

César Augusto Martins Pereira

Desenvolvimento e avaliação de uma interface homem-computador, com as funções de um “mouse”, controlada pelo movimento da cabeça para uso em pessoas com deficiências físicas

Dissertação apresentada à Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências

Área de concentração: Ortopedia e Traumatologia

Orientador: Dr. Reginaldo Perilo Oliveira

São Paulo

2009

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Preparada pela Biblioteca da
Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

©reprodução autorizada pelo autor

Pereira, César Augusto Martins

Desenvolvimento e avaliação de uma interface homem-computador, com as funções de um "mouse", controlada pelo movimento da cabeça para uso em pessoas com deficiências físicas / César Augusto Martins Pereira. -- São Paulo, 2009.

Dissertação(mestrado)--Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.
Departamento de Ortopedia e Traumatologia.

Área de concentração: Ortopedia e Traumatologia.

Orientador: Reginaldo Perilo Oliveira.

Descritores: 1.Quadriplegia 2.Periféricos de computador 3.Sistemas de computação 4.Processamento de imagem assistida por computador 5.Análise e desempenho de tarefas

USP/FM/SBD-140/09

Aos meus pais Oswaldo e Darcy, que me deram a base de tudo que eu sou hoje.

A minha esposa Fernanda, pelo seu apoio incondicional nos momentos mais difíceis.

A todos os voluntários que participaram deste trabalho, em especial, os voluntários tetraplégicos que me ensinaram a valorizar a vida independentemente de meus limites e imperfeições.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Dr. Reginaldo Perilo Oliveira, pelo seu apoio e incentivo na realização deste trabalho.

Ao Dr. Raul Bolliger Neto, pelas suas fundamentais sugestões e revisões dos textos desta dissertação.

Ao Prof. Olavo Pires de Camargo, por tornar possível o meu ingresso no mestrado da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.

À minha esposa, Maria Fernanda S. S. Mattos Pereira, pela essencial ajuda em todas as fases deste trabalho.

Ao Sr. Marco Antonio Pellegrini, pela grande ajuda na área de tecnologia assistiva e pelas indicações de muitos voluntários que participaram deste trabalho.

À fisioterapeuta Camila Piñero Valle, pelo auxílio nas revisões do texto desta dissertação.

Às terapeutas ocupacionais, Maria Cândida de Miranda Luzo, Ana Carolina Reynaldo e demais funcionárias do serviço de Terapia Ocupacional do Instituto de Ortopedia e Traumatologia, pelas participações na fase inicial do trabalho e pelas indicações dos voluntários.

À Dra Anita Weigand de Castro, pela indicação dos voluntários que participaram desta pesquisa.

Ao meu amigo, Marco Antônio Ferrari, pelas medições ópticas que fizeram parte deste trabalho.

À Dra Marta Imamura pela ajuda na revisão do resumo em inglês deste trabalho.

Aos colegas do Laboratório de Investigação Médica do Sistema Músculo-Esquelético do Instituto de Ortopedia e Traumatologia que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desta pesquisa.

Normalização adotada

Esta dissertação está de acordo com:

Referências: Adaptado de International Committee of Medical Journals Editors (Vancouver)

Universidade de São Paulo. Faculdade de Medicina. Serviço de Biblioteca e Documentação. *Guia de apresentação de dissertações, teses e monografias*. Elaborado por Annaliese Carneiro da Cunha, Maria Júlia de A. L. Freddi, Maria F. Crestana, Marinalva de Souza Aragão, Suely Campos Cardoso, Valéria Vilhena. 2ª ed. São Paulo: Serviço de Biblioteca e Documentação; 2005.

SUMÁRIO

Lista de abreviaturas e siglas

Lista de símbolos

Lista de figuras

Lista de tabelas

Lista de gráficos

Resumo

Summary

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	8
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	10
3.1 Desenvolvimento de dispositivos apontadores.....	11
3.2 Avaliação funcional de dispositivos apontadores.....	20
4. MÉTODOS.....	31
4.1 Casuística.....	32
4.2 Dispositivo apontador.....	35
4.3 Avaliação funcional.....	58
4.3.1 Parâmetros estudados.....	60
4.3.2 Procedimento para aplicação dos testes.....	67
4.4 Tratamento estatístico.....	68
5. RESULTADOS.....	70
6. DISCUSSÃO.....	87
6.1 Caracterização da casuística e metodologia.....	89
6.2 Resultados obtidos.....	99
6.3 Considerações finais.....	108
7. CONCLUSÕES.....	109
8. ANEXO.....	111
9. REFERÊNCIAS.....	123

APÊNDICE

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/A	Ângulo/Ângulo ("Angle/Angle")
ANOVA	análise de variância
C1 a C5	primeira a quinta vértebra cervical
CMOS	semicondutor de metal-óxido complementar ("Complementary Metal-Oxide-Semiconductor")
D/A	Deslocamento/Ângulo ("Displacement/Angle")
DIF	diferença entre controle absoluto e relativo
DP	desvio padrão
EPM	erro padrão da média
et al.	e outros
HSI	padrão de cor: matiz ("Hue"), saturação ("Saturation") e intensidade ("Intensity")
IBM	"International Business Machines"
ID	índice de dificuldade
IDe	índice de dificuldade efetivo
IHC	Interface/Interação Homem-Computador
IOT-HC-FMUSP	Instituto de Ortopedia e Traumatologia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo
ISO	"International Standardization Organization"
LCD	monitor de cristal liquido ("Liquid Crystal Display")
LED	diodo emissor de luz ("light emitting diode")
M	média

Max	máximo
MD	mediana
ME	erro no movimento
Min	mínimo
MO	movimento médio
MV	variabilidade no movimento
N	número de casos
NT	número de tentativas
p	probabilidade
RAM	memória de acesso aleatório ("Random Access Memory")
RGB	Padrão de cor: vermelho ("Red"), verde ("Green") e azul ("Blue")
TM	tempo médio
TP	índice de desempenho
TPM	índice de desempenho médio
TRE	erro de reentrada no objeto
USB	"Universal Serial Bus"
VDT	"Visual Display Terminals"

LISTA DE SÍMBOLOS

®	marca registrada
Σ	somatória
bits/s	bits por segundo
cm	centímetro
Hz	Hertz
\log_2	logarítimo na base dois
nm	nanometro
m	metro
mm	milímetro
mW	miliwatt
mW.cm^{-2}	miliwatt por centímetro quadrado
s	segundos
sen	seno
tan	tangente
W.m^{-2}	watt por metro quadrado

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Usuário utilizando o dispositivo apontador constituído de programa de computador, “webcam” e alvo reflexivo preso à aba do boné.....	35
Figura 2-	Detalhe da câmera tipo "webcam" com seis LEDs infravermelhos, sensor de luz e filtro.....	36
Figura 3-	Tela de ajuste dos parâmetros de vídeo necessários para a correta identificação do alvo.....	38
Figura 4-	Esquema hipotético da descrição da seqüência e posição da coluna de rastreo para a determinação do centro do alvo na imagem da câmera. Onde “VH” e “VW” representam a altura e a largura da imagem. Detalhe (à direita) do método de identificação dos oito pontos do possível objeto.....	41
Figura 5-	Exemplo hipotético do método para obtenção das intersecções das mediatrizes dos pontos um ao oito. O retângulo pontilhado delimita os pontos encontrados e o ponto amarelo refere-se ao centro do retângulo (“R”). As medidas “a” e “b” referem-se à largura e à altura do retângulo pontilhado e “d1” e “d2” referem-se à largura e à altura do objeto.....	43
Figura 6-	Esquema de controle do cursor do sistema operacional, mostrando a relação entre a posição da cabeça e a direção de movimento do cursor (setas vermelhas). O ponto vermelho nas imagens refere-se ao centro do alvo. Imagens capturadas a partir da câmera de vídeo sem o uso do filtro para luz visível.....	43
Figura 7-	Tela de ajuste dos parâmetros de controle do movimento do cursor e da emulação do “clique do mouse”.....	44
Figura 8-	Esquema do usuário posicionado a frente do monitor e da câmera, o ganho horizontal foi calculado pela relação do deslocamento do cursor no monitor (dmh) e o ângulo de rotação da cabeça (β).....	46
Figura 9-	Esquema do usuário posicionado à frente do monitor e da câmera. O ganho vertical foi calculado pela relação entre o deslocamento do cursor no monitor (dmv) e o ângulo de flexo- extensão da cabeça (γ).....	46

Figura 10-	Dispositivo utilizado para simular o movimento de rotação da cabeça.....	47
Figura 11-	Dispositivo posicionado à frente do computador com a câmera de vídeo.....	48
Figura 12-	Deslocamento do cursor entre dois quadros consecutivos no modo de controle absoluto.....	51
Figura 13-	Deslocamento do cursor entre dois quadros consecutivos no modo de controle relativo.....	52
Figura 14-	Tela do programa mostrando o início da emulação do clique do mouse por tempo de parada com o acionamento por movimento ortogonal ou em cruz.....	55
Figura 15-	Tela do programa mostrando o menu vertical e o início da emulação do clique do mouse por tempo de parada com o acionamento por movimento vertical.....	57
Figura 16-	Tela do programa mostrando o menu horizontal e o início da emulação do clique do mouse por tempo de parada com o acionamento por movimento horizontal, as siglas no menu referem-se às funções do mouse convencional: um clique com o botão esquerdo (1E), dois cliques com o botão esquerdo (2E), um clique com o botão direito (1D) e arrastar com o botão esquerdo (AE).....	57
Figura 17-	Tela do programa de avaliação funcional mostrando o teste de desempenho multidirecional que registrava o deslocamento do cursor saindo do objeto selecionado (verde) em direção do objeto ainda não selecionado (branco). Teste com menor grau de dificuldade.....	58
Figura 18-	Tela do programa de avaliação funcional mostrando o teste de desempenho multidirecional que registrava o deslocamento do cursor saindo do objeto selecionado (verde) em direção do objeto ainda não selecionado (branco). Teste com maior grau de dificuldade.....	59
Figura 19-	Representação da seqüência de seleções dos objetos numerados de um a dezesseis e suas respectivas direções para o teste de maior grau de dificuldade. A primeira e a última seleção ocorreram no objeto número um e as setas vermelhas indicam o sentido de movimento do cursor entre os objetos.....	60

Figura 20-	Diagrama de uma seqüência de movimentos entre dois objetos no eixo k e direção ω , onde k_i é a distância projetada no eixo k dos pontos de parada do objeto inicial e final, W é a largura teórica do objeto, W_e é a largura efetiva do objeto e D é a distância entre os centros dos objetos.....	62
Figura 21-	Representação do método para determinação da projeção (k_i) dos pontos de parada dentro dos objetos alinhados ao eixo k. As coordenadas de todos os pontos foram medidas em relação ao eixo u-v da tela do monitor.....	62
Figura 22-	Representação do método para determinação das projeções (g_i) no eixo g dos pontos (P_i) pertencentes a trajetória entre os pontos de parada P1 e P2. As coordenadas de todos os pontos foram medidas em relação ao eixo u-v da tela do monitor.....	65
Figura 23-	Esquema hipotético de quatro trajetórias distintas entre os dois objetos. Mostrando as possíveis diferenças entre as medidas de precisão: variabilidade no movimento (MV), erro no movimento (ME) e movimento médio (MO). A linha pontilhada representa a menor distância entre os objetos.....	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-	Distribuição de freqüência e proporção relativa dos sexos dos voluntários segundo os grupos estudados.....	32
Tabela 2-	Estatística descritiva da idade dos voluntários segundo os grupos estudados.....	33
Tabela 3-	Distribuição de freqüência e proporção relativa do nível de lesão mais alto na coluna cervical dos voluntários pertencentes ao grupo estudo.....	33
Tabela 4-	Estatística descritiva do tempo com lesão medular dos voluntários pertencentes ao grupo estudo.....	33
Tabela 5-	Graus de dificuldade empregados nos testes multidirecionais.....	67
Tabela 6-	Estatística descritiva do parâmetro índice de desempenho médio (TPM), em bits/s, segundo os grupos, os modos de controle e as tentativas.....	71
Tabela 7-	Estatística descritiva do parâmetro tempo de movimento (TM), em segundos, para o grau de dificuldade 2 bits, segundo os grupos, os modos de controle e as tentativas.....	72
Tabela 8-	Estatística descritiva do parâmetro tempo de movimento (TM), em segundos, para o grau de dificuldade 5 bits, segundo os grupos, os modos de controle e as tentativas.....	73
Tabela 9-	Estatística descritiva do parâmetro variabilidade no movimento (MV), em milímetros, para o grau de dificuldade 2 bits, segundo os grupos, os modos de controle e as tentativas.....	74
Tabela 10-	Estatística descritiva do parâmetro variabilidade no movimento (MV), em milímetros, para o grau de dificuldade 5 bits, segundo os grupos, os modos de controle e as tentativas.....	75
Tabela 11-	Estatística descritiva do parâmetro erro no movimento (ME), em milímetros, para o grau de dificuldade 2 bits, segundo os grupos, os modos de controle e as tentativas.....	76

Tabela 12-	Estatística descritiva do parâmetro erro no movimento (ME), em milímetros, para o grau de dificuldade 5 bits, segundo os grupos, os modos de controle e as tentativas.....	77
Tabela 13-	Estatística descritiva do parâmetro movimento médio (MO), em milímetros, para o grau de dificuldade 2 bits, segundo os grupos, os modos de controle e as tentativas.....	78
Tabela 14-	Estatística descritiva do parâmetro movimento médio (MO), em milímetros, para o grau de dificuldade 5 bits, segundo os grupos, os modos de controle e as tentativas.....	79
Tabela 15-	Estatística descritiva do parâmetro erro de reentrada no objeto (TRE) para o grau de dificuldade 2 bits, segundo os grupos, os modos de controle e as tentativas.....	80
Tabela 16-	Estatística descritiva do parâmetro erro de reentrada no objeto (TRE) para o grau de dificuldade 5 bits, segundo os grupos, os modos de controle e as tentativas.....	81
Tabela 17-	Comparações dos índices de desempenho médio (TPM) segundo as interações dos fatores grupo, modo de controle e tentativa, pelo teste de análise de variância com transformação por postos.....	82
Tabela 18-	Comparações dos parâmetros TM, TRE, MV, ME e MO para o grau de dificuldade de 2 bits, segundo as interações dos fatores grupo, modo de controle e tentativa, pelo teste de análise de variância com transformação por postos.....	83
Tabela 19-	Comparações dos parâmetros TM, TRE, MV, ME e MO para o grau de dificuldade de 5 bits, segundo as interações dos fatores grupo, modo de controle e tentativa, pelo teste de análise de variância com transformação por postos.....	83
Tabela 20-	Média e desvio padrão (entre parênteses) dos parâmetros variabilidade no movimento (MV), erro no movimento (ME), movimento médio (MO) e erro de reentrada no objeto (TRE) encontrados nos trabalhos de Mackenzie e Keates.....	104

Tabela 21-	Estatística descritiva do parâmetro índice de desempenho médio (TPM), em bits/s, segundo as tentativas, os grupos e os modos de controle.....	112
Tabela 22-	Estatística descritiva do parâmetro tempo de movimento (TM), em segundos, para o grau de dificuldade 2 bits, segundo as tentativas, os grupos e os modos de controle.....	113
Tabela 23-	Estatística descritiva do parâmetro tempo de movimento (TM), em segundos, para o grau de dificuldade 5 bits, segundo as tentativas, os grupos e os modos de controle.....	114
Tabela 24-	Estatística descritiva do parâmetro variabilidade no movimento (MV), em milímetros, para o grau de dificuldade 2 bits, segundo as tentativas, os grupos e os modos de controle.....	115
Tabela 25-	Estatística descritiva do parâmetro variabilidade no movimento (MV), em milímetros, para o grau de dificuldade 5 bits, segundo as tentativas, os grupos e os modos de controle.....	116
Tabela 26-	Estatística descritiva do parâmetro erro no movimento (ME), em milímetros, para o grau de dificuldade 2 bits, segundo as tentativas, os grupos e os modos de controle.....	117
Tabela 27-	Estatística descritiva do parâmetro erro no movimento (ME), em milímetros, para o grau de dificuldade 5 bits, segundo as tentativas, os grupos e os modos de controle.....	118
Tabela 28-	Estatística descritiva do parâmetro movimento médio (MO), em milímetros, para o grau de dificuldade 2 bits, segundo as tentativas, os grupos e os modos de controle.....	119
Tabela 29-	Estatística descritiva do parâmetro movimento médio (MO), em milímetros, para o grau de dificuldade 5 bits, segundo as tentativas, os grupos e os modos de controle.....	120
Tabela 30-	Estatística descritiva do parâmetro erro de reentrada no objeto (TRE) para o grau de dificuldade 2 bits, segundo as tentativas, os grupos e os modos de controle.....	121

Tabela 31-	Estatística descritiva do parâmetro erro de reentrada no objeto (TRE) para o grau de dificuldade 5 bits, segundo as tentativas, os grupos e os modos de controle.....	122
------------	---	-----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1-	Médias dos índices de desempenho médio (TPM), em bits/s, segundo as tentativas, os grupos e modos de controle.....	71
Gráfico 2-	Médias dos tempos de movimento (TM), em segundos, para o grau de dificuldade 2 bits, segundo as tentativas, os grupos e seus respectivos modos de controle.....	72
Gráfico 3-	Médias dos tempos de movimento (TM), em segundos, para o grau de dificuldade 5 bits, segundo as tentativas, os grupos e seus respectivos modos de controle.....	73
Gráfico 4-	Médias das variabilidades no movimento (MV), em milímetros, para o grau de dificuldade 2 bits, segundo as tentativas, os grupos e seus respectivos modos de controle.....	74
Gráfico 5-	Médias das variabilidades no movimento (MV), em milímetros, para o grau de dificuldade 5 bits, segundo as tentativas, os grupos e seus respectivos modos de controle.....	75
Gráfico 6-	Médias dos erros no movimento (ME), em milímetros, para o grau de dificuldade 2 bits, segundo as tentativas, os grupos e seus respectivos modos de controle.....	76
Gráfico 7-	Médias dos erros no movimento (ME), em milímetros, para o grau de dificuldade 5 bits, segundo as tentativas, os grupos e seus respectivos modos de controle.....	77
Gráfico 8-	Médias dos movimentos médios (MO), em milímetros, para o grau de dificuldade 2 bits, segundo as tentativas, os grupos e seus respectivos modos de controle.....	78
Gráfico 9-	Médias dos movimentos médios (MO), em milímetros, para o grau de dificuldade 5 bits, segundo as tentativas, os grupos e seus respectivos modos de controle.....	79

Gráfico 10-	Médias dos erros de reentrada no objeto (TRE), para o grau de dificuldade 2 bits, segundo as tentativas, os grupos e seus respectivos modos de controle.....	80
Gráfico 11-	Médias dos erros de reentrada no objeto (TRE), para o grau de dificuldade 5 bits, segundo as tentativas, os grupos e seus respectivos modos de controle.....	81
Gráfico 12-	Médias entre a 1ª e 12ª tentativa do parâmetro tempo de movimento (TM) em função das direções estudadas para o grau de dificuldade 2 bits, segundo os grupos e seus respectivos modos de controle.....	84
Gráfico 13-	Médias entre a 1ª e 12ª tentativa do parâmetro tempo de movimento (TM) em função das direções estudadas para o grau de dificuldade 5 bits, segundo os grupos e seus respectivos modos de controle.....	84
Gráfico 14-	Médias entre a 1ª e 12ª tentativa do parâmetro variabilidade no movimento (MV) em função das direções estudadas para o grau de dificuldade 2 bits, segundo os grupos e seus respectivos modos de controle.....	85
Gráfico 15-	Médias entre a 1ª e 12ª tentativa do parâmetro variabilidade no movimento (MV) em função das direções estudadas para o grau de dificuldade 5 bits, segundo os grupos e seus respectivos modos de controle.....	85
Gráfico 16-	Médias entre a 1ª e 12ª tentativa do parâmetro erro no movimento (ME) em função das direções estudadas para o grau de dificuldade 2 bits, segundo os grupos e seus respectivos modos de controle.....	86
Gráfico 17-	Médias entre a 1ª e 12ª tentativa do parâmetro erro no movimento (ME) em função das direções estudadas para o grau de dificuldade 5 bits, segundo os grupos e seus respectivos modos de controle.....	86

RESUMO

Pereira, CAM. *Desenvolvimento e avaliação de uma interface homem-computador, com as funções de um "mouse", controlada pelo movimento da cabeça para uso em pessoas com deficiências físicas* [dissertação]. São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo; 2009. 130 p.

