tiveram desempenho semelhantes em relação ao número de tentativas, tempo de cada tentativa e quantidade de movimentos.

Em geral, quantidade de movimentos necessários para execução do trajeto diminuiu com a repetição dos testes, o que facilitou a memorização do ambiente navegado. O tempo também sofreu variações, porém o importante era o usuário memorizar o trajeto no seu próprio ritmo.

A maior competência para realizar os testes estão diretamente relacionados a uma maior aceitação da deficiência. Porém, mesmo os sujeitos não confortáveis com a condição de deficiente e com baixa habilidade em OM, conseguiram reproduzir o trajeto proposto, afirmaram se sentir mais seguros para navegar no ambiente real após o treinamento, avaliaram o sistema positivamente e afirmaram que o usaria novamente.

Desta forma, o SACEC pode ser indicado no auxílio do trabalho de Orientação e Mobilidade, e consequentemente contribuir com maior inclusão social dessas pessoas.

7.1 Trabalhos Futuros

Nos trabalhos futuros, pretende-se modelar labirintos ou réplicas virtuais de ambientes reais mais sofisticados. Nestes ambientes, serão incluídos obstáculos altos e baixos, portas, janelas e escadas.

Pretende-se permitir que o usuário se desloque no ambiente real. Para isto, serão pesquisados a utilização de múltiplos Kinects em um ambiente maior. Desta forma, o usuário poderá realizar caminhada ou virar o corpo livremente, ao invés de simular.

Deseja-se acrescentar respostas hápticas ao sistema para representar as referências táteis que são úteis no processo de OM.

Intenciona-se evoluir esse sistema e transformá-lo em jogos educacionais para deficientes visuais.

Planeja-se incluir um conversor de plantas baixa para o sistema.

Por fim, almeja-se desenvolver novos movimentos para auxiliar no trabalho de fisioterapia voltados para deficientes visuais.

7.2 Publicações Originadas Deste Trabalho

Conferências Nacionais

- BERRETTA, L.O., SOARES, F. A. A. M. N., FERREIRA, D. J., NASCIMENTO, H.A.D., CARDOSO, A., LAMOUNIER, E. “Virtual environment manipulated by recognition of poses using Kinect: A study to help blind locomotion in unfamiliar surroundings”. *XV Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR’2013)*, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil, maio 2013.
- BERRETTA, L.O., SOARES, F. A. A. M. N., FERREIRA, D. J., NASCIMENTO, H.A.D., CARDOSO, A., LAMOUNIER, E. “Aid System for Locomotion to the Person Blind using Poses Recognition”. *IX Workshop de Visão Computacional (WVC’2013)*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, Junho 2013.

Periódicos

- FERREIRA, D. J., BERRETTA, L.O., “Facilitation of Creativity in Programming”. *IEEE LATIN AMERICA TRANSACTIONS*, Dezembro 2014.

Referências Bibliográficas

BASTO, L. de S. C.; GAIO, R. C. Técnicas de orientação e mobilidade para pessoas cegas: reflexões na perspectiva da educação física. *Movimento & Percepção*, v. 11, n. 16, p. 120–147, 2010.

BATISTA, C. G. Formação de conceitos em crianças cegas: questões teóricas e implicações educacionais. *Psicologia: Teoria e Pesquisa*, v. 21, n. 1, p. 07–15, 2005.

BERG, P.; BECKER, T.; MARTIAN, A.; PRIMROSE, K. D.; WINGEN, J. Motor control outcomes following nintendo wii use by a child with down syndrome. *Pediatric Physical Therapy*, p. 78–84, 2012.

BERSCH, R. *Introdução a Tecnologia Assistiva*. Porto Alegre - RS, 2008.

BILLINGHURST, M.; KATO, H.; POUPYREV, I. The magicbook: a transitional ar interface. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 2001.

BINSELY, V. H. M. Orientar-se no espaço: condição indispensável para a acessibilidade. In: *Seminário Nacional Acessibilidade no Cotidiano*. Rio de Janeiro - RJ: [s.n.], 2004.

BOHIL, C. J.; ALICEA, B.; BIOCCA, F. A. Nature reviews neuroscience. *Virtual reality in neuroscience research and therapy*, p. 752–762, 2011.

BOURBAKIS, N. G.; KAVRAKI, D. Tyflos - an intelligent assistant for navigation of visually impaired people. In: *IEEE Symposium on Bioinformatics and Bioengineering*. [S.l.: s.n.], 2001.

BOURBAKIS, N. G.; KAVRAKI, D. Tyflos - a 2d vibration array for sensing dynamic changes and 3d space for blinds navigation. In: *Proceedings of the 5th IEEE Symposium on Bioinformatics and Bioengineering (BIBE 05)*. [S.l.: s.n.], 2005.

BOWMAN, D. A.; JR, J. J. L.; KRUIFF, E.; POUPYREV, I. An introduction to 3-d user interface design. presence: Teleoperators and virtual environments. In: _____. [S.l.: s.n.], 2001. v. 10, p. 96–108.

BRAILLECREATOR. 2013. Acessado em 09 de março de 2013. Disponível em: <www.micropower.com.br/dv/braille/index.asp>.

BRBRAILE. 2013. Acessado em 09 de março de 2013. Disponível em: <<http://www.fee.unicamp.br/deb/brbraille%20-%20>>.

BRIGGS, R. Urban cognitive distance. in image and environments. *Aldine Publishing Company*, p. 57–166, 1973.

BROOKS, A. L.; PETERSSON, E. Play therapy utilizing the sony eyetoy. In: *Eighth International Workshop on Presence*. [S.l.: s.n.], 2005.

BROZZOLI, C.; PAVANI, F.; URQUIZAR, C.; CARDINALI, L.; FARNE, A. Grasping actions remap peripersonal space. *Cognitive neuroscience and neuropsychology*, p. 913–917, 2009.

CABREIRA, A.; MULLING, T. Perspectivas para novas interfaces: Kinect e interações gestuais sob o panorama de interfaces naturais do usuário. In: *Interaction South America - ISA 2012*. [S.l.: s.n.], 2012.

CARD, S.; MACKINLAY, J.; SHNEIDERMAN, B. *Readings in Information Visualization Using Vision to Think*. [S.l.]: Morgan Kaufmann, 1999.

CARDOSO, A.; KIRNER, C.; LAMOUNIER, R.; KELMER, J. *Tecnologias para o desenvolvimento de sistemas de realidade virtual e aumentada*. Recife-PE: Ed. Universitária UFPE, 2007.

CARVALHO, L. E. S. de; ROCHA, C. *Percepção e interfaces computacionais - Poéticas interativas: Estudo das Interfaces computacionais*. [S.l.]: FUNAP-UFG, 2013.

CASTRO, T. G. de. *Percepção e Autoconsciência: Modelos Experimentais na Naturalização da Fenomenologia*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre,, 2013.

CAT. *Ata da Reunião VII, de dezembro de 2007*. [S.l.], 2007.

CHANGA, Y.-J.; CHENB, S.-F.; HUANGC, J.-D. A kinect-based system for physical rehabilitation: A pilot study for young adults with motor disabilities. *Research in Developmental Disabilities*, p. 2566–2570, 2011.