INTRODUÇÃO: Pessoas com lesão medular, ou algum tipo de acometimento que impeça o movimento dos membros superiores, não conseguem utilizar adequadamente as interfaces ou dispositivos padrões de um computador, como por exemplo, o teclado e o mouse. Os objetivos deste trabalho foram desenvolver um dispositivo apontador, com as mesmas funções de um mouse convencional, controlado pelo movimento da cabeça, e comparar a eficiência no uso do dispositivo proposto, utilizando o controle do cursor do computador nos modos absoluto e relativo, por indivíduos tetraplégicos e indivíduos sem acometimento neuromuscular. **MÉTODOS:** Dez indivíduos com lesão medular cervical (grupo estudo) e dez indivíduos sem acometimento do sistema neuromuscular (grupo controle) participaram das avaliações funcionais do dispositivo desenvolvido. O dispositivo apontador era composto por uma câmera de vídeo, por um programa de computador e por um alvo aderido à parte frontal de um boné, que foi colocado sobre a cabeça do usuário. Os movimentos de flexo-extensão e de rotação da cabeça estavam relacionados, respectivamente, com o deslocamento vertical e horizontal do cursor. O controle do movimento do cursor podia ser efetuado no modo absoluto, que era semelhante ao funcionamento de um "mouse" convencional, ou no modo relativo, que era análogo ao funcionamento de um "joystick". As avaliações foram baseadas nos testes multidirecionais da norma ISO 9241-9, que consistia em registrar a capacidade do usuário mover o cursor entre dois objetos circulares, em diferentes direções. Os indivíduos de cada grupo participaram de uma seqüência de testes multidirecionais, operando o dispositivo apontador nos modos de controle absoluto e relativo. **RESULTADOS:** A maioria dos parâmetros estudados apresentou diferença significativa, entre as situações de controle absoluto e relativo, para os indivíduos de ambos os grupos, mostrando que os parâmetros medidos no modo absoluto foram melhores que os medidos no modo relativo. Não houve diferença significativa entre os grupos, para a maioria dos parâmetros estudados. **CONCLUSÕES:** O dispositivo apontador desenvolvido emulou adequadamente as funções de deslocamento do cursor do computador e os resultados, obtidos através da avaliação funcional do dispositivo estudado, permitiram concluir que o modo de controle absoluto foi significativamente mais eficiente que o modo de controle relativo quando operados pelos indivíduos de ambos os grupos.

Descritores: 1.Quadriplegia 2.Periféricos de computador 3.Sistemas de computação 4.Processamento de imagem assistida por computador 5.Análise e desempenho de tarefas.

SUMMARY

Pereira, CAM. *Development and evaluation of a head controlled human-computer interface with "mouse" functions for physically disabled users*. [dissertation]. São Paulo: São Paulo University School of Medicine, 2009. 130 p.

INTRODUCTION: People with spinal cord injury or other diseases leading to impaired upper limb movement are usually not able to properly handle computer standard interfaces such as the mouse or keyboard. This study was aimed at developing a head controlled pointer device to substitute for a conventional computer mouse, and then compare its performance when operated either in absolute or in relative modes by quadriplegic subjects and by people without neuromuscular impairments. **METHODS:** Ten cervical spinal cord injured subjects (study group) and ten healthy controls (control group) operated the device, which was composed of a video camera, a computer program and a paper target attached to a cap which was placed on the user's head. Flexion/extension and right/left rotational movements of the user's head were correlated with the vertical and horizontal cursor displacements, controlled either in absolute (conventional "mouse" like) or in relative ("joystick" like) modes. A computer program was developed to functionally evaluate the user/device interaction. Multi-directional evaluation tests were based on the ISO 9241-9 standard. They consisted of recording the user's skill in moving the cursor between two circular objects, in several directions. Users from both groups sequentially operated the device in both control modes. **RESULTS:** Most of the studied parameters revealed a significant difference between both control modes, favouring the absolute one. No significant difference was found when the study and control groups were compared. **CONCLUSION:** The developed head pointer device adequately emulated the computer cursor displacement, with the absolute control mode being functionally more efficient than the relative control mode in this study.

Keyword: 1.Quadriplegia 2.Computer peripherals 3.Computer systems 4. Computer-assisted image processing 5.Task performance and analysis.

1. INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

A popularização do computador e os constantes avanços tecnológicos têm tornado este equipamento um item necessário e quase inevitável na vida de muitas pessoas. Infelizmente, pessoas com lesão medular ou algum tipo de acometimento que impeça o movimento dos membros superiores não conseguem utilizar adequadamente as interfaces padrões de um computador como, por exemplo, o teclado e o mouse.

A disciplina que explora o projeto, a avaliação e a implementação de sistemas computacionais interativos para o uso humano e estuda os principais fenômenos ao redor deles é conhecida como Interação Homem-Computador (IHC). O termo Interface Homem-Computador também é utilizado com a mesma conotação, pois, interface e interação são conceitos que não podem ser estabelecidos ou analisados separadamente (Rocha e Baranauska, 2003).

Segundo Mauri et al. (2006), os atributos mais relevantes em IHC são usabilidade e acessibilidade. Usabilidade se refere ao grau no qual um produto pode ser usado por usuários específicos para alcançar metas determinadas com eficácia, eficiência e satisfação, em uma situação de uso.

Eficácia significa precisão e completeza, no qual os usuários realizam tarefas específicas e eficiência está relacionada com os recursos despendidos para realizar tais tarefas com eficácia. O atributo satisfação significa o grau de conforto e atitudes positivas dos usuários sobre o uso do

produto. Acessibilidade denota o quanto as pessoas percebem, compreendem, interagem e navegam com sistemas interativos (Mauri et. al., 2006).

O projeto de IHC para pessoas com deficiência física, cognitiva, sensória ou comunicativa está diretamente ligado à área de dispositivos para tecnologia assistiva, mais especificamente à área de dispositivos de acesso ao computador. São exemplos desses dispositivos: chave, “joystick” e “trackball” acionados pelo movimento de uma parte do corpo, programas que emulam um teclado virtual no monitor do computador, sistemas de reconhecimento de voz, sistema de visão computacional controlado pelo movimento dos olhos, dispositivos apontadores controlados pelo movimento da cabeça e dispositivos que utilizam potenciais elétricos do cérebro ou de músculos (Muller et al., 2001, Betke et al., 2002, Bryant e Bryant, 2003 e Mauri et al.,2006).

Dispositivos apontadores controlados pela cabeça são interfaces que relacionam os movimentos da cabeça do usuário com o deslocamento do cursor do computador. Os movimentos da cabeça mais utilizados são os de flexo-extensão e de rotação (Takami et al.,1996, Evans et al., 2000, Kim e Cho, 2002, Nunoshita e Ebisawa, 2002, Dias et al.,2003, Graveleau et al., 2005, Morris e Chauham, 2006, Lin et al., 2006 e Eom et al., 2007). A função análoga ao clique do botão do mouse convencional também pode ser efetuada através de sensores acionados pela boca, pela bochecha, pelo piscar dos olhos ou por programa específico que emule o clique do mouse

quando o usuário pára o cursor sobre o objeto de interesse (Mauri et al., 2006).

O funcionamento dos dispositivos apontadores pode ser mecânico ou eletrônico. O dispositivo mecânico, conhecido como ponteira (Greve et al., 2001, Bryant e Bryant, 2003), é composto por uma haste longa presa pela boca ou à cabeça, com a qual o usuário pode controlar o cursor do computador através do acionamento do teclado convencional. Os dispositivos de funcionamento eletrônico utilizam sensores acústicos, inerciais ou ópticos.

O dispositivo acústico emprega a tecnologia de ultra-som tendo, como exemplo, o HeadMaster[®] Plus (Prentke Romich[®] Company, Wooster, OH, EUA), composto pelo transmissor ultra-sônico posicionado sobre o monitor e pelo receptor adaptável à cabeça do usuário. O movimento detectado de flexo-extensão ou de rotação da cabeça é usado para mover o cursor do computador. Outro dispositivo com funções semelhantes foi desenvolvido por Nunoshita e Ebisawa (2002).

Dispositivos inerciais utilizam sensores conhecidos como inclinômetros, que detectam o ângulo entre seu eixo de medida e um vetor de referência, como o campo magnético da terra (Muller et al., 2001, Chen, 2001, Kin e Cho, 2002, Eom et al., 2007).

A empresa Boost Technology[®] (Redwood City, CA, EUA) oferece o equipamento Tracer[®] Head Mouse, que utiliza um giroscópio de estado sólido preso à cabeça para controlar o deslocamento do cursor do computador. Esse dispositivo tem a vantagem de ser imune a ruídos do

ambiente e permite ao usuário, utilizá-lo em qualquer ângulo em relação ao monitor, a uma distância de até três metros.

Os dispositivos ópticos podem utilizar sensores de foto-detecção ou processamento digital de imagens de câmera de vídeo. O primeiro consiste em um emissor de luz infravermelha colocado nos óculos ou no topo da cabeça e uma unidade receptora, constituída por sensores fotossensíveis, colocada junto ao monitor. A fonte luminosa pode ser um diodo laser (Chen et al., 1999) ou um conjunto de LEDs (light emitting diode - diodo emissor de luz) infravermelhos que produzem um padrão de irradiação luminosa. Com o movimento da cabeça, diferentes intensidades luminosas incidem na unidade receptora, permitindo a correlação do arco de movimento da cabeça com o deslocamento do cursor em uma determinada direção e sentido (Evans et al., 2000).

O outro dispositivo óptico utiliza técnicas de visão computacional, nas quais um programa processa imagens provenientes de uma câmera de vídeo e identifica determinados objetos ou características faciais do usuário posicionado à frente da câmera. Certas interfaces reconhecem, automaticamente, regiões da cabeça, trabalhando com uma câmera tipo “webcam” como, por exemplo, os programas espanhóis Facial Mouse (CREA Software systems, Espanha), HeadMouse2 (universidade de Lleida, Espanha) e Headdev® (Fundação Vodafone, Espanha), o programa HeadTracker da IBM®, o programa CameraMouse® e o programa HeadMouse versão1.3 (universidade Eötvös Loránd, Hungria). Programas

semelhantes também foram desenvolvidos por Silva et al. (2003), Gravelleau et al. (2005), Morris e Chauham (2006) e Mauri et al. (2006).

Existem dispositivos ópticos que reconhecem objetos presos à cabeça do usuário. Tais objetos podem ser pequenos alvos coloridos (Takami et al., 1996, Dias et al., 2003, Mauri et al., 2006, Lin et al., 2006) ou alvos reflexivos, como os dispositivos Tracker Pro (Madentec[®] Ltd, Edmonton, AB, Canada), HeadMouse Extreme[®] (Origin Instruments Corporation[®], Grand Prairie, Texas, EUA) e SmartNav[®] (Natural Point Inc., Oregon, EUA).

Um dispositivo apontador pode utilizar dois tipos de controle do movimento do cursor: o modo absoluto ou o modo relativo (Evans et al., 2000). No modo absoluto, o dispositivo funciona como um mouse convencional, ou seja, a direção e amplitude do deslocamento do cursor estão diretamente relacionadas com o movimento imposto pelo usuário no mouse. Por outro lado, no modo relativo, o dispositivo trabalha como um “joystick”, que move o cursor para uma determinada direção quando a haste do mesmo está fora de uma região neutra, e pára o movimento do cursor, quando a haste volta para a região neutra.

Os estudos dos atributos de usabilidade em dispositivos apontadores podem ser feitos através de testes ou avaliações de desempenho. Os testes são baseados nas tarefas mais simples de um dispositivo, como, por exemplo, mover o cursor, traçar linhas, selecionar e arrastar objetos. As avaliações mais empregadas utilizam os testes de deslocamento do cursor e seleção de objetos e estão baseadas no conceito proposto por Fitts em 1954

(Radwin et al., 1990, Lin et al., 1992, Shaab et al., 1996, Nunoshita e Ebisawa, 2002, LoPresti et al., 2002, LoPresti e Brienza, 2004).

A lei de Fitts descreve a relação entre o tempo de movimento, distância e precisão de pessoas empenhadas em realizar movimentos rápidos entre dois objetos com distância e tamanhos definidos. Em 2000, a Organização Internacional para Padronização (ISO) lançou a norma ISO 9241-9, que preconiza uma metodologia para avaliação da eficiência de dispositivos apontadores. Alguns autores utilizam a norma para avaliar diversos tipos de dispositivos apontadores, como por exemplo, Mackenzie et al. (2001), Keates et al. (2002), Silva et al. (2003) e Man e Wong (2007).

Baseado na escassez de informação sobre dispositivos de acesso ao computador, pelas pessoas com deficiências e pelos profissionais na área de reabilitação, e no elevado custo de muitos equipamentos comerciais, o presente trabalho busca encontrar soluções mais baratas e eficientes, que sejam mais adequadas às condições econômicas dos usuários brasileiros.

2. OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

Objetivo geral:

Desenvolver e avaliar um dispositivo apontador de baixo custo, controlado pelo movimento da cabeça, que tenha as mesmas funções de um mouse convencional e aplicação para pessoas com deficiências físicas.

Objetivo específico:

Comparar o desempenho do dispositivo apontador proposto, no controle do cursor do computador, pelo modo absoluto e relativo, quando operados por usuários tetraplégicos e por indivíduos sem acometimento neuromuscular ou músculo-esquelético.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3. REVISÃO DA LITERATURA

A revisão será dividida nos temas desenvolvimento de dispositivos apontadores controlados pela cabeça e avaliação funcional de dispositivos apontadores.

3.1. Desenvolvimento de dispositivos apontadores

Takami et al. (1996) propõem um dispositivo apontador controlado pelo movimento da cabeça com aplicação para pessoas com deficiências. O dispositivo é composto por uma interface para a câmera de vídeo e sensores, uma câmera de vídeo, um sensor de pressão, um programa de computador e óculos especiais contendo três diodos emissores de luz (LEDs). O usuário, portando óculos especiais, é posicionado à frente da câmera de vídeo. Um algoritmo processa as imagens provenientes da câmera e identifica a postura e posição tridimensional da cabeça. Os movimentos de rotação e flexo-extensão da cabeça são relacionados com o deslocamento do cursor do computador e a seleção ou chaveamento é feita por sopro em um sensor de pressão. A interação com o computador é feita por um programa que controla aparelhos externos como televisor, telefone ou lâmpadas. Três pessoas com deficiência testam o dispositivo e ficam satisfeitas com o seu desempenho.

Chen et al. (1999) reportam o desenvolvimento de uma interface homem computador controlada por luz infravermelha para pessoas com

deficiências. O sistema é composto por três componentes principais: um módulo de transmissão de luz infravermelha, um módulo de recepção e processamento de sinais e um controlador microprocessado. Painéis contendo vários sensores de luz são colocados ao redor do monitor do computador, sendo que dois painéis tem a função de um teclado e o terceiro tem a função de controlar a direção do cursor do computador através de oito sensores, nos ângulos de 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270° e 315°. Um laser preso a uma armação de um óculos é utilizado pelo usuário para direcionar o feixe laser para dentro do sensor desejado. O laser é ligado ou desligado pelo toque da língua em um sensor montado próximo à boca do usuário. Três indivíduos normais e três com tetraplegia são avaliados através de um teste de digitação de uma frase de 97 letras. O tempo de digitação é comparado entre os dois grupos e não há diferença significativa.

Evans et al. (2000) descrevem um dispositivo apontador com a função de um “joystick” controlado pela cabeça de pessoas com deficiências. O dispositivo é composto por uma unidade transmissora com quatro diodos emissores de luz infravermelha (LEDs) presos a cabeça do usuário e uma unidade receptora dotada de um sensor de luz, conectada ao computador. Utilizando o modo de controle relativo (“joystick”), o sistema permite que o usuário mova o cursor para uma determinada direção quando a sua cabeça estiver fora de uma posição neutra, como por exemplo, no movimento de flexão da cabeça e, quando o usuário voltar para a região neutra, o movimento do cursor é cessado. É feita uma avaliação qualitativa em nove pessoas com deficiências, na qual elas interagem com diversos programas

do sistema operacional Windows® utilizando o dispositivo proposto (controle relativo) e um apontador controlado pela cabeça no modo absoluto, ou seja, semelhante ao controle de um mouse convencional. Todos relatam que a operação no modo de controle relativo é mais fácil que no modo de controle absoluto.

Muller et al. (2001) desenvolvem um dispositivo que emula um mouse para ser utilizado por pessoas com tetraplegia ou com doença degenerativa do sistema neuromuscular. O dispositivo relaciona o movimento de inclinação lateral à direita e à esquerda com o movimento horizontal do cursor na tela do computador e relaciona o movimento de flexão e extensão da cabeça com o movimento vertical do cursor. O sensor empregado é um acelerômetro dinâmico de dois eixos. A emulação do botão do mouse convencional é feita por eletromiografia de superfície, captando-se os sinais dos músculos mímicos epicranial (ventre frontal) e depressor do supercílio, localizados na região frontal. O equipamento é testado por uma pessoa tetraplegica com lesão medular localizada no nível C3-C4 e por uma pessoa com esclerose lateral amiotrófica. Após três a quatro horas de treinamento durante dois a três dias, os voluntários conseguem utilizar adequadamente os comandos do computador.

Chen (2001) descreve um dispositivo apontador controlado pela cabeça para pessoas com deficiências. O dispositivo utiliza dois sensores de inclinação presos a cabeça do usuário, sendo que um sensor detecta a inclinação lateral da cabeça e a relaciona com o movimento horizontal do cursor do computador e o outro detecta a flexão e extensão da cabeça e as

relaciona com o movimento vertical do cursor. As emulações dos botões do mouse são acionadas por um sensor de toque colocado próximo à bochecha do usuário. Seis indivíduos normais e seis indivíduos com tetraplegia avaliam o uso do dispositivo executando uma seqüência de 30 comandos como, por exemplo, mover o cursor, arrastar e selecionar objetos. O tempo e o percentual de acertos para executar cada comando são comparados entre os grupos normais e tetraplégicos. Não há diferença significativa entre os parâmetros estudados.

Betke et al. (2002) desenvolvem um dispositivo apontador conhecido como "Camera Mouse", que detecta características de segmentos do corpo, a partir do movimento deste, controlando o acesso ao computador. O sistema rastreia o movimento do usuário através de uma câmera de vídeo e o traduz em deslocamentos do cursor do computador. Características do corpo como nariz, olhos ou dedos podem ser rastreados. A seleção da região a ser rastreada é feita manualmente pelo usuário através de um clique com o mouse convencional na imagem do vídeo. A emulação dos botões do mouse é feita por tempo de parada de 0,5 s. O dispositivo é avaliado por 20 pessoas normais que participam de um jogo onde uma figura de um alienígena aparece em uma posição randômica da tela e o usuário tem que mover o cursor o mais rapidamente possível até a posição da figura do alienígena. Em uma segunda seqüência de testes, os usuários utilizam um programa de soletrar que contém 26 células contendo as letras do alfabeto. Eles são solicitados a soletrar as palavras "Boston College" utilizando a emulação do clique do mouse. Doze pessoas com paralisia

cerebral testam o dispositivo utilizando o programa de soletrar e o navegador de internet. Os autores concluem que o dispositivo “Camera Mouse” pode ser utilizado com sucesso em pessoas com deficiências graves e que o sistema tem a vantagem de não precisar de nenhum acessório preso ao corpo do usuário.

Kim e Cho (2002) descrevem o desenvolvimento de um novo dispositivo apontador com sensores giroscópicos, controlado pela cabeça, para uso em pessoas com deficiência. O dispositivo permite o controle do computador pelo modo absoluto, pelo modo relativo e por um modo de controle chamado de modo híbrido, que combina o controle absoluto com o relativo. Os sensores captam as velocidades angulares nos movimentos de flexo-extensão e de rotação da cabeça e as relacionam com o deslocamento do cursor do computador. O clique do mouse é acionado por um sensor óptico que tem a função de detectar o piscar do olho do usuário. O dispositivo é avaliado por cinco pessoas normais e por cinco pessoas com deficiências que, após 10 minutos de treinamento, conseguem operá-lo com sucesso.

Nunoshita e Ebisawa (2002) reportam o desenvolvimento de um dispositivo apontador ultra-sônico controlado pelo movimento da cabeça. O dispositivo utiliza três receptores de ultra-som fixados no monitor do computador e três transmissores de ultra-som presos à cabeça do usuário. Pelo movimento de flexão e extensão e de rotação da cabeça, o dispositivo determina o deslocamento do cursor no computador. Três indivíduos normais avaliam o uso do dispositivo e de um mouse convencional, através

de uma seqüência de testes de seleção de objetos com tamanho de 10 mm por 10 mm, que aparecem de forma aleatória na tela do computador. Os resultados mostram que o tempo de seleção para o dispositivo ultra-sônico é maior que o tempo medido com o uso do mouse convencional.

Dias et al. (2003) desenvolvem um dispositivo apontador controlado pela cabeça que utiliza uma câmera de vídeo conectada ao computador. A câmera de vídeo posicionada no topo do monitor do computador captura as imagens da cabeça do usuário, que tem um círculo azul preso à testa. As imagens provenientes da câmera de vídeo são processadas utilizando um algoritmo de localização de círculo, baseado na transformada de Hough, no qual identifica a posição do centro do círculo azul e relaciona, de modo proporcional, os movimentos da cabeça do usuário com o deslocamento do cursor no computador. As imagens coloridas (modelo RGB) capturadas têm 320 pixels de largura e 240 pixels de altura.

Almeida et al. (2003) desenvolvem dois periféricos de baixo custo com a função de um mouse para pessoas com deficiências. O primeiro periférico é composto por um capacete contendo dois sensores magnéticos que são acionados quando o usuário movimenta a cabeça para cima e para baixo ou inclina lateralmente a cabeça para esquerda ou para a direita. O segundo periférico é uma adaptação de uma armação presa à cabeça do usuário e conectada por um eixo "cardan" ao codificador óptico de um mouse convencional. Ao posicionar o cursor no local desejado, por um tempo pré-determinado, o programa emula o clique do mouse.

Almeida et al. (2004) descrevem um periférico com a função de um mouse controlado pela cabeça. O periférico é composto por uma armação presa no topo da cabeça e outra armação presa à base do pescoço. Um mouse convencional é fixado à armação do pescoço, onde uma haste metálica se conecta entre a armação superior e a esfera integrante do mouse, permitindo que os movimentos de flexo-extensão e de rotação da cabeça sejam relacionados com os deslocamentos vertical e horizontal do cursor do computador. O clique do mouse é feito pela insuflação da bochecha do usuário, que aciona uma chave de fim de curso presa à cabeça. O dispositivo é avaliado por seis pessoas normais e três pessoas tetraplégicas que participam de seis testes de seleção de objetos, cada teste consistindo em selecionar sete objetos dispostos em distâncias pré-determinadas. As pessoas normais participam dos testes operando o dispositivo adaptado à cabeça e, depois, com o mouse convencional (operados com as mãos). Os tempos gastos para as seleções dos objetos são maiores com o uso do mouse adaptado que com o mouse convencional.

Graveleau et al. (2005) desenvolvem um dispositivo apontador controlado pelo movimento da cabeça utilizando reconhecimento de face humana através de uma câmera de vídeo. O dispositivo é baseado em um programa que processa as imagens seqüenciais de uma câmera de vídeo (webcam) com o intuito de identificar a face e os olhos do usuário. Com a identificação positiva dos olhos do usuário, o programa determina um ponto médio entre os olhos e o armazena como um padrão da região dos olhos. Esse padrão é localizado nas imagens sucessivas e relacionado com os

deslocamentos do cursor do computador, onde o movimento de flexo-extensão da cabeça é relacionado com o deslocamento vertical e o movimento de rotação da cabeça é relacionado como deslocamento horizontal do cursor. As emulações dos cliques dos botões do mouse são feitas por pequenos movimentos da cabeça como subir e descer a cabeça para o clique esquerdo no botão do mouse e girar a cabeça para a esquerda e para a direita para o clique direito do mouse.

Morris e Chauhan (2006) descrevem um método de detecção de características faciais para o controle do cursor do computador, baseado no processamento de imagens provenientes de uma câmera de vídeo conectada ao computador. O programa desenvolvido identifica a face do usuário por técnicas de filtragem de cores para identificação da cor da pele. Após a identificação da face, o programa localiza as narinas do usuário nas imagens subseqüentes e relaciona o movimento do centro da região das narinas com os deslocamentos verticais e horizontais do cursor do computador. O sistema pode ser usado em pessoas com dificuldades motoras ou em pessoas normais.

Mauri et al. (2006) apresentam uma revisão dos conceitos envolvidos com interfaces homem-computador para pessoas com paralisia cerebral. Os autores descrevem alguns dispositivos de tecnologias assistivas computadorizadas como, por exemplo, chaves comutadoras, "joystick", "trackball", teclados, programas de reconhecimento de voz, apontadores controlados pela cabeça e pelo movimento dos olhos. Dois novos sistemas de visão computacional aplicados para o controle do cursor do computador

são propostos. O primeiro é baseado no rastreamento da face humana e o segundo é baseado no rastreamento de objetos coloridos. O segundo sistema tem a opção de controle do cursor pelo modo relativo, análogo a um "joystick". Uma avaliação qualitativa, em 11 pessoas com paralisia cerebral, é efetuada para determinar a acessibilidade e a utilidade dos dois sistemas propostos. Os autores concluem que o controle relativo do sistema de detecção de objetos coloridos foi mais eficaz para os usuários com paralisia cerebral que o sistema de reconhecimento facial.

Lin et al. (2006) propõem um novo dispositivo apontador baseado na medição do ângulo da cabeça. O dispositivo é composto por uma câmera de vídeo conectada ao computador, por um programa e por um capacete contendo vários diodos emissores de luz (LEDs) de cor vermelha, verde e azul. Com o capacete montado à cabeça do usuário, o programa identifica o centro de cada ponto luminoso correspondente aos LEDs e calcula os ângulos de rotação da cabeça independentemente da distância entre a cabeça do usuário e a câmera de vídeo. Os movimentos de rotação compreendidos como flexão e extensão e rotação para a esquerda e para a direita da cabeça são relacionados com os movimentos do cursor do computador.

Eom et al. (2007) descrevem uma nova interface homem-computador com a função de um mouse convencional, controlada pelo movimento da cabeça de pessoas com deficiências. Dois pequenos sensores giroscópicos, orientados com os eixos de flexo-extensão e rotação da cabeça, são presos a uma armação de óculos juntamente com um circuito de transmissão sem

fio (“blue-tooth”). Os sinais dos sensores são recebidos pelo computador via “blue-tooth” e um programa dedicado determina os deslocamentos vertical e horizontal do cursor do computador em correspondência com os movimentos da cabeça. A emulação do botão do mouse convencional é feita por pequenos movimentos verticais que eram detectados por um algoritmo que utiliza técnicas de redes neurais. Cinco pessoas normais participam de testes de avaliação e comparação da nova interface com o uso do mouse convencional. Os testes avaliam a taxa de reconhecimento do clique do mouse e o desempenho no controle do posicionamento do cursor. Os resultados encontrados são de 145% de erro de posicionamento da nova interface em relação ao mouse convencional e uma taxa de reconhecimento do clique em 93%.

3.2. Avaliação funcional de dispositivos apontadores

Fitts (1954) propõe uma teoria sobre a capacidade do sistema motor humano em controlar a amplitude de movimento durante a execução de tarefas repetidas. Ele apóia a hipótese de que a capacidade do sistema motor não depende da amplitude média e da variabilidade permissível dos movimentos efetuados em uma tarefa envolvendo um membro específico em uma ação motora específica. São propostos três experimentos envolvendo 44 indivíduos normais. No primeiro experimento, o usuário, manipulando uma caneta, toca entre duas placas metálicas com larguras e distâncias entre elas pré-determinadas. No segundo experimento, o usuário move um disco perfurado entre dois pinos com o mesmo diâmetro do furo do disco. A

distância ente os pinos e os diâmetros dos furos dos discos têm diversos tamanhos. No terceiro experimento, o usuário transfere um pino de um orifício para outro orifício, variando as distâncias entre os orifícios. Os diâmetros dos pinos e dos orifícios têm quatro tamanhos diferentes. É registrado o tempo decorrido de cada tarefa descrita em cada experimento. São propostos dois parâmetros de medição, o primeiro é chamado de índice de dificuldade, que relaciona a largura dos objetos (placas metálicas ou pinos) com a distância entre eles, o segundo foi chamado de índice de desempenho e é definido como a relação entre o índice de dificuldade e o tempo médio dos movimentos executados. Os resultados mostram que o índice de desempenho, para uma determinada tarefa, é aproximadamente constante sobre uma faixa considerável de amplitudes de movimento e limites de tolerâncias.

Radwin et al. (1990) avaliam o desempenho de um mouse convencional e de um dispositivo apontador controlado pela cabeça em dez pessoas sem deficiências e em duas pessoas com paralisia cerebral. O dispositivo apontador, modelo VCS 2000 da empresa Personics Corp., emprega ultra-som em o seu funcionamento. O equipamento utiliza o modo relativo para o deslocamento do cursor, emulando seus deslocamentos horizontal e vertical pelos movimentos de rotação e flexo-extensão da cabeça, respectivamente. O mouse convencional utilizado é o modelo A9M0331 da Apple ® com os ajustes de aceleração desabilitados. Os testes de desempenho avaliam os movimentos discretos do cursor e são baseados na lei de Fitts. Cada teste consiste em mover o cursor de um objeto

posicionado no centro da tela do computador para dentro de outro objeto localizado a uma certa distância do centro da tela. A seleção do objeto é feita quando o usuário pára dentro do mesmo. Os objetos variam em três tamanhos e duas distâncias e estão posicionados em oito direções diferentes em relação ao centro da tela. São estudadas as variáveis tempo de movimento, trajetória percorrida e desvio do cursor em relação à linha de menor distância entre os pontos de parada. Os autores concluem que o tempo médio, para as pessoas sem deficiências, é 63% maior com o uso do dispositivo controlado pela cabeça em relação ao mouse convencional. Todas as variáveis têm valores aumentados nas direções diagonais da tela em relação às direções horizontais e verticais.

Lin et al. (1992) avaliam a influência do ganho no uso de um mouse convencional e no uso de dispositivo apontador controlado pela cabeça. O ganho para o dispositivo controlado pela cabeça é definido como a relação entre o deslocamento do cursor no monitor do computador e o movimento da cabeça. Para o mouse convencional, o ganho é definido como a relação entre o deslocamento do cursor do computador e o deslocamento do mouse em seu plano de movimento. Dez indivíduos sem nenhum acometimento neuromuscular participam do experimento. Como objetivo secundário, são comparados os desempenhos dos usuários operando um mouse convencional modelo A9M0331 da Apple® e o dispositivo apontador ultrassônico modelo HeadMaster® VCS 2000 da Personics Corporation. A avaliação de desempenho é baseada no estudo de Radwin et al. (1990), porém são incluídas, para cada dispositivo, quatro variáveis relacionadas

com o ganho. Os autores concluem que o ganho tem efeito significativo no tempo de movimento para ambos os dispositivos avaliados.

Shaab et al. (1996) estudam o desempenho do dispositivo controlado pela cabeça com dois tipos diferentes de ganhos em relação a diferentes distâncias entre o usuário e tela do computador. O primeiro ganho (A/A) é definido como a relação entre o ângulo formado pelo deslocamento do cursor no monitor com a cabeça e o ângulo da cabeça (flexão/extensão ou rotação) e o segundo ganho (D/A) é definido pela relação entre o deslocamento linear do cursor no monitor e o ângulo da cabeça (flexão/extensão ou rotação). Doze pessoas normais, operando um dispositivo apontador ultra-sônico modelo VCS 2000 da Personics Corporation®, participam de uma avaliação de desempenho baseada no trabalho de Radwin (1990). A avaliação é modificada com a inclusão de três níveis de ganho A/A, de três níveis de ganho D/A e de três distâncias entre a cabeça do usuário e o monitor do computador. Os autores concluem que, para um mesmo ganho A/A, a distância entre a cabeça do usuário e o monitor, influencia significativamente os parâmetros estudados e, para um mesmo ganho D/A não há diferença significativa. Eles sugerem que os dispositivos apontadores devam ser implementados com o controle de ganho D/A.

A Organização Internacional para Padronização (ISO) publica, em 2000 a norma ISO 9241 com o título “Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs)”, onde a nona parte da norma, intitulada “Requirements for non-keyboard input devices”, descreve os requisitos e as

recomendações para o desenvolvimento de dispositivos de entrada que não sejam o teclado, como por exemplo mouse, “joystick”, etc. A norma é dividida em quatro anexos, nomeados de A a D. O anexo A descreve, entre outros, os métodos de seleção de dispositivos, testes de usabilidade, condições ambientais, estação de trabalho, descrição dos indivíduos avaliados e tempo máximo das avaliações. Os anexos C e D descrevem questionários para avaliação de conforto no uso dos dispositivos, análise postural e biomecânica. O anexo B descreve os testes de desempenho para avaliação da eficiência de novos dispositivos ou existentes. Os testes são baseados nas tarefas primitivas de um dispositivo, como as ações de mover o cursor, selecionar objetos, arrastar objetos e traçar linhas. São divididos em testes de deslocamento do cursor (unidirecional e multidirecional), de arrastamento, de acompanhamento de trajetória linear, de acompanhamento de trajetória circular e de desenho livre. Os parâmetros medidos são baseados na lei de Fitts e os mais importantes são: índice nominal de dificuldade, índice efetivo de dificuldade, tempo de movimento e índice de desempenho.

Mackenzie et al. (2001) propõem sete novos parâmetros de precisão para avaliações de desempenho de dispositivos apontadores computadorizados. Os parâmetros são erro de reentrada (TRE), cruzamento do eixo principal que liga os centros dos alvos (TAC), mudança de sentido na direção do eixo principal (MDC), mudança de sentido na direção ortogonal do eixo principal (ODC), variabilidade no movimento (MV), erro no movimento (ME) e movimento médio (MO). São feitas avaliações com quatro

dispositivos apontadores controlados pela mão, para validar os novos parâmetros propostos, com 12 participantes normais. Os testes multidirecionais aplicados são baseados na norma ISO 9241-9 com 16 alvos circulares eqüidistantes e dispostos em um grande círculo de 180 mm de diâmetro e grau de dificuldades de 3,8 bits. As avaliações são divididas em dez blocos, onde cada bloco tem cinco seqüências de 15 testes multidirecionais. Os autores concluem que os novos parâmetros não substituem os parâmetros preconizados pela norma ISO 9241-9, porém eles têm o potencial de elucidar porque alguns dispositivos são mais eficientes e precisos que os outros.

Anson et al. (2002) comparam o desempenho de três dispositivos apontadores controlados pela cabeça que apresentam diferentes tecnologias para o seu funcionamento. Os princípios de funcionamento são o óptico, o inercial e o acústico. O dispositivo óptico é o Tracker 2000®, que utiliza uma câmera de vídeo para detectar a posição de um pequeno alvo colocado na cabeça do usuário, o dispositivo inercial é o Tracer®, que emprega um giroscópio de estado sólido e o dispositivo acústico é o HeadMaster Plus®, que utiliza três receptores de ultra-som montados à cabeça do usuário e um transmissor de ultra-som posicionado acima do monitor. Seis pessoas normais operando cada um dos três dispositivos estudados, participam das avaliações de desempenho. Cada dispositivo é usado para produzir uma série de desenhos de complexidade similar até que cada participante atinja um nível estável de desempenho. O número de tentativas necessárias para atingir a habilidade máxima, o tempo decorrido para

execução dos desenhos e a precisão na execução dos desenhos é comparado entre os dispositivos estudados. Em geral, os resultados indicam que, embora os desempenhos sejam semelhantes entre os dispositivos, os participantes preferem o dispositivo mais confortável, que foi o Tracker 2000, em relação aos outros dois, embora esses sejam mais rápidos para a execução dos desenhos.

Keates e Robinson (2002) avaliam o desempenho de quatro pessoas com paralisia cerebral e três pessoas normais operando, com as mãos, um mouse tátil modelo Wingman da Logitech® nas condições de sistema tátil ligado e desligado. As avaliações de desempenho baseiam-se no trabalho de Mackenzie et al. (2001) e em uma nova proposta de seis parâmetros baseados na trajetória do cursor entre dois alvos. Os novos parâmetros são: distância percorrida relativa ao deslocamento do cursor, distribuição da distância percorrida para uma faixa de velocidades, sub movimentos (acelerações e desacelerações), maior distância percorrida do cursor em relação ao alvo, distribuição da distância percorrida para uma faixa de curvatura e distribuição da distância percorrida para uma faixa de raios em relação ao alvo. Concluem que os parâmetros propostos por Mackenzie e por este trabalho possibilitam acrescentar novas informações a respeito da qualidade e da natureza do controle do cursor. Usando estes parâmetros, é possível evidenciar as diferenças do controle do cursor entre pessoas com e sem deficiências físicas.

LoPresti et al. (2002) estudam o efeito do tipo de controle de um dispositivo apontador controlado pela cabeça no desempenho de indivíduos

com ou sem deficiência física. Pessoas com limitação na amplitude de movimento do pescoço podem encontrar dificuldades em operar adequadamente um dispositivo apontador controlado pela cabeça. Um programa é desenvolvido para habilitar os cinco métodos experimentais de controle para compensar as limitações de movimento. São eles: sensibilidade aumentada, sensibilidade diminuída, sensibilidade dependente da velocidade, ganho diferencial e modo de “joystick”. Todos os métodos são comparados com a interface padrão do dispositivo apontador modelo HeadMaster® (PrentkeRomich Company). Vinte e dois indivíduos sem deficiências físicas e três indivíduos com esclerose múltipla participam de testes para avaliação de desempenho. Os testes são baseados na metodologia de Radwin (1990), com a diferença de que, em cada teste, são selecionados 24 alvos com oito direções diferentes e três distâncias entre o centro da tela e o alvo. Também é aplicado um questionário com seis perguntas para avaliação do índice de satisfação. Os resultados mostram que indivíduos sem deficiências físicas têm menor tendência de errar as seleções dos alvos quando utilizaram a sensibilidade reduzida ou modo de “joystick”. De um modo geral, não há aumento significativo no desempenho entre os métodos experimentais propostos comparados com a interface padrão do dispositivo apontador, no entanto, há diminuição significativa do índice de desempenho ou “Throughput”, para todos os indivíduos, quanto ao controle ganho diferencial e “joystick”, em relação à interface padrão.