- CHAPLIN, J. P. *Dictionary of Psychology*. New York, NY, USA: [s.n.], 1985.
- CHEN, C. Information visualization and virtual environments. *Springer*, p. 223–224, 1999.
- CHEN, Y. Map spatial cognition theory - the interface of cartography and cognitive science. In: *21th International Cartographic Conference (ICC2001)*. Pequim, China: [s.n.], 2001.
- COELHO, R.; COELHO, D.; CARDOSO, A. Use of virtual reality in process control in a mine in brazil - a case study. In: *XIII Symposium on Virtual and augmented reality - SVR-2014*. [S.l.: s.n.], 2011.
- CONDE, A. J. M. *Definindo a Cegueira e a Visão Subnormal*. (2012, Jul 14) 2013. Acessado em 12 de janeiro de 2013. Disponível em: <http://www.ibc.gov.br/?itemid=94>.
- CORMEDI, M. A. *Alicerces de significados e sentidos: aquisição de linguagem na surdocegueira congênita*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, São Paulo,, 2011.
- CPQD. 2013. Acessado em 08 de março de 2013. Disponível em: <http://www.cpqd.com.br>.
- CRUZ, L.; SILVA, D. L. S. da; VELHO, L. Kinect and RGBD Images: Challenges and Applications. In: *XXV SIBGRAPI - Conference on Graphics, Patterns and Images*. [S.l.: s.n.], 2012.
- DAHLSTROM, K.; GAJHEDE, N.; JACOBSEN, S. K.; JAKOBSEN, N. S.; LANG, S.; RASMUSSEN, M. L.; SIKSTROM, E.; SERAFIN, S. Auditory feedback to improve navigation in a maze game. In: *Audio Engineering Society Conference: 49th International Conference: Audio for Games*. [S.l.: s.n.], 2013.
- DARKEN, R. P.; PETERSON, B. *Spatial Orientation, Wayfinding, and Representation*. [S.l.]: Stanney, K. Ed., 2001.
- DISCHINGER, M. *Designing for all senses: accessible spaces for visually impaired citizens*. Tese (Doutorado) — Department of Space and Process School of Architecture, Chalmers University of Technology, 2000.
- DIX, A.; FINLAY, J.; ABOWD, G.; BEALE, R. *Human-computer interaction*. [S.l.]: Prentice hall, 2004.
- DOLPHIN. 2013. Acessado em 08 de março de 2013. Disponível em: <http://www.dolphinuk.co.uk/>.
- DOSVOX. 2013. Acessado em 08 de março de 2013. Disponível em: <http://intervox.nce.ufrj.br/dosvox/>.

DOWNS, R. M.; STEA, D. Cognitive maps and spatial behavior. *Process and Product. In Image and Environments*, p. 8–26, 1973.

ESTADAO - Muito além do game: um ano de Kinect. 2014. Acessado em 21 de março de 2014. Disponível em: <<http://blogs.estadao.com.br/link/muito-alem-do-game-um-ano-de-kinect/>>.

FELIPPE, J. A. de M.; FELIPPE, V. L. R. *Orientacao e Mobilidade*. Sao Paulo, 1997.

FLYNN, S.; PALMA, P.; BENDER, A. Feasibility of using the sony playstation 2 gaming platform for an individual poststroke: a case report. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, v. 31, p. 180–189, 2007.

FLYNN, S.; PALMA, P.; BENDER, A. Use of a low-cost, commercially available gaming console (wii) for rehabilitation of an adolescent with cerebral palsy. *Physical Therapy*, p. 1196–1207, 2008.

FRANCA, M. H. *Manipulação de objetos virtuais e navegação utilizando dispositivos sem fio*. Rio de Janeiro - RJ, 2012.

FRATI, V.; PRATTICIZZO, D. Using Kinect for hand tracking and rendering in wearable haptics. In: *IEEE World Haptics Conference*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 317–321.

GIUDICE, N. A. Wayfinding without vision: Learning real and virtual environments using dynamically-updated verbal descriptions. In: *Conference on Assistive Technologies for Vision and Hearing Impairment*. [S.l.: s.n.], 2006.

GOLLEDGE, R. G.; KLATZKY, R. L.; LOOMIS, J. M.; SPEIGLE, J.; TITITZ, J. A geographical information system for a gps based personal guidance system. *Journal of Geographical Information Science*, v. 2, n. 7, p. 727–749, 1998.

GORDON, C.; ROOPCHAND-MARTIN, S.; GREGG, A. Pontential of nintendo wii as a rehabilitation tool for children with cerebral palsy in a developing country: a pilot study. *Physiotherapy*, p. 238–242, 2012.

GUEDES, G. *Interface Humano Computador: prática pedagógica para ambientes virtuais*. [S.l.]: EDUFPI - Teresina, 2008.

HAKE, R. R. Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American journal of Physics*, 1998.

HENG, P. A. Intelligent inferencing and haptic simulation for chinese acupuncture learning and training. *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on Volume 10*, p. 28–41, 2006.

HERPICH, F.; JARDIM, R.; NUNES, F. B.; VOSS, G.; MEDINA, R.; FONTOURA, L. Laboratório virtual: uma ferramenta imersiva para auxílio no ensino de engenharia de software. In: *XVI Symposium on Virtual and augmented reality - SVR-2014*. [S.l.: s.n.], 2014.

HINE, J.; NOORALAHIVAN, A. Improving mobility and independence for elderly, blind and visually impaired people. In: *Technology Initiatives for Disabled and Elderly Persons Conference*. .: [s.n.], 1998. p. 283–287.

IBGE. *Censo Demográfico 2010 - Características gerais da população, religião e pessoas com deficiência*. Rio de Janeiro - RJ, jun. 2012.

ILDA, I. *Ergonomia: projeto e produção*. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

JAWS. 2013. Acessado em 08 de março de 2013. Disponível em: [http://www-freedomscientific.com](http://www.freedomscientific.com).

JOAQUIM, P.; MARQUES, S. Applied statistics using spss, statistica, matlab and r. *Springer Company USA*, 2007.

JUAN, M. C.; ALCANIZ, M.; MONSERRAT, C.; BOTELLA, C.; BANOS, R.; GUERRERO, B. Using augmented reality to threat phobias. *IEEE Computer Graphics and Application*, p. 31–37, 2005.

KERKHOVE, T. *Human Interface Guidelines*. [S.l.]: General, 2012.

KIRNER, C.; DERIGGI, F.; KUBO, M. M.; SEMEMTILLE, A. C.; BREGA, J. F.; SANTOS, S. Virtual environments for shared interactive visualization. In: *Workshop of the german-brazilian cooperative program in informatics*. [S.l.: s.n.], 1995.

KRUENZER, A. Z.; CALAZANS, M. J. C.; GARCIA, W. *Planejamento e Educação no Brasil*. 6. ed. São Paulo-SP: Cortex Editora, 2003.

LAUREAL, B. *The Art of Human-Computer Interface Design*. [S.l.]: Addison-Wesley, 1990.

LEMO, A. *Cibercultura. Tecnologia e vida social na cultura contemporânea*. [S.l.]: Sulina - Porto Alegre, 2002.

- LESSARD, N.; PARÉ, M.; LEPORE, F.; LASSONDE, M. Early-blind human subjects localize sound sources better than sighted subjectslessard, n.; paré, m.; lepore, f.; lassonde, m. *Nature*, p. 278–280, 1998.
- LIDAL, M. E.; LANGELAND, T.; GIERTSEN, C.; GRIMSGRAARD, J.; HELLAND, R. A decade of increased oil recovery in virtual reality. In: *IEEE Computer Graphics and Applications*. [S.l.: s.n.], 2007.
- LIU, W. Natural user interface- next mainstream product user interface. In: *IEEE 11th International Conference on Computer-Aided Industrial Design Conceptual Design (CAIDCD)*. [S.l.: s.n.], 2010. v. 1, p. 203 –205.
- LLOYD, R. E.; BUNCCH, L. R. Individual differences in map reading spatial abilities using perceptual and memory. *Cartography and Geographic Information Science*, 2005.
- LOOMIS, J. M.; GOLLEDGE, R. G.; KLATZKY, R. L.; SPEIGLE, J. M.; TIETZ, J. Personal guidance system for the visually impaired. *Communications of the ACM*, v. 2, p. 85–91, 1994.
- LORA, T. D. P. *Descobrendo o real papel das outras percepções, além da visão, para a orientação e mobilidade*. Brasília, 2003.
- MACEDONIA, M. Virtual worlds: A new reality for treating post-traumatic stress disorder. *IEEE Computer Graphics and Application*, p. 86–88, 2008.
- MACHADO, E. V. *Orientação e Mobilidade: Conhecimentos básicos para a inclusão do deficiente visual*. Brasília: [s.n.], 2003.
- MACHADO, L. S. Virtual reality simulation of pediatric bone marrow harvest for transplant. *Medical and Pediatric Oncology*, p. 282–290, 2002.
- MANDUCHI, R. Mobile Vision as Assistive Technology for the Blind: An Experimental Study. In: *Computers Helping People with Special Needs*. [S.l.]: Springer Berlin Heidelberg, 2012, (Lecture Notes in Computer Science, v. 7383). p. 9–16.
- MANN, S. Wearable computing as means for personal empowerment. In: *International Conference on Wearable Computing*. [S.l.: s.n.], 1998.
- MARTINS, M. B.; BUENO, S. T. *Deficiência visual: aspectos psicoevolutivos e educativos*. [S.l.]: Livraria Santos, 2003.