Silva et al. (2003) desenvolvem e avaliam um dispositivo controlado pela cabeça baseado no processamento de imagens de vídeo para o

reconhecimento da face humana. O programa desenvolvido identifica, a partir de imagens provenientes de uma câmera de vídeo, o piscar dos olhos do usuário e localiza, através de parâmetros antropométricos, o centro do nariz. A região do nariz é utilizada para o controle dos movimentos do cursor do computador em relação aos movimentos de flexo-extensão e rotação da cabeça. O programa também monitora a região da boca do usuário e, quando o mesmo abre a boca por um tempo, a emulação do clique do mouse convencional é acionada. A avaliação do dispositivo é baseada na norma ISO 9242-9 através de testes multidirecionais com 17 alvos circulares com um grau de dificuldade de 3,4 bits. Oito voluntários sem nenhum acometimento físico, participam dos testes operando o dispositivo apontador e um mouse convencional. Outra avaliação é aplicada em dois indivíduos normais operando o dispositivo proposto e um programa de digitação conhecido por Dasher. O programa Dasher controla, pelo movimento horizontal e vertical do cursor, a velocidade e a letra a ser selecionada. Os dois usuários digitam um texto de 160 palavras utilizando o programa de digitação. Os resultados mostram que a média do índice de desempenho é de 2,0 bits/s para o dispositivo apontador e 4,7 bits/s para o mouse convencional. A velocidade média de digitação é de 38 caracteres por minuto.

LoPresti e Brienza (2004) desenvolvem um programa que ajusta automaticamente a sensibilidade de um dispositivo apontador em função das amplitudes de movimento de cada usuário. A sensibilidade ou ganho é definida como a relação entre o deslocamento do cursor do computador e o

movimento da cabeça. São utilizados dois dispositivos apontadores, o HeadMaster® (Prentke Romich) que funciona por ondas ultra-sônicas e o Tracker 2000® que funciona através do processamento de imagens de vídeo. Onze indivíduos com esclerose múltipla e cinco indivíduos com lesão medular participam do estudo. O processo de ajuste da sensibilidade é dividido em seis passos de calibração. Cada passo é composto por vários testes de seleção de objetos circulares com tamanhos, distâncias e posições pré-definidas. Entre cada passo, medidas são efetuadas, baseadas na lei de Fitts, para que o programa ajuste a sensibilidade para valores maiores ou menores, dependendo do desempenho do usuário. Após a aplicação do programa de calibração, cada usuário participa de uma seqüência de testes multidirecionais de seleção de objetos, com a sensibilidade ajustada automaticamente pelo programa e também com a sensibilidade padrão presente na interface de cada dispositivo apontador (sem ajuste automático). Os autores concluem que o programa aumenta significativamente a velocidade de seleção com os dispositivos apontadores com sensibilidade ajustada automaticamente

Soukoreff e Mackenzie (2004) revisam os conceitos envolvidos e as perspectivas em 27 anos de pesquisas com aplicação da lei de Fitts na área de interface homem-computador, com o propósito de padronizar e consolidar métodos de avaliação de dispositivos apontadores. Os autores sugerem sete recomendações destinadas a ajudar pesquisadores interessados em utilizar os conceitos da lei de Fitts para estudar predições de tempo de movimento ou para comparações de condições em um experimento. Essas

recomendações dão suporte ou em algumas vezes complementam os métodos descritos na norma ISO 9241-9 para avaliação de dispositivos apontadores. Os autores apresentam argumentos para sustentar essas recomendações na forma de uma revisão concisa de literatura de 24 artigos publicados sobre avaliações de mouse e nove estudos com avaliações que utilizam a norma ISO 9241-9.

Man e Wong (2007) avaliam o desempenho de quatro dispositivos apontadores operados por duas pessoas com tetraplegia causada por paralisia cerebral. São utilizados os dispositivos CameraMouse® (CameraMouse Inc.) e ASL emulador de mouse (Adaptative Switches Laboratory ®), que são controlados pelos movimentos da cabeça e os dispositivos CrossScanner® (R.J. Cooper e Associados) e Quick Eye Glance Tracker® (Eye Tech Digital Systems), que são controlados pelos movimentos dos olhos. Os testes aplicados são baseados na norma ISO 9241-9 e são divididos em testes multidirecionais de seleção de alvos e um questionário de avaliação de conforto. Os testes multidirecionais são aplicados em duas sessões por semana, em um total de oito sessões. Os resultados mostram que o dispositivo emulador ASL tem o menor tempo médio de movimento entre os alvos e o dispositivo CrossScanner tem a melhor taxa de precisão. Os usuários não conseguiram terminar os testes com o dispositivo Quick Eye Glance devido à dificuldade de manterem a suas cabeças no campo de visão do dispositivo.

4. MÉTODOS

4. MÉTODOS

4.1 CASUÍSTICA

Foram avaliados 20 voluntários de ambos os sexos, dos quais dez indivíduos eram tetraplégicos e dez pessoas não apresentavam qualquer acometimento no sistema neuromuscular ou músculo-esquelético.

No primeiro grupo, intitulado de grupo estudo, 90% dos indivíduos eram do sexo masculino e 10% do sexo feminino (Tabela 1) e suas idades variaram entre 24,5 e 53,7 anos (Tabela 2). Todos tiveram lesão na coluna cervical, dos quais 30% apresentavam lesão medular no nível C3, 50% apresentavam lesão no nível C4 e 20% apresentavam lesão no nível C5 (Tabela 3). O tempo de lesão dos indivíduos do grupo estudo variou de 3,3 a 21 anos (Tabela 4).

No outro grupo, intitulado de grupo controle, 50% eram do sexo masculino e 50% do sexo feminino (Tabela 1), tendo os indivíduos idades entre 16,3 e 53 anos (Tabela 2).

Tabela 1- Distribuição de frequência e proporção relativa dos sexos dos voluntários segundo os grupos estudados.

Sexo	Grupo estudo		Grupo controle	
	Frequência	Proporção (%)	Frequência	Proporção (%)
Masculino	9	90	5	50
Feminino	1	10	5	50
Total	10	100	10	100

Tabela 2- Estatística descritiva da idade dos voluntários segundo os grupos estudados

	Idade (anos)	
	Grupo estudo	Grupo controle
Média	37,5	32,9
Desvio Padrão	10,2	11,4
Erro Padrão da Média	3,2	3,6
Mínimo	24,5	16,3
Máximo	53,7	53,0
Número de casos	10	10

Tabela 3- Distribuição de freqüência e proporção relativa do nível de lesão mais alto na coluna cervical dos voluntários pertencentes ao grupo estudo.

Nível da lesão	Freqüência	Proporção (%)
C3	3	30
C4	5	50
C5	2	20
Total	10	100

Tabela 4- Estatística descritiva do tempo com lesão medular dos voluntários pertencentes ao grupo estudo.

	Tempo com lesão (anos)
Média	9,7
Desvio Padrão	5,9
Erro Padrão da Média	1,9
Mínimo	3,3
Máximo	21,0
Número de casos	10

Os indivíduos dos dois grupos eram alfabetizados, tinham noções básicas de informática, não apresentavam limitação inferior a 15° nos movimentos da cabeça em flexão, extensão, inclinações ou rotações em relação à posição neutra da cabeça (Anson, 2002) e não tinham experiência prévia, quanto à utilização de um dispositivo apontador controlado pelo movimento da cabeça.

O presente trabalho foi aprovado pela Comissão Científica do Instituto de Ortopedia e Traumatologia e pela Comissão de Ética para Análise de Projetos de Pesquisa – CAPPesq do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, sob o protocolo número 609/05 (apêndice). Todos os voluntários selecionados ou os seus respectivos responsáveis legais assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido.

4.2 Dispositivo apontador

O dispositivo apontador era composto por uma câmera, por um programa de computador e por um marcador ou "alvo", este aderido à parte frontal de um boné que foi colocado sobre a cabeça do usuário (Figura 1). O dispositivo foi instalado em um computador portátil marca ACER®, modelo Aspire 5050 3233, com processador AMD® Turion MK36 de 2 GHz, com 532 Mb de memória RAM e tela LCD "widescreen" de 14,1 polegadas, ajustada para a resolução máxima de 1280 x 800 pixels. O sistema operacional instalado foi o Windows® XP Home.



Figura 1- Usuário utilizando o dispositivo apontador constituído de programa de computador, "webcam" e alvo reflexivo preso à aba do boné.

A câmera utilizada foi do tipo "webcam", da marca Kinstone®, que foi conectada ao computador através de porta de entrada com conexão tipo

USB, e seu sensor CMOS tinha a resolução máxima de 530 kpixels. As imagens foram ajustadas para a resolução de 320 x 240 pixels e adquiridas a uma taxa 30 quadros/segundo. A lente acoplada tinha 5 mm de distância focal e 8 mm de diâmetro. A câmera possuía seis diodos emissores de luz (LED) para o espectro infravermelho de 870 nm, o que permitia funcionar inclusive com ausência total de luz visível, pois o sensor CMOS da câmera era sensível também ao espectro infravermelho (Figura 2).

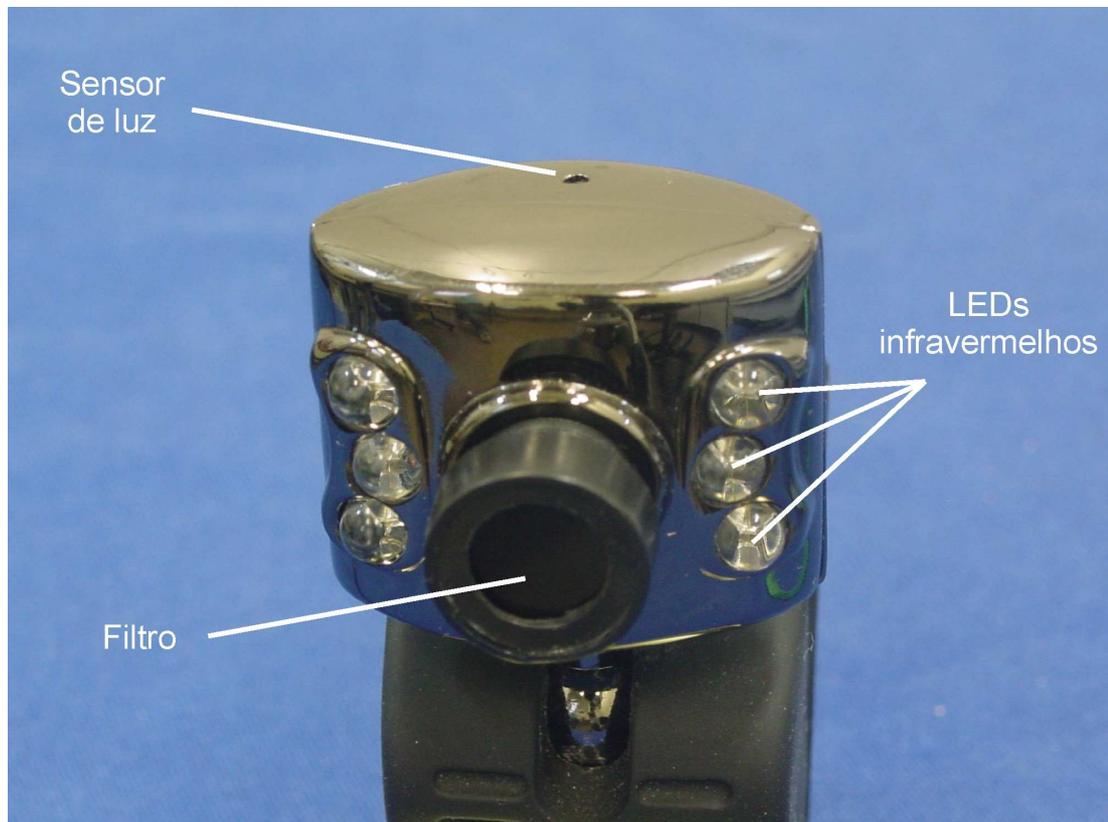


Figura 2- Detalhe da câmera tipo "webcam" com seis LEDs infravermelhos, sensor de luz e filtro.

Na parte superior da câmera (Figura 2) existia um sensor de luz acoplado a um circuito interno que acionava os LEDs infravermelhos na ausência de luz ambiente e os desligava na presença de luz. Para garantir

que os LEDs ficassem ligados o tempo todo durante as avaliações, foi obstruída a passagem de luz para o sensor.

Um filtro era acoplado à lente da câmera com a função de filtrar a luz visível e permitir somente que a luz infravermelha, provinda dos LEDs e refletida pelo alvo preso à cabeça do usuário, chegasse ao sensor da câmera. O filtro foi confeccionado a partir de um filme fotográfico velado de 35 mm.

O alvo era composto por um disco plástico de 15 mm de diâmetro colado a um cilindro de plástico com um chanfro, que tinha a função de encaixar-se à aba do boné. Foi colado, na superfície do disco plástico, um tecido reflexivo de cor prata, modelo Scotchlite 9910, produzido pela empresa 3M®. O tecido era constituído por micro esferas que permitiam que o material refletisse os raios de luz de maneira orientada, ocasionando um grande brilho na superfície do tecido (3M do Brasil, 2008).

O usuário foi posicionado à frente do computador, de forma que o alvo fosse posicionado na mesma altura da câmera, estando a câmera localizada a uma distância de 60 cm da cabeça do usuário, medida a partir do centro do pavilhão auditivo.

O programa foi desenvolvido pelo autor do presente trabalho, na linguagem de programação Delphi® 2006 e tinha como funções principais capturar as imagens do alvo provindas da câmera, processá-las para determinar a posição do centro do alvo, controlar o cursor do sistema operacional e emular o clique do mouse.

A figura 3 mostra a tela de ajuste dos parâmetros relacionados com as imagens geradas pela câmera de vídeo. Os nomes e as funções dos componentes da tela estão relacionados a seguir:

Imagem da fonte de captura

Janela que mostrava, em tempo real, as imagens provenientes da fonte de captura selecionada.



Figura 3- Tela de ajuste dos parâmetros de vídeo necessários para a correta identificação do alvo.

Imagem processada

Janela que mostrava o centro do alvo detectado (círculo vermelho) e as suas respectivas coordenadas “X” e “Y” em relação ao canto superior esquerdo da imagem da câmera de vídeo.

Fonte de captura

Permitia a seleção da fonte de captura de vídeo. No presente estudo, foi utilizada a câmera Kinstone®, mas o programa permitia selecionar qualquer fonte de captura de vídeo que estivesse instalada no computador.

Tamanho da imagem

Permitia visualizar e selecionar o tamanho da imagem a ser processada pelo programa.

Propriedades de vídeo

Possibilitava a abertura de uma janela com diversos ajustes de imagens do vídeo como brilho, contraste, matiz, saturação, nitidez e exposição. Os ajustes eram efetuados de acordo com o local do experimento para se obter uma imagem com o melhor contraste entre o alvo e o fundo.

Número de quadros por segundo

Permitia a seleção do número de quadros por segundo que são processados para a determinação do centro do alvo. A taxa escolhida foi de 30 quadros por segundo.

Cor do alvo

A cor do alvo a ser localizado podia ser selecionada entre as cores branca, vermelha, azul, verde e amarela. O padrão de representação de cores das imagens provindas da câmera de vídeo foi o RGB. Nesse padrão,

as cores são representadas por três cores primárias, a vermelha (R), a verde (G) e a azul (B), porém os componentes de cromaticidade (matiz e saturação) e brilho não são expressos separadamente. Para isso, o programa convertia o padrão RGB para o padrão HSI (“Hue”, “Saturation” e “Intensity”) que significa matiz, saturação e intensidade (brilho).

O matiz representa a noção do comprimento de onda predominante na combinação das várias ondas visíveis e é expressa em graus, por exemplo, 0° para vermelho, 60° para amarelo, 120° para verde e 240° para azul. A saturação representa o grau de mistura do matiz com a luz branca e pode ser expressa percentualmente entre 0 e 100%. O brilho representa a intensidade luminosa da radiação e também é expresso em valores percentuais, por exemplo 100% para a cor branca e 0% para a preta (Marques Filho e Vieira Neto, 1999).

O programa utilizou os parâmetros matiz, saturação e brilho para identificar o alvo com a cor desejada, que no presente trabalho, foi a cor branca devido ao fato do sensor da câmera representar como essa cor o espectro de luz infravermelho.

Procura alvo

Selecionando a opção “Liga”, o programa iniciava o processo de procura do centro do alvo. Inicialmente, o programa procurava por possíveis alvos que tivessem a mesma cor selecionada no item “Cor do alvo” e, para isso, o rastreamento era efetuado verticalmente em um número determinado de

colunas da imagem do vídeo. A determinação da posição e da seqüência da coluna para o rastreo foi baseada na equação:

$$C = VW \cdot \frac{G}{2^n} \quad (1)$$

Onde:

C - posição da coluna de rastreo em relação à largura da imagem (medida em pixels).

VW - largura da imagem (medida em pixels).

G - numerador da fração, variando de 1 a $2^n - 1$, com intervalos de 2 unidades.

n - expoente, que variou de 1 a 6, correspondendo ao denominador da fração (2 a 64).

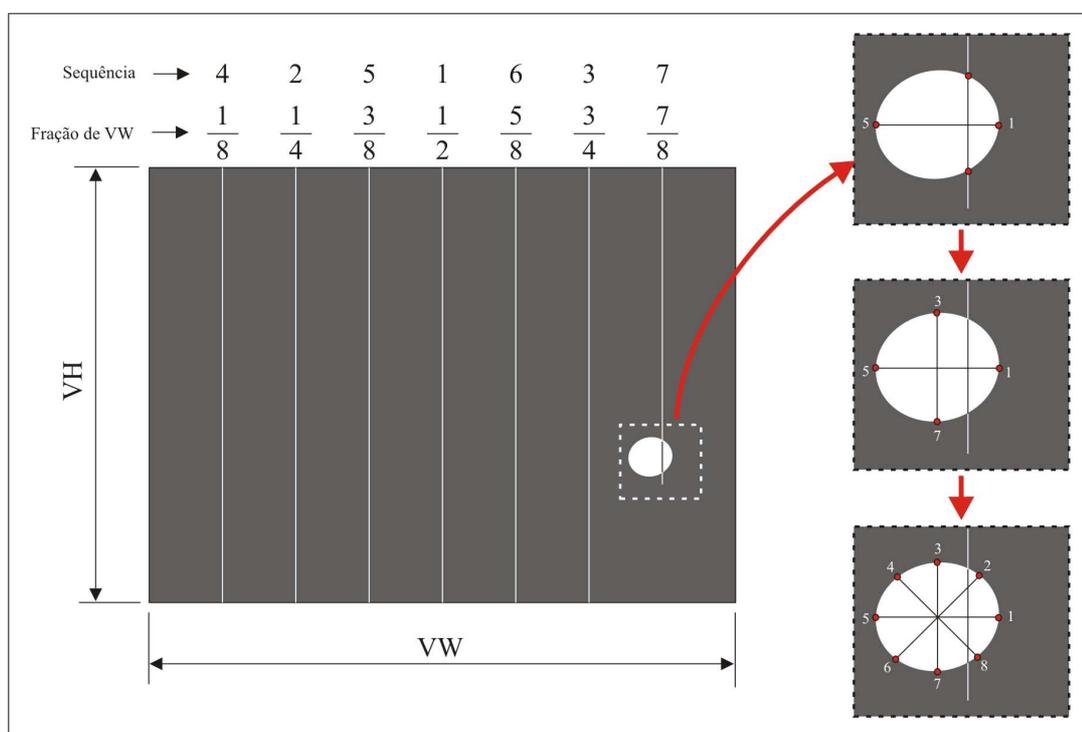


Figura 4- Esquema hipotético da descrição da seqüência e posição da coluna de rastreo para a determinação do centro do alvo na imagem da câmera. Onde “VH” e “VW” representam a altura e a largura da imagem. Detalhe (à direita) do método de identificação dos oito pontos do possível objeto.

A seqüência de rastreo iniciou-se na porção central da imagem e se propagou por entre as posições medianas das colunas rastreadas até o total de 64 colunas distribuídas pela imagem (Figura 4). Caso fosse encontrado um objeto com a cor especificada, iniciava-se o processo de identificação de

oito pontos situados na borda do objeto, numerados de 1 a 8 e defasados 45°.

Foi escrito um algoritmo com a função de encontrar um objeto circular ou elíptico a partir de oito pontos previamente encontrados. O algoritmo consistia em determinar as coordenadas das intersecções das mediatrizes de três pontos consecutivos compreendidos entre os pontos numerados, de um a oito, totalizando oito pontos (pontos verdes da figura 5). Foram calculados os limites esquerdo, direito, superior e inferior desses pontos (retângulo pontilhado – Figura 5) para posterior aplicação do seguinte conjunto de regras:

$$\begin{aligned} & SE \left(\frac{a}{d1} \leq \text{limiar1} \right) E \left(\frac{b}{d2} \leq \text{limiar2} \right) \\ & E \left(\frac{|xR - x3|}{d1} \leq \text{limiar3} \right) E \left(\frac{|yR - y1|}{d2} \leq \text{limiar4} \right) \\ & \text{ENTÃO } (CA = R) \\ & \text{SENÃO } (\text{continua a procura de um novo objeto}) \end{aligned}$$

Onde:

CA - centro do objeto circular ou elíptico

R - centro do retângulo que limita os pontos de intersecções das mediatrizes.

d1 - diâmetro horizontal do objeto

d2 - diâmetro vertical do objeto

a - largura do retângulo

b - altura do retângulo

limiar1 - limiar da proporção horizontal entre o retângulo e o alvo (adotado o valor de 0,5)

limiar2 - limiar da proporção vertical entre o retângulo e o alvo (adotado o valor de 0,5)

limiar3 - limiar da posição relativa horizontal entre o retângulo e o alvo (adotado o valor de 0,3)

limiar4 - limiar da posição relativa vertical entre o retângulo e o alvo (adotado o valor de 0,3)

Após a determinação do centro do alvo na imagem, o programa cessava o processo de procura de um novo objeto e definia a posição do cursor do sistema operacional através de uma relação com os movimentos de flexo-extensão e rotação à esquerda e à direita da cabeça, em relação à sua posição neutra (Figura 6).

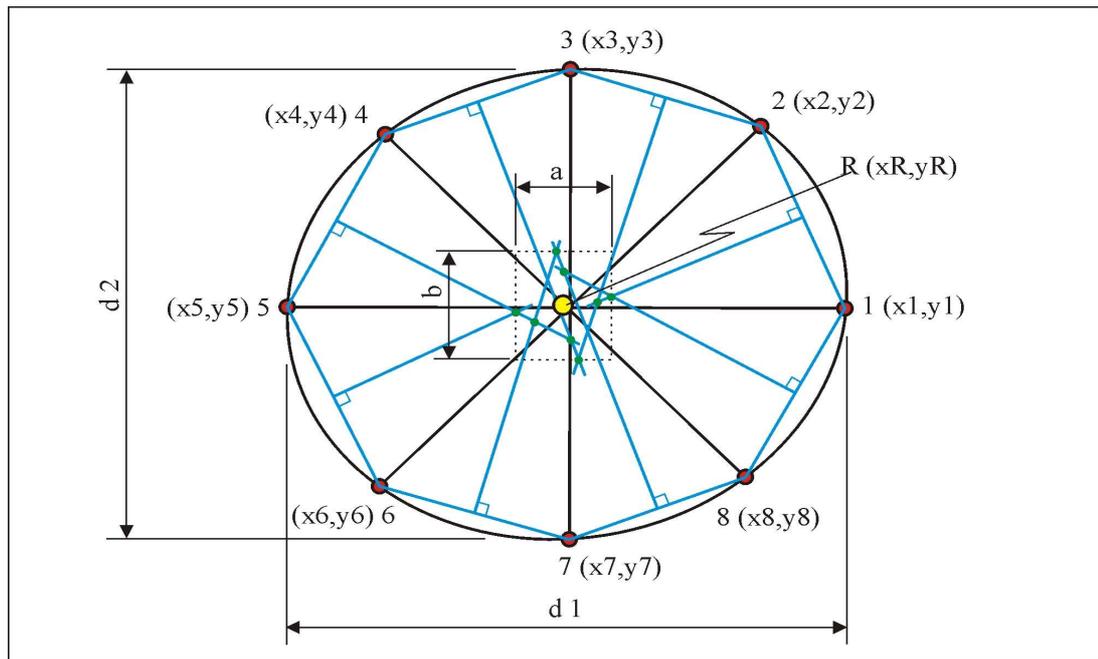


Figura 5- Exemplo hipotético do método para obtenção das intersecções das mediatrizes dos pontos um ao oito. O retângulo pontilhado delimita os pontos encontrados e o ponto amarelo refere-se ao centro do retângulo (“R”). As medidas “a” e “b” referem-se à largura e à altura do retângulo pontilhado e “d1” e “d2” referem-se à largura e à altura do objeto.

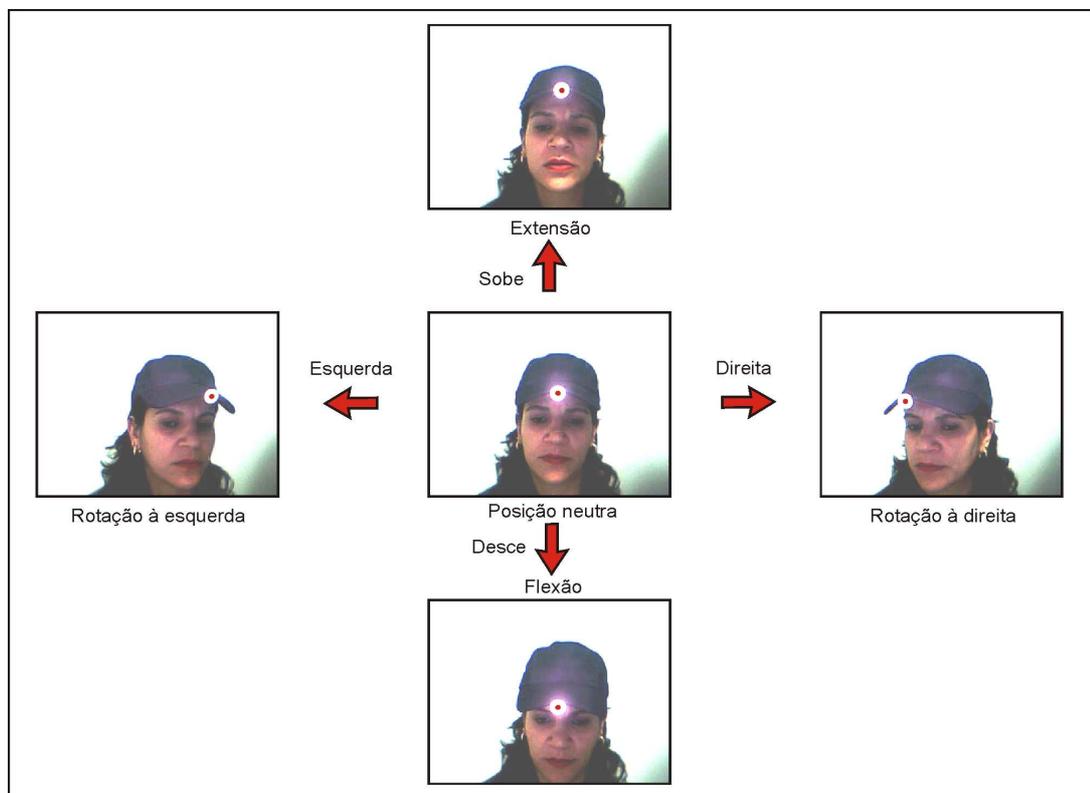


Figura 6- Esquema de controle do cursor do sistema operacional, mostrando a relação entre a posição da cabeça e a direção de movimento do cursor (setas vermelhas). O ponto vermelho nas imagens refere-se ao centro do alvo. Imagens capturadas a partir da câmera de vídeo sem o uso do filtro para luz visível.

Os ajustes para o controle do cursor eram feitos na tela “Treinamento” do programa (Figura 7) e as descrições desses ajustes serão detalhadas a seguir:

Zona de repouso

Era um limiar utilizado pelo programa para determinar se o cursor deveria mover-se ou ficar parado. Se a coordenada do centro do alvo na imagem do video estivesse dentro da região circular ou zona de repouso, o cursor permaneceria parado. O tamanho da zona de repouso podia ser grande, médio ou pequeno e correspondia na tela do computador a um diâmetro de 15 mm, 10 mm ou 5 mm, respectivamente.

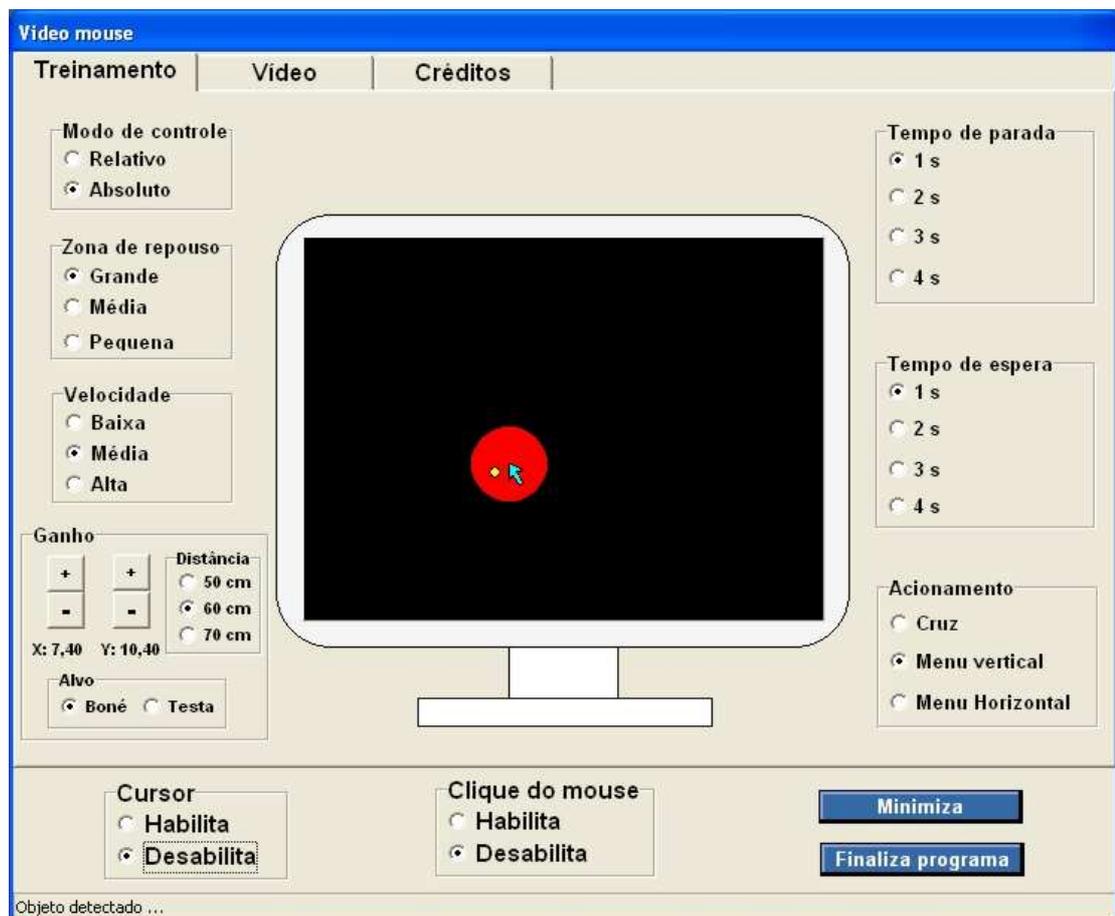


Figura 7- Tela de ajuste dos parâmetros de controle do movimento do cursor e da emulação do “clique do mouse”.

Modo de controle

O controle do movimento do cursor podia ser efetuado no modo absoluto ou no modo relativo. O controle absoluto consistia na relação direta entre o ângulo da cabeça e a posição do cursor no monitor do computador. Essa relação é conhecida como ganho e é definida como a razão entre o deslocamento do cursor no monitor e o ângulo da posição da cabeça em relação a uma posição de referência (posição neutra) e é expressa em milímetros por grau (equação 2, equação 3, Figura 8 e Figura 9).

Foram utilizados dois ganhos diferentes, o ganho horizontal, relacionado com o movimento de rotação da cabeça (β) para a esquerda ou para a direita (Figura 8), e o ganho vertical, relacionado com movimento de flexão ou extensão da cabeça (γ) (Figura 9). Os valores adotados de ganho nas direções vertical e horizontal foram de 10,4 mm/grau e 7,4 mm/grau, respectivamente.

A determinação do ângulo de rotação da cabeça (β) foi feita a partir da imagem do vídeo. Para isso, foi necessário encontrar a relação do ângulo de rotação da cabeça com o deslocamento do centro do alvo na imagem.

$$G_h = \frac{dmh}{\beta} \quad (2)$$

$$G_v = \frac{dmv}{\gamma} \quad (3)$$

Onde:

G_h - Ganho horizontal (mm/grau).

G_v - Ganho vertical (mm/grau).

dmh - Deslocamento horizontal do cursor no monitor do computador (mm).

dmv - Deslocamento vertical do cursor no monitor do computador (mm).

β - Ângulo de rotação da cabeça (grau).

γ - Ângulo de flexão ou extensão da cabeça (grau).

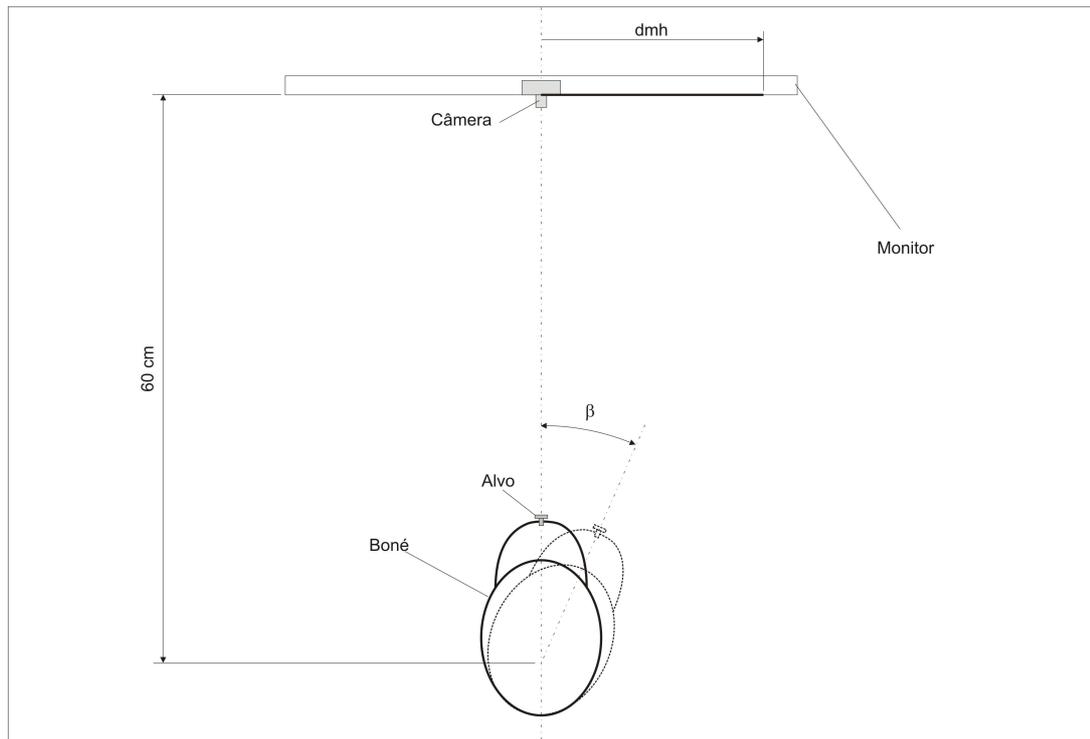


Figura 8- Esquema do usuário posicionado a frente do monitor e da câmera, o ganho horizontal foi calculado pela relação do deslocamento do cursor no monitor (dmh) e o ângulo de rotação da cabeça (β).

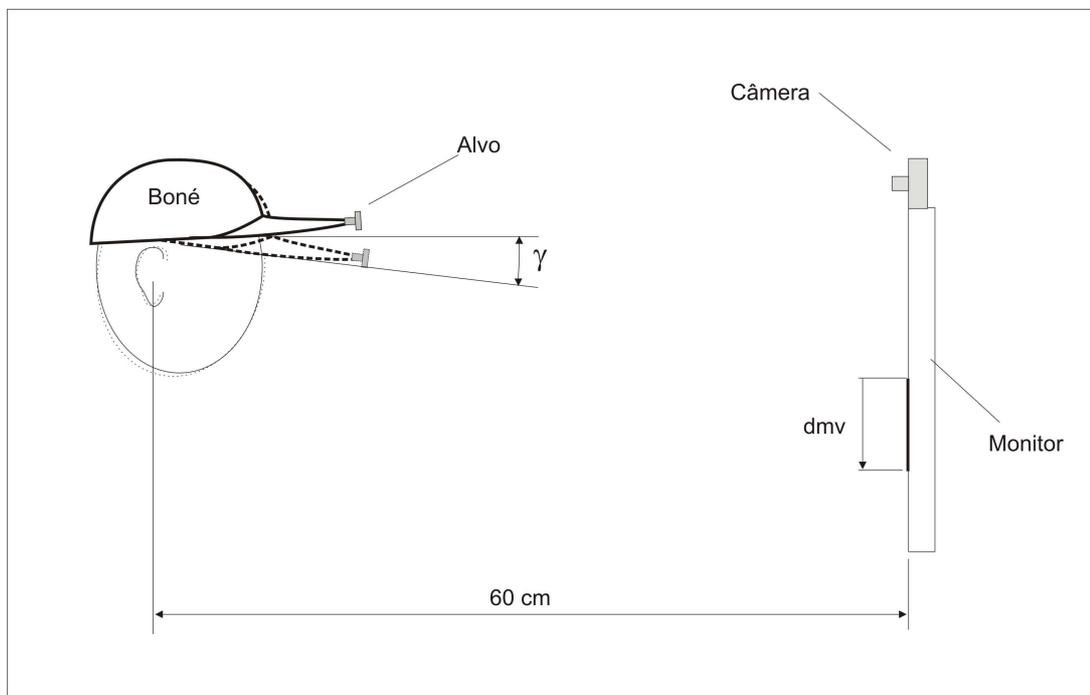


Figura 9- Esquema do usuário posicionado à frente do monitor e da câmera. O ganho vertical foi calculado pela relação entre o deslocamento do cursor no monitor (dmv) e o ângulo de flexo- extensão da cabeça (γ).