- MASSAMBANI, O.; MILLÁN, R. D. S.; SCHOR, H. H. R.; GUIMARÃES, P. P. G. Catálogo fortéc de tecnologias assistivas. In: *3 Encontro Internacional de Tecnologia e Inovação para pessoas com deficiência*. São Paulo - SP: [s.n.], 2011. p. 1–10.
- MATTEI, T. A.; MATTEI, J. A. A cognição espacial e seus distúrbios: o papel do córtex parietal posterior. *Revista Neurociências*, v. 13, n. 2, p. 93–99, 2005.
- MCCARTY, W. D. A virtual cockpit for a distributed interactive simulation. *IEEE Computer Graphics and Application*, p. 49–54, 1994.
- MEIGUINSAND, B. S. Web-based collaborative 3d information visualization tool. In: *Proceedings of Eighth International Conference on Information Visualization*. [S.l.: s.n.], 2004.
- MICROSOFT. *Human Interface Guidelines: Kinect for Windows v1.5.0*. [S.l.], 2012. Disponível em: <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/develop/learn.aspx>.
- MINE, M. Virtual environment interaction techniques. *UNC Chapel Hill CS Dept.: Technical Report*, 1995.
- MOLTON, N.; SE, S.; BRADY, M.; PROBERT, P. Robotic sensing for the partially sighted. *Robotics and Autonomous Systems*, Elsevier, 1998.
- MONDSCHIEIN, A.; BLUMENBERG, E.; TAYLOR, B. D. Cognitive mapping, travel behavior, and access to opportunity. In: . [S.l.: s.n.], 2005. (85th Annual Meeting of the Transportation Research Board).
- MONTEIRO, L. M. F. de. *Apostila do Curso de Orientação e Mobilidade*. Rio de Janeiro - RJ, 2004.
- MORAN, T. The command language grammars: a representation % for the user interface of interactive computer systems. *International Journal of Man-Machine Studies*, v. 15, p. 3–50, 1981.
- NEWMAN, B. M.; NEWMAN, P. R. *Theories of human development*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 2007.
- NORMAN, D.; NIELSEN, J. Gestural interfaces: a step backward in usability. *ACM CHI Interactions*, n. 17, 2010.
- NOWILL, D. *Fundacao Dorina*. 2013. Acessado em 15 de janeiro de 2013. Disponível em: <http://www.fundacaodorina.org.br/>.

NSK - Motion & Control. *NSK Develops a Guide-Dog Style Robot*. (2012, Aug 14) Oct 2011. Acessado em 12 de dezembro de 2013. Disponível em: <<http://www.nsk.com/company-presslounge/news/2011/press111027b.html>>.

NVDA. 2013. Acessado em 08 de março de 2013. Disponível em: <www.nvda-project.org>.

OHUCHI, M.; IWAYA, Y.; SUZUKI, Y.; MUNEKATA, T. Cognitive-map formation of blind persons in a virtual sound environment. In: *2th International Conference on Auditory Display*. [S.l.: s.n.], 2006. p. 20–23.

OLIVEIRA, A. C. G. de; TORI, R.; JÚNIOR, J. L. B.; NUNES, F.; TORRES, R. Simulation of deformation in models of human organs using physical parameters. In: *XVI Symposium on Virtual and augmented reality - SVR-2014*. [S.l.: s.n.], 2014.

OLIVEIRA, R.; OLIVEIRA, J. Rastreamento utilizando o dispositivo kinect para treinamento em plataforma de petróleo. In: *XVI Symposium on Virtual and augmented reality - SVR-2014*. [S.l.: s.n.], 2014.

OLSON, D. R.; BIALYSTOK, E. *Spatial Cognition: the structure and development of mental representations of spatial relations*. [S.l.]: Lawrence Erlbaum Associates, 1983.

ONU. *DECLARAÇÃO DOS DIREITOS DAS PESSOAS DEFICIENTES*. 1975. Acessado em 08 de fevereiro de 2013. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos%20pdf/dec_def.pdf>.

ORCA. 2013. Acessado em 08 de março de 2013. Disponível em: <<http://live.gnome.org/Orca>>.

PACKER, R.; JORDAN, K. *Multimedia From Wagner To Virtual Reality*. [S.l.]: Norton e Company, 2001.

PANAS, T.; BERRIGAN, R.; GRUNDY, J. A. A 3d metaphor for software production visualization. In: *Proceedings of Seventh International Conference on Information Visualization (IV'03) - IEEE*. [S.l.: s.n.], 2003.

PATEL, K. K.; VIJ, S. Spatial learning using locomotion interface to virtual environment. *IEEE Transaction on Learning Technologies*, v. 5, n. 2, p. 170–176, abr. 2012.

PIGFORD, T.; ANDREWS, A. W. Feasibility and benefit of using the nintendo wii fit for balance rehabilitation in an elderly patient experiencing recurrent falls. *Journal of Student Physical Therapy Research*, v. 2, n. 1, p. 12–19, 2010.

- PIMENTEL, K.; BLAU, B. Teaching your system to share. *IEEE Computer Graphics and Application*, p. 60–65, 1994.
- PRATHER, E. E.; RUDOLPH, A. L.; BRISSENDEN, G. *Teaching and learning astronomy in the 21st century.*, 2009.
- RAHMAN, S. A. R. A. Efficacy of virtual reality-based therapy on balance in children with down syndrome. *World Applied Sciences Journal*, v. 10, n. 1, p. 254–261, 2010.
- RAMOS, F. M.; NUNES, F. L. S. Construção de atlas de anatomia e fisiopatologia do câncer de mama utilizando realidade virtual. In: *XVIII Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image*. [S.l.: s.n.], 2005.
- RAND, D.; KIZONY, R.; WEISS, L. P. Virtual reality rehabilitation for all: Vivid gx versus sony playstation 2 eyetoy. In: *International Conference: Disability, Virtual Reality, and Associated Technologies*. [S.l.: s.n.], 2004.
- RAPOSO, A. Distributed augmented chess system. *TECGRAF – Computer Graphics Technology*, p. 52–62, 2003.
- REHEN, A. N.; SANTOS, C. A.; ANDRADE, M. V. R. Interfaces para aplicações de interação natural baseadas na api openni e na plataforma kinect. In: *Tópicos Especiais em Banco de Dados, Multimídia e Web. Webmedia*. [S.l.: s.n.], 2011.
- RIBEIRO, M.; NUNES, F. Breast palpation simulation with haptic feedback: prototype and initial results. In: *XVI Symposium on Virtual and augmented reality - SVR-2014*. [S.l.: s.n.], 2014.
- RIBEIRO, M. W. de S. *Arquitetura para Distribuição de Ambientes Virtuais Multidisciplinares*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Uberlândia, 2006.
- RIEHLE, T.; LICHTER, P.; GIUDICE, N. An indoor navigation system to support the visually impaired. In: *IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. [S.l.: s.n.], 2008. p. 4435–4438.
- RODELLO, I. A. *Visualização e Análise de Moléculas de Proteínas*. Tese (Doutorado) — Instituto de Física de São Carlos - USP, São Carlos, 2003.
- ROUSSOU, M. A vr playground for learning abstract mathematics concepts. *Computer Graphics and Applications, IEEE*, p. 448–454, 2009.