Foi desenvolvido um dispositivo com a função de simular o movimento de rotação da cabeça do usuário, com o alvo preso ao boné. Ele era composto por um transferidor angular marca Archimedes®, um eixo acoplado ao centro do transferidor, duas hastes metálicas presas radialmente ao eixo e um alvo reflexivo fixado à extremidade de haste mais longa. A haste mais curta foi utilizada como um ponteiro para a medida do ângulo (Figura 10).



Figura 10- Dispositivo utilizado para simular o movimento de rotação da cabeça.

A distância entre o alvo e o eixo a ele acoplado foi determinada através de medições das distâncias entre o alvo e centro do pavilhão auditivo de alguns voluntários portando o boné, com o alvo preso à sua aba. A distância média encontrada foi de 20 cm.

O eixo acoplado ao dispositivo foi posicionado a 60 cm da câmera presa ao monitor do computador e a haste com o alvo ficou posicionada perpendicularmente à tela do computador e alinhada com a câmera (Figura 11).

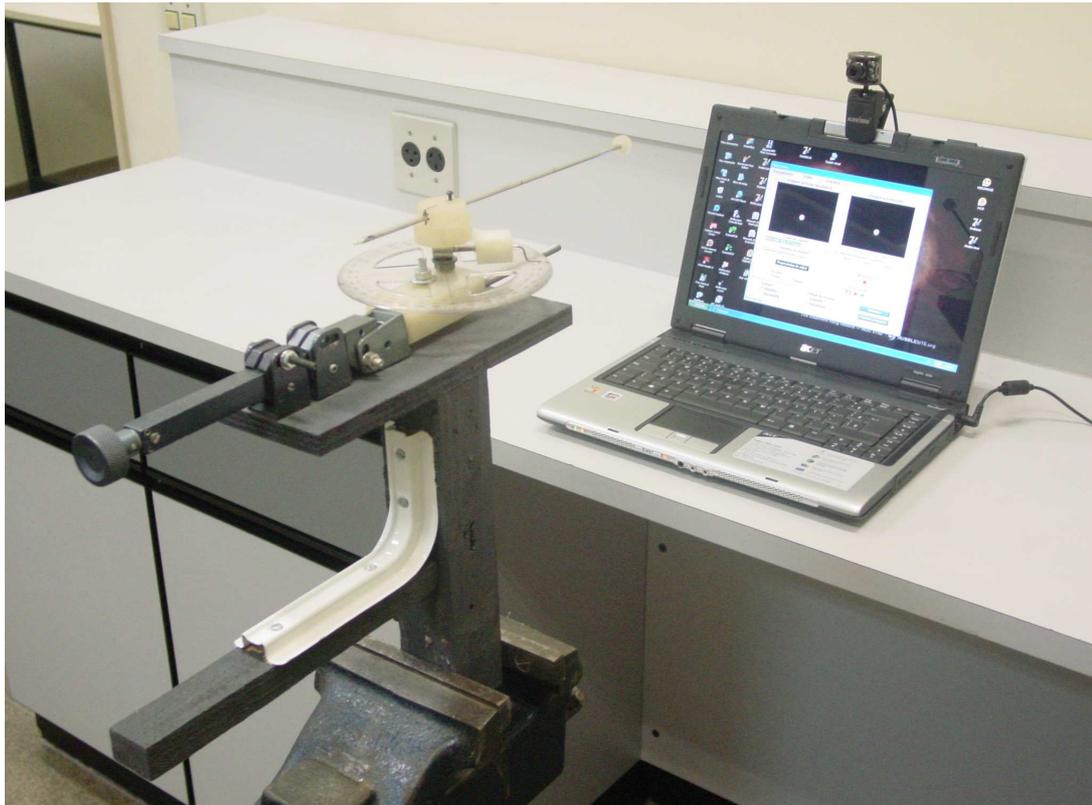


Figura 11- Dispositivo posicionado à frente do computador com a câmera de vídeo.

Foi utilizado o programa do dispositivo apontador para determinar a posição, no eixo horizontal, do centro do alvo na imagem do vídeo (coordenada "X", Figura 3). Foram computadas as diferenças das coordenadas entre os ângulos estudados e o ângulo inicial (0°). O ângulo da haste variou entre 0° e 20° , com incrementos de 5° . O procedimento foi repetido três vezes e, a partir dos valores médios, foi obtida uma equação de segundo grau que determinava o ângulo β . O ângulo γ foi determinado

utilizando-se equação análoga à obtida para o ângulo β , porém a variável independente foi o deslocamento vertical do centro do alvo em relação à sua posição inicial.

$$\beta(x) = 0,0004 \cdot x^2 + 0,1463 \cdot x + 0,1858 \quad (4)$$

$$\gamma(y) = 0,0004 \cdot y^2 + 0,1463 \cdot y + 0,1858 \quad (5)$$

Onde:

β - ângulo estimado de rotação da “cabeça”

γ - ângulo estimado de flexo-extensão da “cabeça”

x- deslocamento horizontal do centro do alvo em relação a sua posição inicial (0°)

y- deslocamento vertical do centro do alvo em relação a sua posição inicial (0°)

Os procedimentos descritos acima também foram aplicados para as distâncias de 50 cm e 70 cm entre o eixo do dispositivo e câmera, com a resolução de 320 x 240 pixels da câmera. Eles foram também repetidos para as três distâncias (50, 60 e 70 cm), com a resolução da câmera de 640 x 480 pixels. Para o presente trabalho, foi definida a utilização somente dos ajustes de distância de 60 cm e de resolução de 320 x 240 pixels.

Conhecendo-se o ganho horizontal e a relação do deslocamento horizontal do centro do alvo na imagem do vídeo com o ângulo de rotação da cabeça, foi possível determinar o deslocamento horizontal do cursor no monitor do computador (dmh) pela equação 2 e convertê-lo de milímetros para pixels, relacionando-o com o tamanho do pixel do monitor (WP), que foi de 0,2375 mm (equação 6).

O deslocamento vertical do cursor (dmy), em pixels, foi calculado pela equação (7), utilizando-se o ângulo γ obtido pela equação 5, o ganho vertical (Gv) e o tamanho do pixel (WP).

$$dmh = dmx \cdot WP$$

$$dmv = dmy \cdot WP$$

substituindo na equação 2 e equação 3:

$$Gh = \frac{dmx \cdot WP}{\beta} \Rightarrow dmx = \frac{Gh \cdot \beta}{WP} \quad (6) \quad Gv = \frac{dmy \cdot WP}{\gamma} \Rightarrow dmy = \frac{Gv \cdot \gamma}{WP} \quad (7)$$

Onde:

dmx-Deslocamento horizontal do cursor no monitor do computador (pixel)

dmy-Deslocamento vertical do cursor no monitor do computador (pixel)

WP- Tamanho de um pixel no monitor (mm)

Gh- Ganho horizontal (mm/grau)

Gv- Ganho vertical (mm/grau)

dmh- Deslocamento horizontal do cursor no monitor do computador (mm)

dmy- Deslocamento vertical do cursor no monitor do computador (mm)

β - Ângulo de rotação da cabeça (grau)

γ - Ângulo flexo-extensão da cabeça (grau)

Os parâmetros dmx e dmy foram deslocamentos medidos a partir do centro do monitor, portanto, a determinação da coordenada teórica do cursor em relação à tela do monitor pode ser expressa como:

$$P_x = \frac{MW}{2} + dmx \quad (8)$$

$$P_y = \frac{MH}{2} + dmy \quad (9)$$

Onde:

Px- Coordenada horizontal teórica do cursor no monitor do computador (pixel)

Py- Coordenada vertical do cursor no monitor do computador (pixel)

MW- Largura do monitor (pixel)

MH- Altura do monitor (pixel)

dmx- Deslocamento horizontal do cursor no monitor do computador (pixel)

dmy- Deslocamento vertical do cursor no monitor do computador (pixel)

A coordenada do cursor foi chamada de teórica porque o programa seguiu certos critérios para determinar e posicionar o cursor do sistema operacional na tela do computador. Esses critérios dependeram do modo de controle do cursor. Os modos de controle utilizados serão descritos a seguir:

Modo absoluto

O programa obtinha um quadro da imagem do vídeo a cada 33,3 ms (30 Hz), que era processado como descrito anteriormente para determinar a coordenada teórica do cursor baseado na posição da cabeça. Comparando as coordenadas teóricas do cursor entre dois quadros consecutivos (inicial e final), o programa utilizou o seguinte critério para reposicionar o cursor: se a

coordenada teórica final estivesse dentro da zona de repouso inicial, a posição final do cursor não se alteraria, porém, se a coordenada teórica estivesse fora da zona de repouso inicial, o cursor e o centro da zona de repouso se deslocariam da coordenada teórica inicial para a coordenada teórica final, a uma velocidade de deslocamento que era diretamente proporcional à distância entre as duas coordenadas (Figura .12).

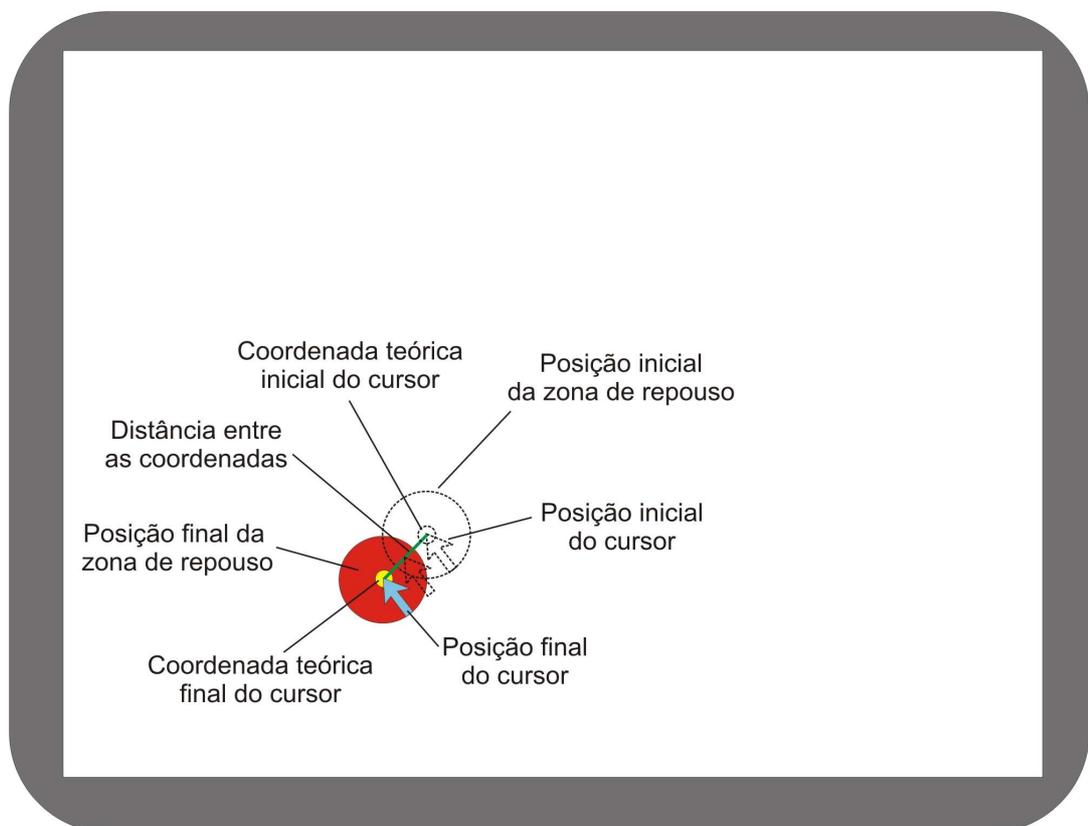


Figura 12- Deslocamento do cursor entre dois quadros consecutivos no modo de controle absoluto.

Modo relativo

Pelo controle absoluto, o cursor se deslocava proporcionalmente ao posicionamento da cabeça do usuário, no controle relativo o cursor se deslocava em uma direção, enquanto a posição da cabeça do usuário e,

conseqüentemente, o centro do alvo na imagem de vídeo estivesse fora da zona de repouso. A zona de repouso não se movia e permanecia fixa no centro da tela (Figura 6).

Comparando-se as coordenadas teóricas do cursor entre dois quadros consecutivos (inicial e final), o programa utilizou outro critério para reposicionar o cursor: se a coordenada teórica final estivesse dentro da zona de repouso inicial, a posição final do cursor não se alteraria, porém, se a coordenada teórica estivesse fora da zona de repouso, o cursor se deslocaria de sua posição inicial a uma velocidade de deslocamento que era diretamente proporcional à distância entre as duas coordenadas (Figura. 13).

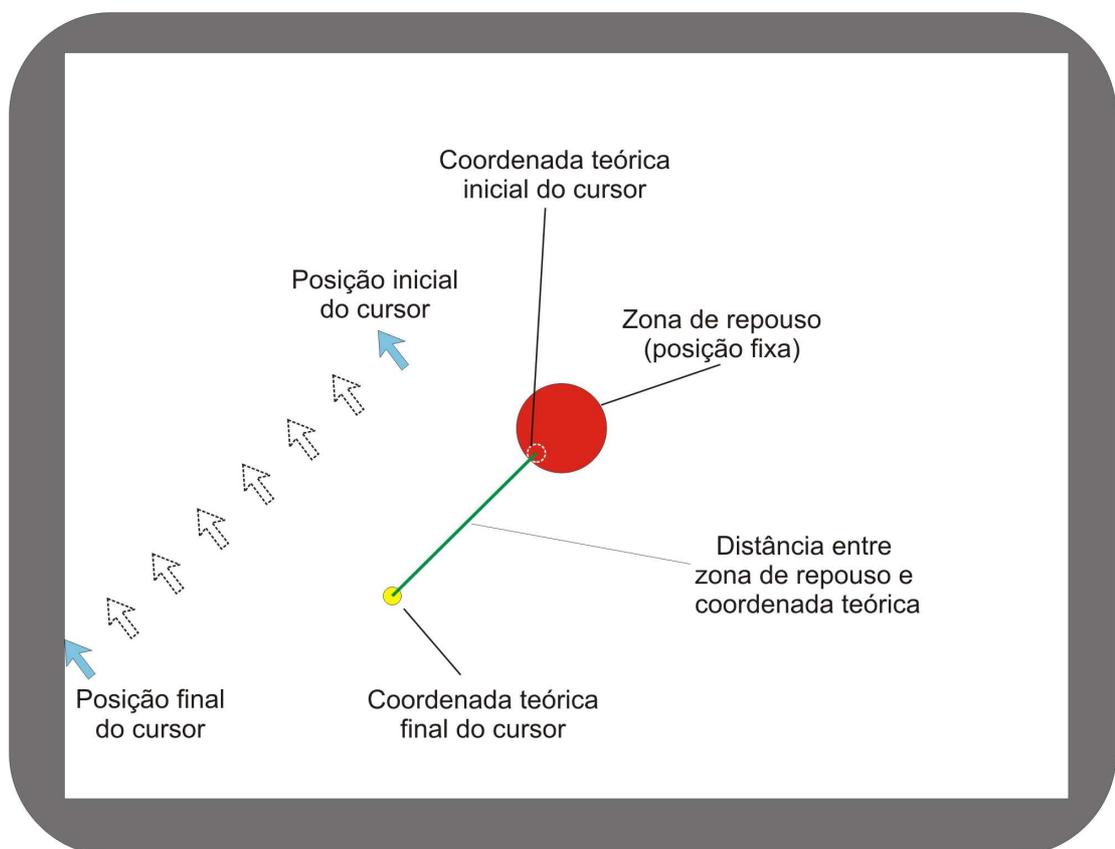


Figura 13- Deslocamento do cursor entre dois quadros consecutivos no modo de controle relativo.

Velocidade

Este controle permitia o ajuste da velocidade de deslocamento do cursor. As opções permitidas eram baixa, média e alta. A velocidade adotada no estudo foi a média.

Tanto no modo de controle absoluto como no relativo, a velocidade variou de 32 pixels/s a 260 pixels/s ou 7,6 mm/s a 61,75 mm/s e foi diretamente proporcional à distância entre as coordenadas teóricas do cursor entre dois quadros consecutivos (33,3 ms). Ou seja, quanto maior a velocidade angular da cabeça do usuário, maior era a velocidade de deslocamento do cursor, até o limite superior de 61,75 mm/s.

Ganho

Permitia o ajuste dos ganhos horizontal (x) e vertical (y), expressos em mm/grau, da distância entre a cabeça e a câmera, esta com os valores de 50 cm, 60 cm e 70 cm, e da opção de posicionamento do alvo no boné ou na testa do usuário.

Os ajustes adotados foram ganho horizontal de 7,4 mm/grau, ganho vertical de 10,4 mm/grau, distância entre câmera e cabeça de 60 cm e alvo posicionado no boné.

Cursor

O ajuste habilitava ou desabilitava o controle do movimento do cursor do sistema operacional. Na opção “Desabilita”, o usuário podia treinar o controle do cursor em uma tela de simulação, onde era possível visualizar o

cursor azul, a zona de repouso vermelha e o ponto amarelo referente à coordenada teórica do cursor (Figura 7).

O mouse convencional, controlado pelas mãos do usuário, possui quatro funções principais que são acionadas por dois botões. São elas: um clique com o botão esquerdo, um clique com o botão direito, dois cliques com o botão esquerdo e arrastar com o botão esquerdo.

As emulações dessas funções foram feitas através de três ajustes encontrados na tela “treinamento” do programa (Figura 7) e serão descritos a seguir.

Clique do mouse

Este ajuste habilitava ou desabilitava a emulação do clique do mouse.

Tempo de parada

O início da emulação era feito por tempo de parada, ou seja, quando o usuário parava o cursor em determinada posição por um tempo pré-definido (de um a quatro segundos), o processo de acionamento era ativado e o controle do cursor era desabilitado temporariamente.

Tempo de espera

Era o tempo que o usuário tinha para escolher a função desejada, análoga ao mouse convencional, através do tipo de acionamento escolhido.

Acionamento

O acionamento podia ser feito de três maneiras, por movimento ortogonal do alvo na imagem (cruz), por movimento vertical do alvo (menu vertical) e por movimento horizontal do alvo (menu horizontal).

Na opção movimento ortogonal (Figura 14), o acionamento era feito por pequenos movimentos padronizados da cabeça (quadro 1) a partir de sua posição inicial de parada.