SAC. *Sociedade de Assistencia aos cegos*. 2013. Acessado em 27 de fevereiro de 2013. Disponível em: <<http://www.sac.org.br/>>.

SÁNCHEZ, J.; SÁENZ, M.; PASCUAL-LEONE, A.; MERABET, L. Navigation for the Blind through Audio-Based Virtual Environments. In: *28 th ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*. [S.l.: s.n.], 2010.

SANDLUND, M. Interactive games in motor rehabilitation for children with sensorimotor disorders. *Virtual Rehabilitation*, 2007.

SANTOS, E. J. B. dos; GARDENGHI, G. A utilização do nintendo wii na reabilitação de pacientes pediátricos: uma revisão bibliográfica. *Revista Eletrônica Saúde e Ciência*, v. 3, n. 1, 2013.

SASSAKI, R. *Inclusão: construindo uma sociedade para todos*. Rio de Janeiro - RJ: WVA Editora, 1997.

SEMWAL, S. K. *MoVE: Mobiltiy Training in Haptic Virtual Environment*. 2001. Acessado em 15 de janeiro de 2013.

SHIH, C. H.; SHIH, C. T.; CHIANG, M. S. A new standing posture detector to enable people with multiple disabilities to control environmental stimulation by changing their standing posture through a commercial wii balance board. *Research in Developmental Disabilities*, p. 281–286, 2010.

SHNEIDERMAN, B. *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction*. [S.l.]: Addison-Wesley, 1998.

SHOVAL, S.; BORENSTEIN, J.; KOREN., Y. Mobile Robot Obstacle Avoidance in a Computerized Travel Aid for the Blind. *IEEE. Reprinted, with permission, from Proceedings of the 1994 IEEE Robotics and Automation Conference*, 1994.

SHOVAL, S.; BORENSTEIN, J.; KOREN, Y. Auditory Guidance with the Navbelt—A Computerized Travel Aid for the Blind. *IEEE Transactions on Systems, Man, And Cybernetics - Part C: Applications And Reviews*, 1998.

SILVA, E.; RODRIGUES, M. A. Um sistema de controle gestual de apoio a procedimentos cirúrgicos. In: *XVI Symposium on Virtual and augmented reality - SVR-2014*. [S.l.: s.n.], 2014.

SILVA, L. F. *Ambientes Distribuídos em Realidade Virtual como Suporte à Aprendizagem Cooperativa para Resolução de Problemas*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.

- SILVERMAN, I.; CHOI, J. Locating places. *The handbook of evolutionary psychology*, The handbook of evolutionary psychology, New York, p. 177–199, 2005.
- SMITH, C. M. Human factors in haptic interfaces. *ACM*, 2001.
- SNEDECOR, G.; COCHRAN., W. Statistical methods. *Iowa State University Press*, 1989.
- SOARES, F. A. A.; FLORES, E. L.; CABACINHA, C. D.; CARRIJO, G. A.; VEIGA, A. C. P. *Recursive diameter prediction for calculating merchantable volume of eucalyptus clones without previous knowledge of total tree height using artificial neural networks.*, 2012.
- SOLER, L.; NICOLAU, S.; FASQUEL, J. B.; AGNUS, V.; CHARNOZ, A.; HOSTETTLER, A.; MOREAU, J.; FOREST, C.; MUTTER, D.; MARESCAUX, J. Virtual reality and augmented reality applied to laparoscopic and notes procedures. In: *5th IEEE International Symposium*. [S.l.: s.n.], 2008.
- SONNENBLICK, Y. An indoor navigation system for blind individuals. In: *California State University, Northridge Conference*. Los Angeles: [s.n.], 1998.
- SPENCE, R. *Information Visualization: Design for Interaction*. [S.l.]: Acm Press, 2007.
- STROTHOTTE, T.; FRITZ, S.; MICHEL, R.; RAAB, A.; PETRIE, H.; JOHNSON, V.; REICHERT, L.; SCHALT, A. Development of dialogue systems for the mobility aid for blind people: Initial design and usability testing. In: *ASSETS '96*. Vancouver: [s.n.], 1996. p. 139–140.
- SU, C.-J. Personal rehabilitation exercise assistant with kinect and dynamic time warping. *International Journal of Information and Education Technology*, p. 448–454, 2013.
- TANG, C. Y.; CHIN, W.; CHUI, Y. P.; POON, W. S.; HENG, P. A. A virtual reality-based surgical simulation system for virtual neuroendoscopy. In: *IEEE International Conference on Integration Technology*. [S.l.: s.n.], 2007.
- TORI, R.; KIRNER, C.; SISCOUTO, R. *Fundamentos e Tecnologias de Realidade Virtual e Aumentada*. Belém-PA: [s.n.], 2006.
- TORI, R.; NUNES, F. L. S.; GOMES, V. H. P.; TOKUNAGA, D. M. Vida: Atlas anatômico 3d interativo para treinamento a distância. In: *5th IEEE International Symposium*. [S.l.: s.n.], 2009.
- TRINDADE, D.; DAM, P.; RAPOSO, A.; SANTOS, I. Simtjs: Uma arquitetura para o desenvolvimento de jogos sérios para treinamento. In: *XVI Symposium on Virtual and augmented reality - SVR-2014*. [S.l.: s.n.], 2014.

VALLI, A. *Notes on Natural Interaction*. [S.l.: s.n.], 2007.

VIRTUALVISION. 2013. Acessado em 08 de março de 2013. Disponível em: <[www-virtualvision.com.br](http://www.virtualvision.com.br)>.

WEISHALN, R. *Orientation and mobility in the blind children*. New York, 1990.

WHITNEY, G. The use of remotely triggered talking sign systems by blind and partially sighted people. In: *Technology Initiatives for Disabled and Elderly Persons Conference*. [S.l.: s.n.], 1998.

WHO Media Centre. *Visual impairment and blindness*. (2012, Aug 10) Jun, 2012. Acessado em 07 de janeiro de 2013. Disponível em: <<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/en/index.html>>.

WIGDOR, D.; WIXON, D. *Brave NUI world: designing natural user interfaces for touch and gesture*. [S.l.]: Morgan Kaufmann, 2011.

YONCK, R. The age of the interface. *The Futurist*, p. 14–19, 2010.

ZANELLI, J. C.; ANDRADE, J. E. B.; BASTOS, A. V. B. *Psicologia, organizacoes e trabalho no Brasil*. Porto Alegre: Artmed, 2007.

ZÖLLNER, M.; HUBER, S. NAVI - A Proof-of-Concept of a Mobile Navigational Aid for Visually Impaired Based on the Microsoft Kinect. In: *Interact*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 584–587.

ANEXO A – Questionário Inicial e Final

A.1 Questionário Inicial

- 1) Nome:
- 2) Idade:
- 3) Escolaridade:
- 4) Qual a causa da cegueira? Desde quando?
- 5) Qual a maior dificuldade que você enfrenta devido a cegueira?
- 6) Há quanto tempo faz esse trabalho de Orientação e Mobilidade (OM)?
- 7) Acredita que ferramentas tecnológicas podem auxiliar na inclusão social?
- 8) Já usou alguma ferramenta tecnológica voltada para cegos? Qual? Alguma que trabalha a Orientação e Mobilidade?
- 9) Como você se sente quando tem que se locomover em um ambiente desconhecido?
- 10) Pelo que foi explicado sobre o trabalho, você tem alguma expectativa em relação ao sistema?

A.2 Questionário Final

- 11) Após usar o sistema, como você se sentiria se tivesse que se locomover no ambiente real após treinar no ambiente virtual.
- 12) O sistema preencheu suas expectativas, foi o que você esperava?
- 13) Tem alguma sugestão para melhorar o sistema?
- 14) Você usaria novamente o sistema?

15) Como classifica esse trabalho: ótimo, bom, regular, ruim, péssimo? Porque?

ANEXO B – Sequência de Movimentos dos Participantes

As poses reconhecidas pelo sistema são a simulação de caminhada, no qual cada movimento representa um Passo a Fente (PF) no sistema; o movimento de Giro 90° para a Direita (GD) e para a Esquerda (GE); o Tateamento Frontal (TF); e o Tateamento Lateral (à Direita (TD) ou à Esquerda (TE)). A seguir, apresenta-se a sequência de movimentos de cada tentativa de todos os participantes.

B.1 Participante P1

A participante P1 criou o mapa mental do trajeto em 9 tentativas:

•1ª Tentativa | Tempo = 3'09" | Movimentos = 67

TF - PF - TF - PF - PF - PF - PF - PF - TF - TD - TF - TE - GE - TF - PF - TF
PF - PF - TF - PF - PF - PF - PF - TF - TF - TE - TE - TD - GE - TF - PF - TF
PF - PF - PF - TF - PF - PF - TF - TE - TD - TE - TD - GD - TF - TF - PF - PF
TF - PF - PF - PF - TF - TE - TD - TE - GD - PF - PF - PF - TF - PF - PF - PF
TF - PF - PF

•2ª Tentativa | Tempo = 1'40" | Movimentos = 54

PF - PF - PF - PF - PF - TF - PF - TF - TD - TD - TE - GE - TF - PF - PF - PF
PF - PF - PF - PF - TF - TF - TE - GE - TF - PF - PF - PF - PF - PF - PF - TF
TE - TD - GD - TF - PF - PF - PF - PF - PF - TF - TE - TD - GD - TF - PF - PF
PF - PF - PF - PF - PF - PF

•3ª Tentativa | Tempo = 7'03" | Movimentos = 130

PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – TE – GE – TF – PF – PF – PF – TF – PF
 PF – PF – PF – TF – TD – TE – GE – TF – PF – PF – PF – PF – PF – GE – PF – TF
 TD – TE – GE – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – GD – PF – PF
 PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – TE – GD – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF
 TD – TE – TF – TE – TD – GE – PF – TF – TD – GE – TF – TF – PF – PF – PF – PF
 PF – TF – PF – TF – TD – TE – GE – TF – PF – PF – PF – PF – TF – PF – PF – PF
 TF – TE – GE – TF – PF – PF – PF – TF – PF – PF – PF – TF – TE – TD – GD – TF
 PF – PF – PF – PF – PF – TF – TE – TD – GD – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF
 PF – PF

•4ª Tentativa | Tempo = 6'26" | Movimentos = 128

PF – PF – PF – TF – PF – PF – PF – TF – TF – TE – GE – TF – PF – TF – PF – PF
 TF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – TE – GE – TF – PF – PF – PF – PF – PF – TF
 GE – PF – TF – TD – TE – GE – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TE
 GD – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – TE – GD – PF – PF – PF – PF
 PF – PF – TF – TD – TE – TF – TE – TD – GD – PF – TF – TD – GD – TF – PF – PF
 PF – PF – PF – PF – TF – TD – TE – GE – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF
 TF – TE – GE – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TE – TD – TD – GD – PF
 PF – PF – PF – PF – TF – TE – TD – GD – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF

•5ª Tentativa | Tempo = 2'49" | Movimentos = 60

PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – GE – TF – PF – PF – PF – TF – PF – PF
 PF – PF – TF – TF – TE – TD – TE – GE – TF – PF – TF – PF – PF – PF – PF – PF
 TF – TF – TE – TD – TD – GD – TF – PF – PF – TF – PF – PF – PF – TF – TE – TD
 TD – GD – PF – PF – PF – TF – PF – PF – PF – PF – TF – PF

•6ª Tentativa | Tempo = 3'33" | Movimentos = 62

TF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – TE – GE – TF – PF – TF – PF – PF
 TF – PF – PF – PF – PF – TF – TF – TE – TD – GE – TF – PF – TF – PF – PF – PF
 TF – PF – PF – TF – TE – TD – TD – GD – TF – TF – PF – PF – TF – PF – PF – PF
 TF – TE – TD – TE – GD – PF – PF – PF – TF – PF – PF – PF – PF – PF

•7ª Tentativa | Tempo = 1'03" | Movimentos = 46

PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF - TE - GE - TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF
 PF – TF - TE - GE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF - TE – TD - GD – PF – PF
 PF – PF – PF – TF - TD - GD – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF - PF

•8ª Tentativa | Tempo = 2'08" | Movimentos = 48

PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF - TD – TE - GE - TF – PF – PF – PF – PF – PF
 PF – PF – TF - TE - GE – TF - PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF - TE – TD - GD
 TF - PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD - TE - GD – PF – PF – PF – PF – PF – PF
 PF - PF

•9ª Tentativa | Tempo = 1'02" | Movimentos = 41

PF – PF – PF – PF – PF – PF – TE - GE - TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF
 TE - GE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TE - GD – PF – PF – PF – PF – PF – TD
 GD – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF - PF

B.2 Participante P2

O participante P2 criou o mapa mental do trajeto em 3 tentativas:

•1ª Tentativa | Tempo = 1'13" | Movimentos = 47

PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF - TF – TD – TE – GE – PF – PF – PF – PF – PF
 PF – PF – TF – TE – GE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TE - TD – GD – PF
 PF – PF – PF – PF – TF - TE – TD – GD – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF

•2ª Tentativa | Tempo = 56" | Movimentos = 44

PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TE – GE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF
 TF – TE – GE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TE – TD - GD – PF – PF – PF
 PF – PF – TF – TD – GD – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF

•3ª Tentativa | Tempo = 1'30" | Movimentos = 44

PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TE – GE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF
 TF – TE – GE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TE – TD – GD – PF – PF – PF
 PF – PF – TF – TD – GD – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF

B.3 Participante P3

O participante P3 criou o mapa mental do trajeto em 5 tentativas:

•1ª Tentativa | Tempo = 2'19" | Movimentos = 69

TF – PF – PF – PF – TF – PF – TF – PF – TF – PF – TD – TE – GE – TF – TE – TD
 PF – PF – PF – TE – TE – TF – PF – PF – TF – PF – TF – TD – GE – TF – TF – TE
 TE – PF – TF – TE – PF – PF – TF – PF – PF – TD – PF – PF – TF – TF – TE – TD
 GD – TF – TF – TE – TF – TD – PF – PF – TF – TE – TD – PF – PF – PF – TF – PF
 TF – PF – PF – PF – PF

•2ª Tentativa | Tempo = 6'22" | Movimentos = 199

TF – TD – TE – PF – PF – TF – PF – PF – TF – PF – TF – PF – PF – TF – TE – TF
 PF – TF – PF – TF – PF – PF – TF – TE – TF – TE – GE – PF – PF – TF – TD – PF
 PF – PF – TF – TE – TF – GE – PF – PF – TF – PF – PF – TF – PF – PF – TF – PF
 PF – TD – TE – PF – GE – TF – PF – PF – TF – TE – TD – TF – PF – PF – TF – GD
 PF – PF – TF – PF – PF – PF – TF – PF – PF – TF – TF – TD – PF – PF – TF – PF
 PF – TF – PF – PF – TF – TF – PF – PF – TE – TD – GD – GD – TF – TE – TD – PF
 PF – PF – PF – TF – TF – PF – PF – TF – TE – GE – PF – PF – PF – PF – TF – TF
 TE – TE – TD – TF – PF – PF – PF – PF – TF – PF – PF – TF – TD – TE – GE – PF
 PF – PF – TF – PF – PF – TF – PF – PF – TF – TE – GE – PF – PF – PF – PF – PF
 PF – TF – TE – TD – GD – PF – PF – PF – PF – TF – TD – PF – PF – PF – PF – TF
 PF – PF – TE – PF – PF – TE – TE – GD – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TF – TE
 GE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TE – GE – PF – PF – PF – TF – TE – GD – GD
 PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF

•3ª Tentativa | Tempo = 2'41" | Movimentos = 81

TF – PF – PF – PF – TF – PF – TF – TE – TD – GD – TF – TE – TE – TD – GD – PF
 PF – PF – PF – TF – PF – TF – TE – TD – GD – GD – TF – PF – PF – PF – TE – PF
 PF – TF – TE – TF – GE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TE – TD – GE – PF
 PF – PF – PF – PF – PF – TF – TE – GD – PF – PF – PF – PF – TF – TD – TE – PF
 PF – PF – GD – PF – TF – TF – TE – TD – TF – RF – TD – PF – PF – PF – TF – PF – PF

•4ª Tentativa | Tempo = 1'56" | Movimentos = 61

TF – TD – TE – PF – PF – PF – TF – PF – TF – PF – TF – PF – TE – TD – GE – PF
 PF – PF – PF – TF – PF – TF – PF – TF – TE – TD – GE – PF – PF – PF – TF – PF
 PF – PF – PF – TF – TE – GD – PF – PF – PF – PF – PF – TF – PF – TF – GD – TF
 TE – TD – PF – PF – PF – PF – PF – TF – PF – TF – TE – PF – PF

•5ª Tentativa | Tempo = 42" | Movimentos = 50

TD – TE – TF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TE – GE – PF – PF – PF – PF – PF
 TF – PF – TF – TE – TD – GE – TE – TD – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TE – GD
 PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – GD – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TF – TE
 PF – PF

B.4 Participante P4

A participante P4 criou o mapa mental do trajeto em 3 tentativas:

•1ª Tentativa | Tempo = 1'58" | Movimentos = 49

TF – TE – TD – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – TE – TE – GE – PF
 PF – PF – PF – PF – PF – TD – TE – GE – TF – PF – PF – PF – PF – PF – TD
 GD – TF – PF – PF – PF – PF – TE – TD – GD – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF

•2ª Tentativa | Tempo = 2'31" | Movimentos = 48

PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – TE – GE – TF – TF – PF – PF – PF – PF – PF
 PF – PF – TD – TE – GE – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TD – GD – TF – TF
 PF – PF – PF – PF – PF – TE – TF – TD – GD – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF

•3ª Tentativa | Tempo = 2'28" | Movimentos = 46

PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TE – GE – TF – PF – PF – PF – TF – PF – PF PF –
 PF – TF – TE – GE – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TE – TD – GD – TF PF – PF
 – PF – PF – PF – TD – GD – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF

B.5 Participante P5

O participante P5 criou o mapa mental do trajeto em 3 tentativas:

•1ª Tentativa | Tempo = 1'19" | Movimentos = 46

PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TF – TD – TE – GE – PF – PF – PF – PF – PF
 PF – PF – TF – TD – TE – GE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – GD – PF
 PF – PF – PF – TF – TD – GD – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF

•2ª Tentativa | Tempo = 1'09" | Movimentos = 43

PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – GE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF
 TD – GE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TE – GD – PF – PF – PF – PF – PF
 TF – TE – TD – GD – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF

•3ª Tentativa | Tempo = 57" | Movimentos = 41

PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – GE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF
 TE – GE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TD – GD – PF – PF – PF – PF – PF – TF
 TD – GD – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF

B.6 Participante P6

O participante P6 criou o mapa mental do trajeto em 2 tentativas:

- 1ª Tentativa | Tempo = 1'10" | Movimentos = 47

TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TD – TE – GE – TF – TF – PF – PF
 PF – PF – PF – PF – TD – TE – GE – PF – PF – PF – PF – PF – TD – GD – TF
 TF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – GD – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF
 PF – PF

- 2ª Tentativa | Tempo = 1'04" | Movimentos = 41

PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TE – GE – TF – PF – PF – PF – PF – PF
 PF – TD – TE – GE – PF – PF – PF – PF – PF – TD – GD – TF – PF – PF – PF
 PF – TD – GD – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF

B.7 Participante P7

O participante P7 criou o mapa mental do trajeto em 2 tentativas:

- 1ª Tentativa | Tempo = 2'55" | Movimentos = 72

TF – TE – TD – PF – PF – PF – TF – PF – TF – TD – TE – TE – PF – PF – TF – TD
 GE – TF – TE – TD – PF – PF – PF – PF – TF – TF – TF – PF – PF – PF – TF – PF
 TF – TD – TE – GE – TF – TD – TE – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TF – PF – TD
 TE – GD – TF – TF – TD – TE – PF – PF – PF – PF – PF – TD – TE – TE – GD – PF PF
 – PF – PF – PF – TD – TE – PF – PF

- 2ª Tentativa | Tempo = 1'59" | Movimentos = 50

PF – PF – PF – PF – PF – TD – TE – GE – TF – PF – PF – PF – PF – PF – TD – TE
 PF – TD – TE – GE – TF – TD – TE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TE – TD – GD
 PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – TE – GD – TF – PF – PF – PF – PF – PF PF – PF

B.8 Participante P8

O participante P8 criou o mapa mental do trajeto em 2 tentativas:

- 1ª Tentativa | Tempo = 3'26" | Movimentos = 44

TD – TE – TF - PF – PF – PF – PF – PF – PF – TD – TE – GE – PF – PF – PF – PF
 PF – PF – PF – TD – TE – GE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TD – GD – PF – PF
 PF – PF – PF – TD – GD – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF

- 2ª Tentativa | Tempo = 2'53" | Movimentos = 44

PF – PF – PF – PF – PF – PF – TE – GE – TF - PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF
 TE – GE – TF - PF – PF – PF – PF – PF – PF – TE – TD - GD – TF - PF – PF – PF
 PF – PF – TD – GD – TF - PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF

B.9 Participante P9

O participante P9 criou o mapa mental do trajeto em 6 tentativas:

- 1ª Tentativa | Tempo = 6'38" | Movimentos = 127

TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – TE – GE – TF – PF – PF
 PF – TF – PF – PF – PF – PF – TF - TD – GE – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF
 GE – PF – TF – TD – TE – GE – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF
 TD – GD – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – GD – PF – PF
 PF – PF – PF – PF - TF – TD – TE - TF -TE – TD - GE – PF – TF – TD – GE – TF
 PF – PF – PF – TF – PF – PF – PF – TF - TD – GE - TF – PF – PF – PF – TF – PF
 PF – PF – TF – TF – TD – GE – TF – PF - PF – PF - PF – PF – PF - TF – GD – TF
 PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – GD - TF - PF - PF – PF – PF – PF – PF - PF

- 2ª Tentativa | Tempo = 7'08" | Movimentos = 161

TF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – PF – PF – PF – TF – TE – TF – TD – GE – PF
 PF – TF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – GE – PF – PF – TF – PF – PF – PF

PF – TF – TD – TD – GD – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TF – GE – TF – TF – TD
 GE – PF – TF – TD – GE – PF – PF – TF – PF – PF – TF – PF – PF – TF – TD – GD
 PF – PF – PF – TF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – GE – PF – PF – TF – PF – PF
 PF – PF – TF – TD – GD – PF – PF – PF – TF – PF – PF – PF – PF – TF – GD – GE
 PF – TF – TD – GD – PF – PF – TF – PF – PF – TF – TD – TE – GE – PF – TF – GE
 PF – PF – PF – TF – PF – PF – PF – TF – TD – GE – PF – PF – PF – TF – PF – PF
 PF – TF – TF – TD – GE – PF – PF – TF – PF – PF – PF – PF – TF – GD – PF – PF
 PF – TF – PF – PF – PF – TF – GD – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF

•3ª Tentativa | Tempo = 5'51" | Movimentos = 112

TF – TD – TE – PF – PF – TF – PF – PF – TF – PF – PF – TF – TF – TD – TE – TF
 PF – PF – PF – TF – PF – PF – PF – TF – TF – TD – TE – GE – GE – TF – PF – PF
 PF – TF – PF – PF – PF – TF – TE – TD – GD – TF – TD – GD – PF – PF – PF – PF
 TF – PF – PF – TF – TD – TE – GE – TF – PF – PF – PF – TF – PF – PF – TF – PF
 PF – TF – TE – GE – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – TE
 GE – TF – PF – PF – TF – PF – PF – PF – PF – PF – TE – TD – GD – TF – PF – PF
 PF – TF – PF – PF – TF – TD – GD – TF – PF – PF – PF – TF – PF – PF – PF – TF – PF

•4ª Tentativa | Tempo = 3'26" | Movimentos = 69

TF – TD – TE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TF – TD – TE – TE – GE – TF
 PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TF – TE – GE – TF – PF – PF – PF
 GE – PF – PF – TF – TD – GD – TF – PF – PF – PF – PF – TF – TE – TD – GD – TF
 PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TF – TE – TD – GD – TF – PF – PF – PF
 PF – PF – PF – TF – PF

•5ª Tentativa | Tempo = 3'43" | Movimentos = 48

TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – GE – TF – PF – PF – PF – PF – PF
 PF – PF – TF – TD – GE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – TE – GD – PF
 PF – PF – PF – PF – TF – TD – GD – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF

•6ª Tentativa | Tempo = 2'11" | Movimentos = 45

TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TE – GE – PF – PF – PF – PF – PF – PF
 PF – TF – TD – TE – GE – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – TE – GD – PF – PF
 PF – PF – PF – TF – TD – GD – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF

B.10 Participante P10

O participante P10 criou o mapa mental do trajeto em 2 tentativas:

- 1ª Tentativa | Tempo = 2'51" | Movimentos = 53

PF – PF – PF – PF – PF – TE – TD – TF – GE – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF
 TD – TF – TD – TF – TE – GE – TD – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TE – TD
 TF – TF – TD – TF – GD – TF – PF – PF – PF – PF – PF – TD – TD – GD – PF – PF
 PF – PF – PF – PF – PF

- 2ª Tentativa | Tempo = 2'37" | Movimentos = 46

PF – PF – PF – PF – PF – PF – TE – TF – TD – GE – PF – PF – PF – PF – PF – PF
 TD – TF – TE – GE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TD – TF – TE – GD – PF – PF
 PF – PF – PF – TE – TF – TD – GD – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF

B.11 Participante P11

A participante P11 criou o mapa mental do trajeto em 3 tentativas:

- 1ª Tentativa | Tempo = 4'06" | Movimentos = 67

TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TE – TD – TE – GE – TF – TF – PF
 PF – PF – TF – PF – PF – PF – TF – TD – TE – TD – TE – GE – TF – TD – TE – TF
 PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TE – TD – TD – TF – TD – GD – TF – TF – PF
 PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – TE – TD – GD – TF – PF – PF – PF – PF – PF
 TF – PF – PF

- 2ª Tentativa | Tempo = 3'25" | Movimentos = 58

PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – TD – TE – GE – TF – PF – PF – PF
 TF – PF – PF – PF – TF – TD – TE – TE – GE – TF – TF – PF – PF – PF – PF – PF

PF – TF – TE – TD – TD – GD – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – TE
 TD – GD – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF

•3ª Tentativa | Tempo = 3'18" | Movimentos = 54

PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TE – TD – GE – TF – PF – PF – PF – PF – PF
 PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – TE – GE – TF – PF – PF – PF – TF
 PF – PF – PF – TF – TD – TE – GE – TF – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF
 TE – TD – GD – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TE – TD – GD – TF – PF
 PF – PF – PF – PF – PF – PF

B.12 Participante P12

A participante P12 criou o mapa mental do trajeto em 3 tentativas:

•1ª Tentativa | Tempo = 2'51" | Movimentos = 70

TF – PF – PF – PF – PF – TF – TE – TD – GD – TF – TE – TD – GD – PF – PF – PF
 PF – PF – TF – TE – TD – GD – TF – GD – TF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TE
 TD – GE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TE – TD – GE – PF – PF – PF – PF
 PF – PF – TF – TE – TD – GD – PF – PF – PF – PF – TF – TD – TE – GD – PF – PF
 PF – PF – TF – PF – PF – PF

•2ª Tentativa | Tempo = 2'36" | Movimentos = 52

TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TE – TD – GE – TF – PF – PF – PF – PF – TF
 PF – PF – TE – TD – GE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TE – TD – TD – GD
 TF – PF – PF – PF – PF – TF – PF – PF – TF – TE – TD – GD – PF – PF – PF – PF
 TF – PF – PF – PF

•3ª Tentativa | Tempo = 2'43" | Movimentos = 47

PF – PF – PF – PF – PF – PF – TE – TD – GE – TF – PF – PF – PF – PF – TF – PF
 PF – TE – GE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TE – TD – GD – TF – PF – PF
 PF – PF – PF – PF – TF – TE – TD – GD – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF

B.13 Participante P13

O participante P13 criou o mapa mental do trajeto em 4 tentativas:

•1ª Tentativa | Tempo = 4'42" | Movimentos = 123

PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – TE – GE – TF – PF – PF – PF
 PF – PF – PF – PF – TF – TD – GE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – GE – PF – TF
 TE – GE – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – GD – PF – PF
 PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TE – TD – GD – PF – PF – PF – PF – PF
 PF – TF – TD – TE – TD – GE – PF – TF – TD – GE – TF – PF – PF – PF – PF – PF
 PF – TF – TD – GE – TF – PF – PF – PF – TF – PF – PF – PF – TF – TF – TD – GE
 TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – GD – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF
 TF – GD – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF

•2ª Tentativa | Tempo = 3'18" | Movimentos = 61

TF – PF – PF – PF – PF – TF – PF – PF – TF – TD – GE – TF – PF – PF – PF – TF
 PF – PF – PF – PF – TF – TE – TD – TE – GE – TF – PF – TF – PF – PF – PF – PF
 PF – TF – TF – TE – TD – TD – GD – TF – PF – PF – TF – PF – PF – PF – TF – TE
 TD – TD – GD – PF – PF – PF – TF – PF – PF – PF – PF – TF – PF

•3ª Tentativa | Tempo = 3'27" | Movimentos = 58

PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – GE – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF
 PF – TF – TE – TD – TE – GE – TF – PF – TF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TF
 TE – TD – TD – GD – TF – PF – PF – TF – PF – PF – PF – TF – TE – TD – TD – GD

PF – PF – PF - TF – PF – PF – PF – PF – TF – PF

•4ª Tentativa | Tempo = 2'21" | Movimentos = 52

PF - PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – TE - GE - PF – PF – PF – PF – PF - PF
 PF – TF – TE - GE – TF - PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF - TE - TD – TD - GD
 TF - PF – PF – TF – PF – PF – PF – TF – TE – TD - TD - GD – PF – PF – PF – PF
 PF – PF – PF – PF

B.14 Participante P14

A participante P14 criou o mapa mental do trajeto em 5 tentativas:

•1ª Tentativa | Tempo = 5'24" | Movimentos = 128

TF – TE – TD – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – TE – GE – TF
 PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – TE – GE – TF – PF – PF – PF – PF
 PF – PF – GD – PF – TF – TD – TE – GD – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF
 PF – TF – TD – GE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – GE
 PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – TE – TF – TE – TD – GD – PF – TF – TD
 GD – TF – PF – PF – PF – TF – PF – PF – PF – TD – GE – PF – PF – PF – TF – PF
 PF – PF – TF – TD – GE – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – GD – TF – PF
 PF – PF – PF – PF – PF – TF – GD – TF - PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF