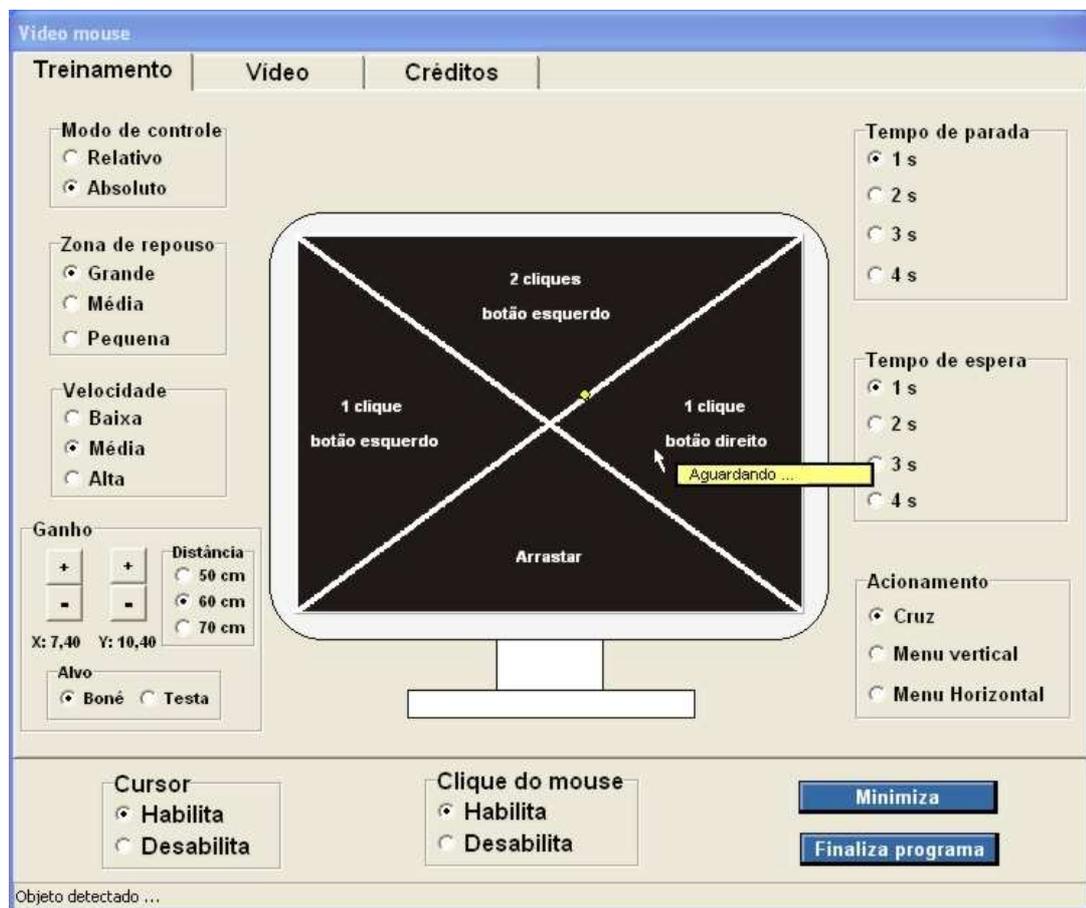


Figura 14- Tela do programa mostrando o início da emulação do clique do mouse por tempo de parada com o acionamento por movimento ortogonal ou em cruz.

Quadro 1- Descrição dos movimentos padronizados do alvo na imagem para a emulação das principais funções de um mouse convencional

Movimento do alvo	Função do mouse convencional
Para esquerda	Um clique com o botão esquerdo
Para direita	Um clique com o botão direito
Para cima	Dois cliques com o botão esquerdo
Para baixo	Arrastar com o botão esquerdo

Nos outros dois acionamentos, um menu vertical ou horizontal aparecia próximo à posição do cursor quando o usuário o parava por um tempo pré-definido. Os menus vertical (Figura 15) e horizontal (Figura 16) continham as funções de um mouse convencional descritas no quadro 1. A escolha da função do mouse convencional era feita pelo movimento vertical (menu vertical) ou horizontal (menu horizontal) da cabeça e seu acionamento era efetuado quando o tempo de espera era atingido.

A função “arrastar com o botão esquerdo”, nos três tipos de acionamentos, era desligada automaticamente quando o usuário a selecionava novamente.

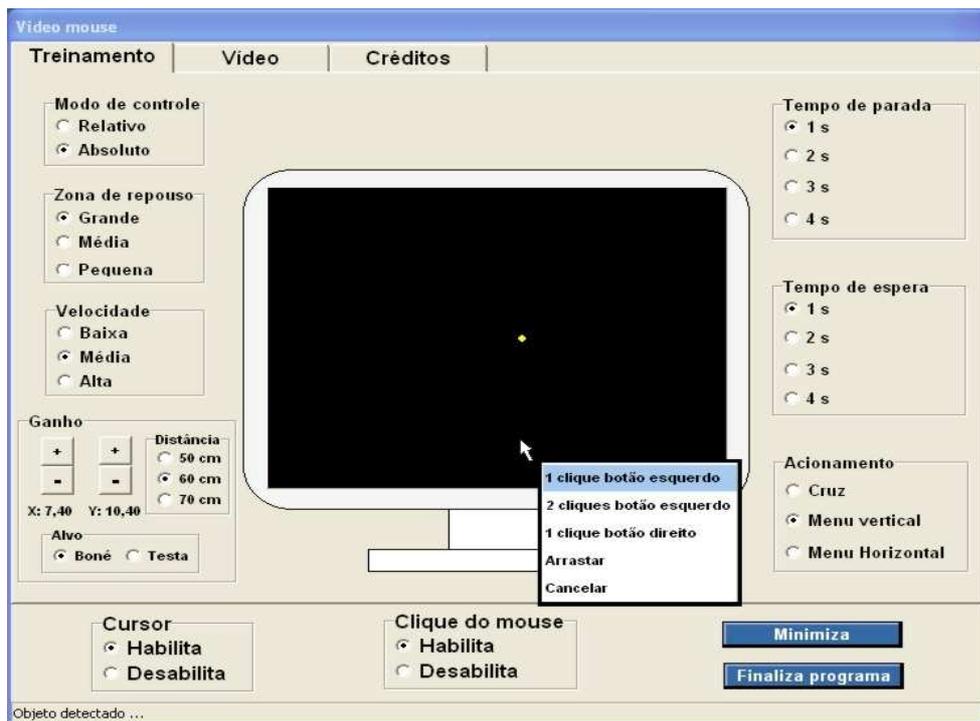


Figura 15- Tela do programa mostrando o menu vertical e o início da emulação do clique do mouse por tempo de parada com o acionamento por movimento vertical.

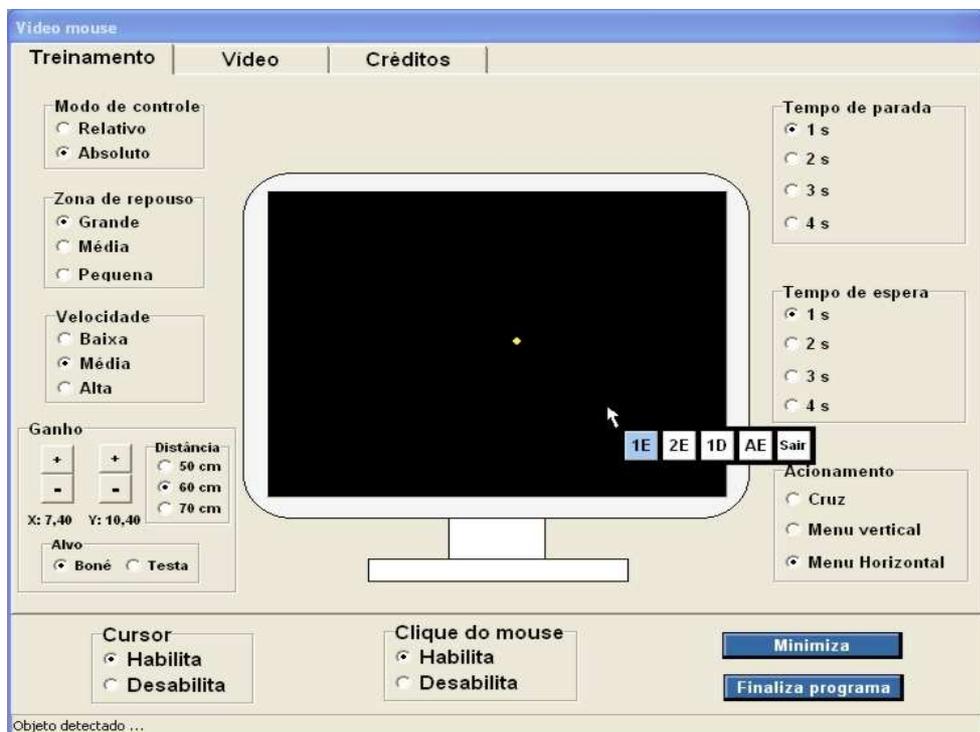


Figura 16- Tela do programa mostrando o menu horizontal e o início da emulação do clique do mouse por tempo de parada com o acionamento por movimento horizontal, as siglas no menu referem-se às funções do mouse convencional: um clique com o botão esquerdo (1E), dois cliques com o botão esquerdo (2E), um clique com o botão direito (1D) e arrastar com o botão esquerdo (AE).

4.3 Avaliação funcional

Foi desenvolvido um programa com o propósito de avaliar o dispositivo apontador e o controle do mesmo pelo usuário. As avaliações foram baseadas na norma ISO 9241-9 (anexo B), que preconiza testes de desempenho de dispositivos de entrada (mouses, teclados, etc) e tem por objetivo avaliar a eficiência do dispositivo sob determinadas tarefas mais utilizadas. Exemplos dessas tarefas são: mover o cursor, selecionar, traçar contornos e arrastar objetos.

O teste empregado no presente trabalho foi o teste de desempenho multidirecional, que avalia a capacidade do usuário mover o cursor entre dois objetos, em diferentes direções, com um determinado grau de dificuldade. O grau de dificuldade está relacionado com o tamanho e a distância entre os objetos (Figura 17 e 18).

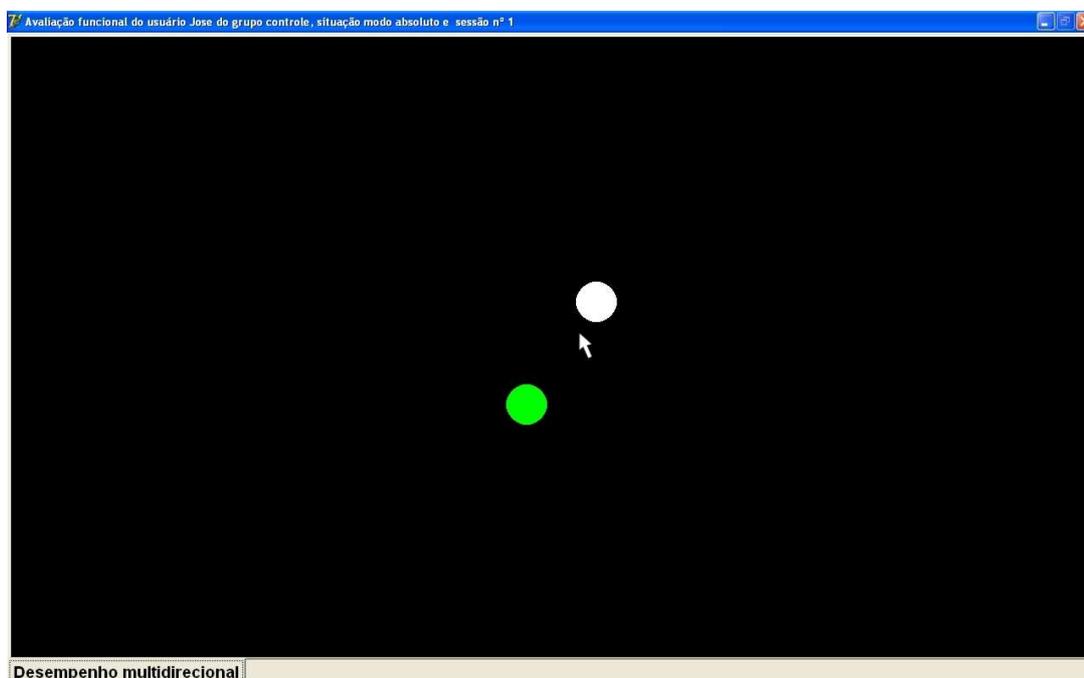


Figura 17- Tela do programa de avaliação funcional mostrando o teste de desempenho multidirecional que registrava o deslocamento do cursor saindo do objeto selecionado (verde) em direção do objeto ainda não selecionado (branco). Teste com menor grau de dificuldade.



Figura 18- Tela do programa de avaliação funcional mostrando o teste de desempenho multidirecional que registrava o deslocamento do cursor saindo do objeto selecionado (verde) em direção do objeto ainda não selecionado (branco). Teste com maior grau de dificuldade.

Em estudos que utilizam o mouse convencional, a seleção é feita com o clique do mouse dentro da região do objeto, porém, no presente estudo, a seleção do objeto era identificada pelo programa de avaliação funcional quando o cursor permanecia parado, durante meio segundo, dentro do mesmo.

O usuário era solicitado a executar uma série de seleções de objetos circulares que eram dispostos e visualizados dois a dois em uma certa direção (Figura 17 e 18), totalizando 17 direções diferentes, formadas pela associação de 16 objetos circulares defasados $22,5^\circ$ entre si (Figura 19). O objeto que ainda não fora selecionado tinha a cor branca e, quando selecionado, tornava-se verde.

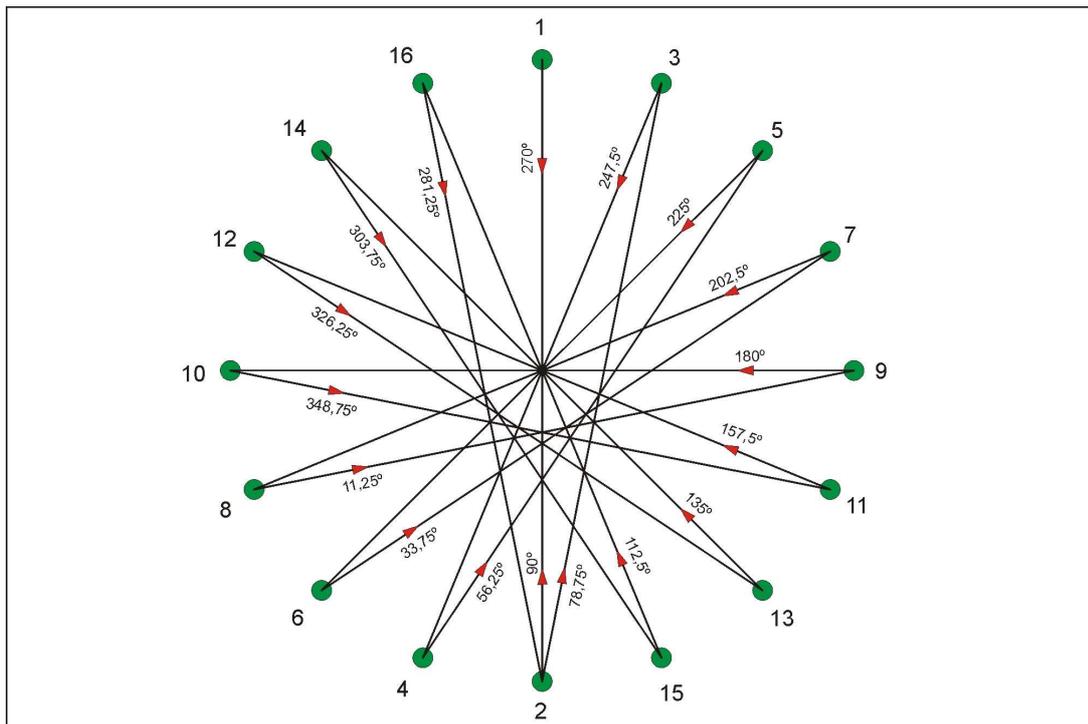


Figura 19- Representação da seqüência de seleções dos objetos numerados de um a dezesseis e suas respectivas direções para o teste de maior grau de dificuldade. A primeira e a última seleção ocorreram no objeto número um e as setas vermelhas indicam o sentido de movimento do cursor entre os objetos.

O programa registrou o teste multidirecional a uma taxa de 30 amostras por segundo, computando as coordenadas do cursor durante o seu trajeto e nos pontos de parada dentro de cada objeto selecionado.

4.3.1 Parâmetros estudados

Os parâmetros determinados nos testes de desempenho foram baseados na norma ISO 9241-9 e no trabalho de Mackenzie et al. (2001) e serão descritos detalhadamente a seguir.

Norma ISO 9241-9

Os testes de desempenho contidos no anexo B da norma utilizam os conceitos da lei de Fitts, que descreve a relação entre tempo de movimento,

distância e precisão de pessoas empenhadas em fazer movimentos rápidos entre dois objetos com distância e tamanhos definidos.

A precisão é representada como índice de dificuldade e relaciona o tamanho ou a largura do objeto (W) com a distância entre os objetos (D). O resultado é expresso em bits:

$$ID = \log_2 \frac{D + W}{W} \quad (10)$$

Onde:

ID- Índice de dificuldade (bits)

D- Distância ente os centros dos dois objetos (mm)

W- Largura do objeto (mm)

O índice de dificuldade representa o grau de dificuldade teórico que se deseja que o usuário reproduza durante o teste, porém, é improvável que, em uma seqüência de 17 testes (17 direções descritas anteriormente), o usuário pare dentro dos objetos de forma que a distância (D) seja exatamente a distância entre os centros do objeto ou que a largura de oscilação dos pontos de parada do cursor coincida com a largura do objeto (W). Essa variação da distância entre dois objetos e da largura do objeto implica em uma correção dos parâmetros D e W teóricos para os parâmetros D e W efetivos (Figura 20). Segundo a norma ISO 9241-9, a correção é feita na largura do objeto e é definida por:

$$W_e = 4,133.S_x \quad (11)$$

Onde:

W_e- Largura efetiva do objeto (mm)

S_x- Desvio padrão das distâncias projetadas (ki) no eixo k entre os pontos de parada medidos na direção onde o movimento foi feito.

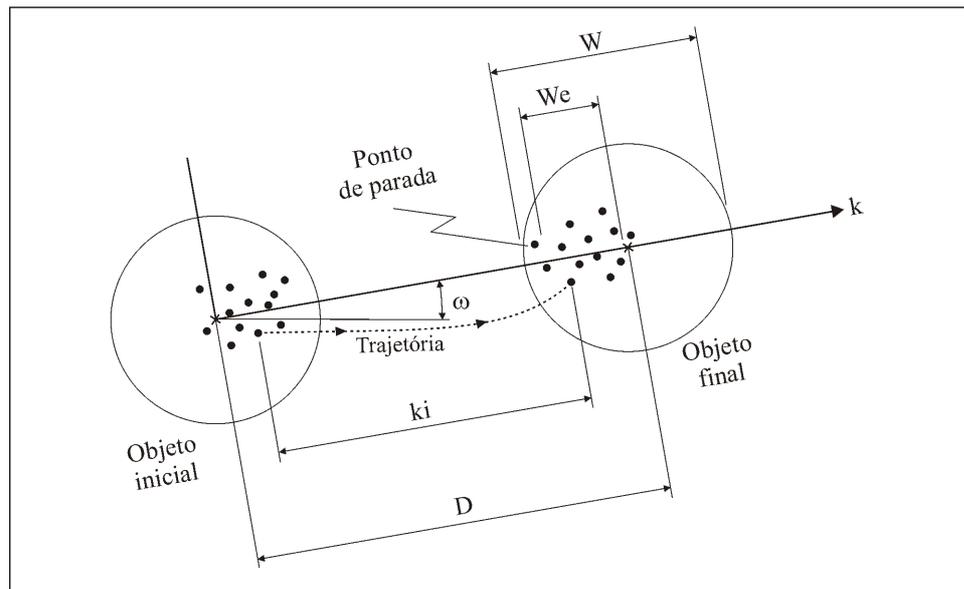


Figura 20- Diagrama de uma seqüência de movimentos entre dois objetos no eixo k e direção ω , onde k_i é a distância projetada no eixo k dos pontos de parada do objeto inicial e final, W é a largura teórica do objeto, W_e é a largura efetiva do objeto e D é a distância entre os centros dos objetos.

Foram calculadas as 17 distâncias projetadas (k_i) nos 17 eixos k entre os pontos de parada dentro dos objetos, em relação aos centros dos objetos C_1 e C_2 (Figura 21), para posterior cálculo do desvio padrão (S_x).