•2ª Tentativa | Tempo = 4'21" | Movimentos = 68

TF – TD – TE – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – TE – TE – GE – TF
 TD – TE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TF – TE – TD – TE – GE
 TF – TE – TD – PF – PF – PF – TF – PF – PF – TF – TE – TD – GD – TF – TF – PF
 PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TF – TE – TD – GD – TF – PF – PF – PF – PF
 PF – PF – TF – PF

•3ª Tentativa | Tempo = 4'54'' | Movimentos = 83

TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – GD – TF – TE – TD – GD – PF – PF – PF – PF
 PF – PF – TF – TD – TE – TF – TD – TE – GE – TF – TE – TE – GE – TF – PF – PF
 PF – PF – PF – PF – TF – TD – TE – TE – GE – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF
 TF – TE – TD – TE – GE – TF – PF – PF – PF – TF – PF – PF – PF – TF – TE – TD
 TD – GD – TF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – GD – TF – PF – PF – PF – PF
 PF – PF – PF

•4ª Tentativa | Tempo = 3'37'' | Movimentos = 60

TF - PF - PF - PF - PF - PF - PF - TF - TD - TE - GE - TF - PF - PF - PF - PF
 PF - PF - PF - TF - TE - TD - TE - GE - TF - PF - TF - PF - PF - PF - PF - PF
 TF - TF - TE - TD - TD - GD - TF - PF - PF - TF - PF - PF - PF - TF - TE - TD
 TD - GD - PF - PF - PF - TF - PF - PF - PF - PF - TF - PF

•5ª Tentativa | Tempo = 2'53'' | Movimentos = 51

TF - PF - PF - PF - PF - PF - TF - TD - TE - GE - TF - PF - PF - PF - PF - PF
 PF - PF - TF - TD - TE - GE - TF - PF - PF - PF - PF - PF - PF - TF - TE - TD
 GD - TF - PF - PF - PF - PF - TF - TD - TD - GD - TF - PF - PF - PF - PF
 - PF - PF - PF

B.15 Participante P15

A participante P15 criou o mapa mental do trajeto em 3 tentativas:

•1ª Tentativa | Tempo = 3'27'' | Movimentos = 50

PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TE – TD – GE – PF – PF – PF – PF – PF – PF
 PF – TF – TE – TD – TD – GE – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TE – TD – GD – PF
 PF – PF – PF – PF – TF – TE – TD – GD – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF
 PF – PF

•2ª Tentativa | Tempo = 2'36" | Movimentos = 49

PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TE – TD – GE – TF – PF – PF – PF – PF

PF – PF – PF – TF – TE – TD – GE – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TE – TD – GD

PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – TE – GD – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF

•3ª Tentativa | Tempo = 1'32" | Movimentos = 46

PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TE – TD – GE – TF – PF – PF – PF – PF – PF

TF – TE – TD – GE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TE – TD – GD – PF – PF

PF – PF – PF – TF – TD – TE – GD – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF

B.16 Participante P16

O participante P16 criou o mapa mental do trajeto em 2 tentativas:

•1ª Tentativa | Tempo = 1'59" | Movimentos = 53

PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TD – TD – TE – GE – TF – PF – PF – PF – TF

PF – PF – TF – PF – PF – TD – TE – GE – PF – PF – PF – TF – TF – PF – PF – TD

GD – PF – PF – TF – TD – TE – TF – PF – TD – TE – GD – TF – PF – PF – PF – PF

PF – PF – PF – PF – PF

•2ª Tentativa | Tempo = 2'57" | Movimentos = 58

PF – PF – PF – PF – PF – PF – TD – TE – GE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF

PF – TF – TF – TE – TD – GE – PF – PF – TF – TF – TF – PF – PF – TD – TF – TF

TD – TE – GD – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TE – TF – TE – TD – GD – PF

PF – PF – PF – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF

B.17 Participante P17

O participante P17 criou o mapa mental do trajeto em 3 tentativas:

•1ª Tentativa | Tempo = 2'06" | Movimentos = 49

TF – TD – TE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TE – TD – GE – PF – PF – PF
 PF – PF – PF – PF – TF – TE – TD – GE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TE – TD
 GD – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – TE – GD – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF

•2ª Tentativa | Tempo = 1'11" | Movimentos = 44

PF – PF – PF – PF – PF – PF – TD – TE – GE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF
 TF – TD – GE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TD – TE – GD – PF – PF – PF – PF
 PF – TF – TE – TD – GD – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF

•3ª Tentativa | Tempo = 1'08" | Movimentos = 43

PF – PF – PF – PF – PF – PF – TD – TE – GE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF
 TE – TD – GE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TE – TD – GD – PF – PF – PF – PF
 PF – TE – TD – GD – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF

B.18 Participante P18

A participante P18 criou o mapa mental do trajeto em 2 tentativas:

•1ª Tentativa | Tempo = 3'55" | Movimentos = 53

TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TE – TD – GE – TF – PF – PF – PF
 PF – PF – PF – PF – PF – TD – TD – TE – GE – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF
 PF – TD – TE – GD – TF – PF – PF – PF – PF – PF – TE – TD – GD – TF – PF – PF
 PF – PF – PF – PF – PF

•2ª Tentativa | Tempo = 2'40" | Movimentos = 45

PF – PF – PF – PF – PF – PF – TE – TD – GE – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF
 PF – TD – GE – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TE – TD – GD – TF – PF – PF
 PF – PF – PF – TE – TD – GD – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF

B.19 Participante P19

A participante P19 criou o mapa mental do trajeto em 3 tentativas:

•1ª Tentativa | Tempo = 1'45" | Movimentos = 50

TF – TD – TE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – TE – TE – GE – PF – PF
 PF – PF – PF – PF – PF – TE – TD – GE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD
 TE – TF – TE – GD – PF – PF – PF – PF – PF – TD – TD – GD – PF – PF – PF – PF
 PF – PF – PF

•2ª Tentativa | Tempo = 1'08" | Movimentos = 38

PF – PF – PF – PF – PF – PF – GE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TD – TE – GE
 PF – PF – PF – PF – PF – PF – TD – GD – PF – PF – PF – PF – PF – TE – TD – GD
 PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF

•3ª Tentativa | Tempo = 1'16" | Movimentos = 44

TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TD – TE – GE – PF – PF – PF – PF – PF – PF
 PF – TD – TE – GE – PF – PF – PF – PF – PF – TD – TE – TD – GD – PF – PF – PF
 PF – PF – TE – TD – GD – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF

B.20 Participante P20

O participante P20 criou o mapa mental do trajeto em 4 tentativas:

•1ª Tentativa | Tempo = 4'28" | Movimentos = 113

PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – TE – GE – PF – PF – PF – PF
 PF – PF – PF – TF – TD – GE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – GE – PF – TF – TD
 TE – GE – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – GD – PF – PF

PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – GD – PF – PF – PF – PF – PF – PF
 TF – TD – TE – TF – TE – TD – GD – PF – TF – TD – GD – TF – PF – PF – PF – TF
 PF – PF – PF – TF – TD – GE – TF – PF – PF – PF – TF – PF – PF – PF – TF – TD
 GE – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – GD – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF
 TF – GD – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF

•2ª Tentativa | Tempo = 3'02" | Movimentos = 51

PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TD – TE – GE – TF – PF – PF – PF – PF – PF
 PF – PF – TD – TE – GE – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TE – TD – GD
 TF – PF – PF – PF – PF – PF – TF – TE – TD – GD – TF – PF – PF – PF – PF – PF
 PF – TF – PF

•3ª Tentativa | Tempo = 3'16" | Movimentos = 47

PF – PF – PF – PF – PF – PF – TD – TE – GE – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF
 PF – TD – TE – GE – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TE – TD – GD – TF – PF
 PF – PF – PF – PF – TE – TD – GD – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF

•4ª Tentativa | Tempo = 2'55" | Movimentos = 44

PF – PF – PF – PF – PF – PF – TE – GE – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF
 TE – GE – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – TE – TD – GD – TF – PF – PF – PF
 PF – PF – TD – GD – TF – PF – PF – PF – PF – PF – PF – PF