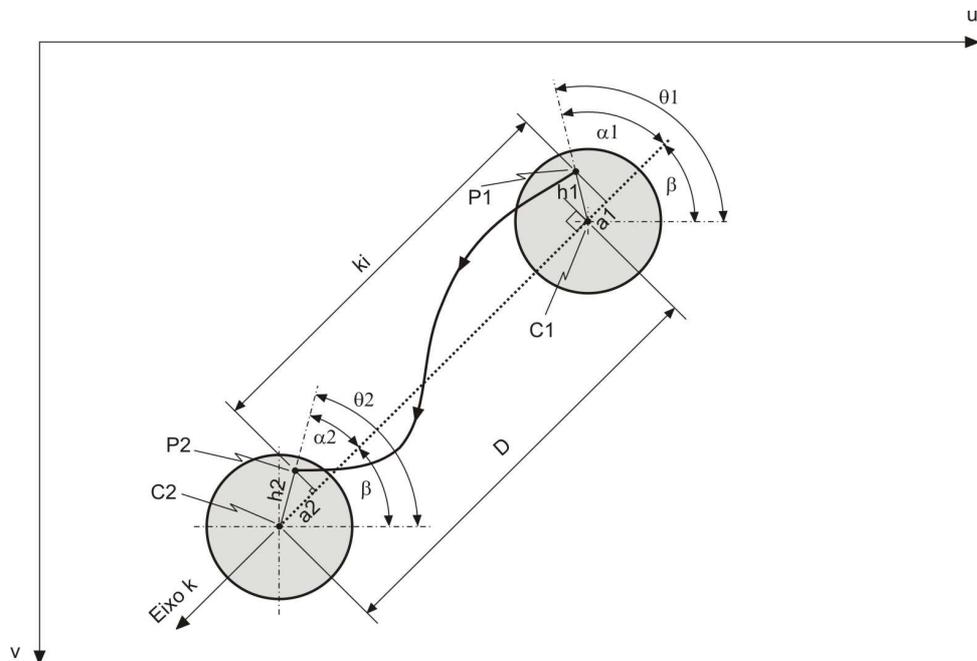


Figura 21- Representação do método para determinação da projeção (k_i) dos pontos de parada dentro dos objetos alinhados ao eixo k . As coordenadas de todos os pontos foram medidas em relação ao eixo $u-v$ da tela do monitor.

$$k_i = D - a_1 - a_2 \quad (12)$$

$$D = \sqrt{(C1_u - C2_u)^2 + (C1_v - C2_v)^2}$$

$$a_1 = \cos \alpha_1 \cdot h_1$$

$$a_2 = \cos \alpha_2 \cdot h_2$$

$$h_1 = \sqrt{(P1_u - C1_u)^2 + (P1_v - C1_v)^2}$$

$$h_2 = \sqrt{(P2_u - C2_u)^2 + (P2_v - C2_v)^2}$$

$$\alpha_1 = \theta_1 - \beta$$

$$\alpha_2 = \theta_2 - \beta$$

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{C1_v - C2_v}{C1_u - C2_u} \right) \quad \theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{P1_v - C1_v}{P1_u - C1_u} \right) \quad \theta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{P2_v - C2_v}{P2_u - C2_u} \right)$$

Onde:

k_i - Distância projetada no eixo k entre os pontos de parada dentro dos objetos (mm)

C1 e C2- Centro dos objetos

P1 e P2- Ponto de parada dentro dos objetos

D- Distância entre os centros dos objetos C1 e C2 (mm)

a_1 - Distância projetada no eixo k entre os pontos P1 e C1 (mm)

a_2 - Distância projetada no eixo k entre os pontos P2 e C2 (mm)

h_1 - Distância entre os pontos P1 e C1 (mm)

h_2 - Distância entre os pontos P2 e C2 (mm)

β - Ângulo entre os pontos C2 e C1 (grau)

θ_1 - Ângulo entre os pontos P1 e C1 (grau)

θ_2 - Ângulo entre os pontos P2 e C2 (grau)

α_1 - Diferença entre os ângulos θ_1 e β (grau)

α_2 - Diferença entre os ângulos θ_2 e β (grau)

O grau de dificuldade medido em uma seqüência de 17 testes aplicados com os parâmetros efetivos de largura (We) e distância (D) dos objetos é conhecido como índice de dificuldade efetivo (IDe) e é calculado pela expressão:

$$IDe = \log_2 \frac{D + We}{We} \quad (13)$$

Onde:

IDe - Índice de dificuldade efetivo (bits)

D- Distância ente os centros dos dois objetos (mm)

We - tamanho efetivo do objeto (mm)

A relação da precisão com o tempo de movimento entre dois objetos é representada como índice de desempenho ou taxa de transferência “throughput” e foi definida como a razão do índice de dificuldade efetivo (IDe) com o tempo médio de movimento (TM) entre os instantes de parada dentro dos objetos inicial e final, em uma seqüência de 17 testes:

$$TP = \frac{IDe}{TM} \quad (14)$$

Onde:

TP- Índice de desempenho em bits/segundo

IDe- Índice de dificuldade efetivo (bits)

TM- Tempo médio de movimento entre os instantes de parada em uma seqüência de testes (s)

Mackenzie

Foram adotadas quatro das sete medidas de precisão propostas por Mackenzie. São elas: Erro de reentrada no objeto (TRE), variabilidade no movimento (MV), erro no movimento (ME) e movimento médio (MO).

O parâmetro erro de reentrada no objeto (TRE) é definido como a relação (equação 15) do número de vezes que o cursor entra e sai do objeto sem que ele seja selecionado (por tempo de parada) pelo número de testes propostos que, no presente trabalho, foi de 17 testes. Ou seja, se o usuário entrou e saiu cinco vezes dos objetos em uma seqüência de 17 testes, o TRE correspondente seria de 0,294 (29,4 %).

$$TRE = \frac{NR}{NT} \quad (15)$$

Onde:

TRE- Erro de reentrada no objeto

NR- Número de reentradas

NT- Número de testes

Os parâmetros variabilidade no movimento (MV), erro no movimento (ME) e movimento médio (MO) foram obtidos a partir das projeções (g_i) no eixo g (ortogonal ao eixo k) dos pontos (P_i) pertencentes à trajetória entre os pontos de parada P1 e P2 dos objetos inicial e final (Figura 22 e equação 16). Para cada direção estudada o objeto final e inicial variou de acordo com a seqüência de seleção entre os 16 objetos (Figura 19).

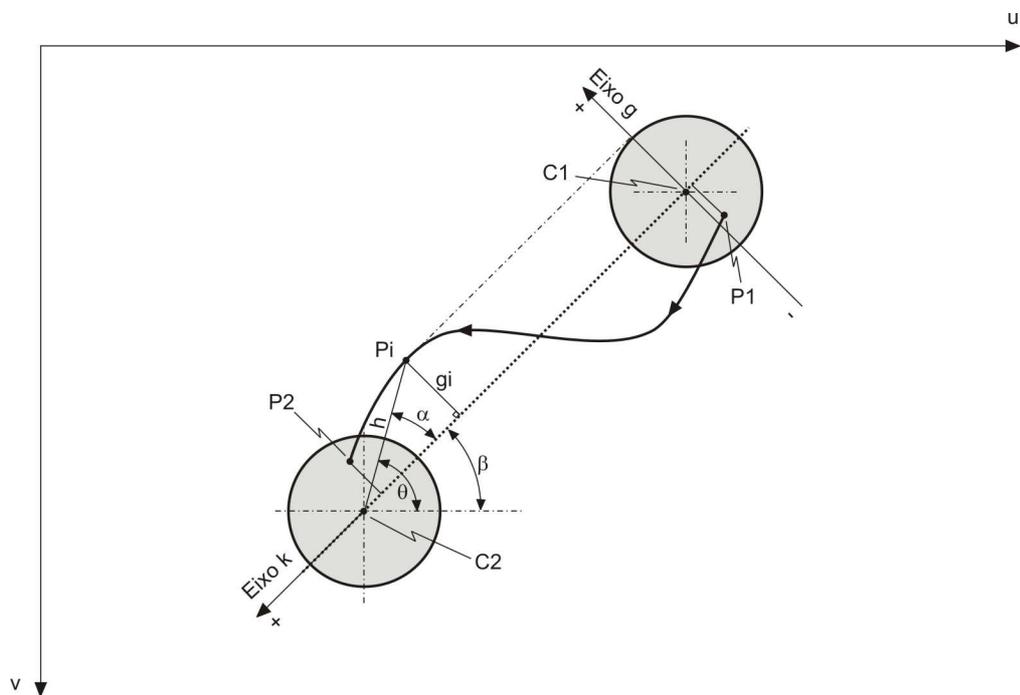


Figura 22- Representação do método para determinação das projeções (g_i) no eixo g dos pontos (P_i) pertencentes a trajetória entre os pontos de parada P1 e P2. As coordenadas de todos os pontos foram medidas em relação ao eixo u-v da tela do monitor.

$$g_i = \text{sen} \alpha \cdot h$$

$$h = \sqrt{(P_{i_u} - C_{2_u})^2 + (P_{i_v} - C_{2_v})^2}$$

$$\alpha = \theta - \beta$$

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{C_{1_v} - C_{2_v}}{C_{1_u} - C_{2_u}} \right) \quad \theta = \tan^{-1} \left(\frac{P_{i_v} - C_{2_v}}{P_{i_u} - C_{2_u}} \right)$$

Substituindo:

$$g_i = \text{sen} \left(\tan^{-1} \left(\frac{P_{i_v} - C_{2_v}}{P_{i_u} - C_{2_u}} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{C_{1_v} - C_{2_v}}{C_{1_u} - C_{2_u}} \right) \right) \cdot \sqrt{(P_{i_u} - C_{2_u})^2 + (P_{i_v} - C_{2_v})^2} \quad (16)$$

Onde:

g_i - Projeções no eixo g dos pontos P_i

P_i - Pontos pertencem a trajetória entre os pontos P_1 e P_2

h - Distância entre os pontos P_i e C_2

C_1 e C_2 - Centro dos objetos

β - Ângulo entre os pontos C_2 e C_1 (grau)

θ - Ângulo entre os pontos P_i e C_2 (grau)

α - Diferença entre os ângulos θ e β (grau)

O movimento médio (MO) foi definido como a média das projeções

(g_i):

$$MO = \frac{\sum_{i=1}^n g_i}{n} \quad (17)$$

Onde:

MO- Média das projeções (g_i) entre os pontos

g_i - Projeções no eixo g dos pontos P_i

n - Número de pontos

i -Posição do ponto P entre um a n .

A variabilidade no movimento (MV) foi definida como o desvio-padrão

amostral das projeções (g_i):

$$MV = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (g_i - MO)^2}{n - 1}} \quad (18)$$

Onde:

MV- Desvio padrão amostral das projeções (g_i)

g_i - Projeções no eixo g dos pontos P_i

MO- Média das projeções (g_i) entre os pontos

n - Número de pontos

i -Posição do ponto P entre um a n .

O erro no movimento (ME) foi definido como a média das projeções

(g_i), em módulo:

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^n |g_i|}{n} \quad (19)$$

Onde:

ME- Média das projeções (g_i) em módulo

g_i - Projeções no eixo g dos pontos P_i

n - Número de pontos

i -Posição do ponto P entre um a n .

4.3.2 Procedimento para aplicação dos testes

Os voluntários do grupo estudo ficaram sentados em cadeiras de rodas, posicionados à frente da mesa sobre a qual estava situado o computador, mantendo uma distância de 60 cm entre a sua cabeça e a tela do computador. O mesmo posicionamento foi feito para os voluntários do grupo controle, que ficaram sentados em cadeiras comuns, com encosto.

Os testes foram aplicados no mesmo dia para cada voluntário dos dois grupos estudados e duraram em torno de duas horas. Em 65 % dos voluntários, os testes foram aplicados em suas residências e, em 35 % dos voluntários, eles ocorreram no Laboratório de Biomecânica do Instituto de Ortopedia e Traumatologia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (IOT-HC-FMUSP).

Após a colocação do boné com o alvo na cabeça do voluntário, o programa do dispositivo apontador era acionado e o voluntário tinha o controle do cursor do sistema operacional. O voluntário foi informado sobre as principais funções do programa, com maior ênfase nos dois modos de controle, o absoluto e o relativo.

Os testes multidirecionais tinham índices de dificuldade de 2 bits e de 5 bits. Os tamanhos e as distâncias entre os objetos estão mostrados na tabela 5.

Tabela 5- Graus de dificuldade empregados nos testes multidirecionais.

Índice de Dificuldade ID (bits)	Diâmetro do objeto		Distância entre os objetos	
	(mm)	(pixel)	(mm)	(pixel)
2	11,87	50	35,62	150
5	4,75	20	147,25	620

Com o programa de avaliação funcional acionado, iniciou-se o treinamento que precedeu a seqüência dos testes. O voluntário era solicitado para desempenhar quatro testes multidirecionais, dois com o modo de controle absoluto e dois com o modo de controle relativo. O primeiro e o terceiro testes tinham um grau de dificuldade menor, de 2 bits (Figura 17), e o segundo e o quarto testes tinham um grau de dificuldade maior, de 5 bits (Figura 18). O treinamento durava em torno de dez minutos.

A seqüência de testes foi dividida em dois blocos, cada qual consistindo em 12 tentativas para os testes com índice de dificuldade igual a 2 bits e mais 12 tentativas para os testes com o índice de dificuldade igual a 5 bits, totalizando 24 testes por bloco.

Os dois blocos foram desempenhados pelos voluntários nos modos de controle absoluto e relativo. A seqüência de aplicação dos blocos foi definida aleatoriamente para cada voluntário. Foi permitida uma pausa de cinco minutos entre os blocos.

4.4 Tratamento estatístico

Foram calculados os parâmetros tempo de movimento (TM) em segundos, índice de desempenho médio (TPM) em bits/s, variabilidade no movimento (MV) em mm, erro no movimento (ME) em mm, movimento médio (MO) em mm e erro de reentrada no objeto (TRE), em cada uma das 12 tentativas para os modos de controle (absoluto e relativo) dos grupos estudados (estudo e controle).

O índice de desempenho médio foi calculado a partir da média dos dois valores de TP medidos com os índices de dificuldade de 2 bits e de 5 bits em cada tentativa e modo de controle (absoluto ou relativo).

Os parâmetros TM, MV, ME, MO e TRE, de cada voluntário, segundo as tentativas para os modos de controle absoluto e relativo, foram obtidos a partir das médias das 17 direções estudadas em cada teste multidirecional aplicado. Foram gerados gráficos polares com as médias dos parâmetros TM, MV e ME para cada direção segundo o grau de dificuldade, o grupo e o modo de controle.

Foi determinada, em todos os parâmetros, a diferença, em módulo (DIF), entre os valores medidos nos modos de controle absoluto e relativo, para cada indivíduo.

Foi calculada a média (M), mediana (MD), desvio padrão (DP), erro padrão da média (EPM), valor máximo (Max), valor mínimo (Min) e número de casos (N) dos parâmetros e das diferenças em módulo (DIF) de cada parâmetro, segundo as tentativas, os grupos e os modos de controle.

Os parâmetros foram comparados entre os grupos (estudo e controle), entre os modos de controle (absoluto e relativo) e entre as tentativas (1 a 12), através da Análise de Variância (ANOVA) para medidas repetidas com transformação por postos.

Foi considerado o nível de significância de 5% (valores de p menores que 0,05) e os valores significantes foram assinalados com asterisco.

5. RESULTADOS

5. RESULTADOS

As tabelas 6 a 16 representam o resumo estatístico dos parâmetros quantitativos, reunindo todas as tentativas, para cada grupo e condição de controle estudada.

As estatísticas descritivas dos parâmetros quantitativos calculados para cada tentativa, grupo e condição de controle estão representadas em anexo pelas tabelas 21 a 31.

Tabela 6- Estatística descritiva do parâmetro índice de desempenho médio (TPM), em bits/s, segundo os grupos, os modos de controle e as tentativas.

	Índice de desempenho médio [bits/s]					
	Controle			Estudo		
	ABS	REL	DIF	ABS	REL	DIF
M	0,72	0,62	0,12	0,75	0,68	0,11
MD	0,74	0,62	0,10	0,76	0,72	0,08
DP	0,09	0,09	0,08	0,12	0,16	0,09
EPM	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Min	0,46	0,43	0,00	0,46	0,34	0,00
Max	0,93	0,86	0,33	1,00	1,04	0,40
NT	120	120	120	120	120	120

ABS= Absoluto REL= Relativo DIF= Diferença entre absoluto e relativo
 M= Média MD= Mediana DP= Desvio Padrão EPM= Erro Padrão da Média
 Min= Mínimo Max= Máximo NT= Número de tentativas

Gráfico 1- Médias dos índices de desempenho médio (TPM), em bits/s, segundo as tentativas, os grupos e modos de controle.

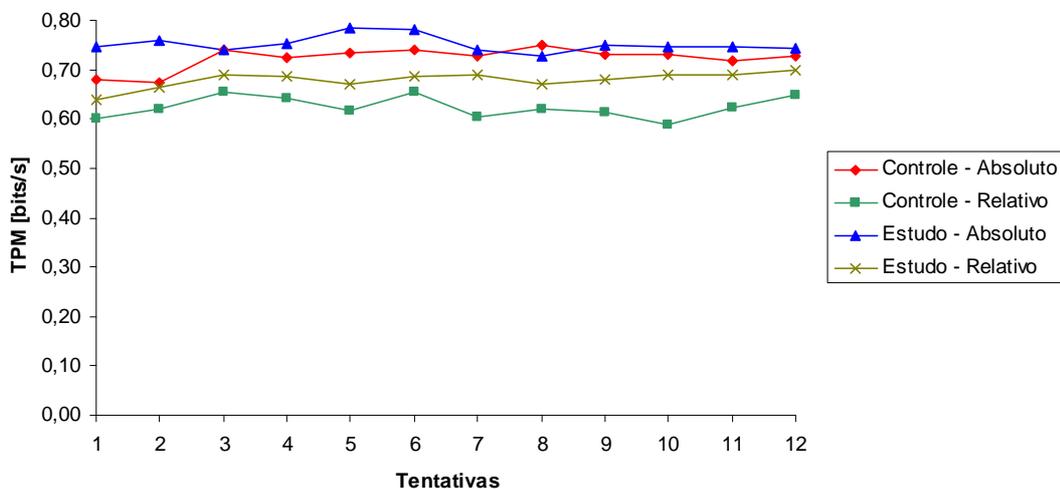


Tabela 7- Estatística descritiva do parâmetro tempo de movimento (TM), em segundos, para o grau de dificuldade 2 bits, segundo os grupos, os modos de controle e as tentativas.

	Tempo de movimento [segundos]					
	Controle			Estudo		
	ABS	REL	DIF	ABS	REL	DIF
M	3,13	3,36	0,49	3,02	3,29	0,52
MD	3,05	3,33	0,40	3,07	3,09	0,33
DP	0,45	0,41	0,38	0,44	0,79	0,53
EPM	0,04	0,04	0,03	0,04	0,07	0,05
Min	2,32	2,22	0,00	2,24	2,10	0,00
Max	4,35	4,21	1,64	4,11	6,01	2,35
NT	120	120	120	120	120	120

ABS= Absoluto REL= Relativo DIF= Diferença entre absoluto e relativo
M= Média MD= Mediana DP= Desvio Padrão EPM= Erro Padrão da Média
Min= Mínimo Max= Máximo NT= Número de tentativas

Gráfico 2- Médias dos tempos de movimento (TM), em segundos, para o grau de dificuldade 2 bits, segundo as tentativas, os grupos e seus respectivos modos de controle.

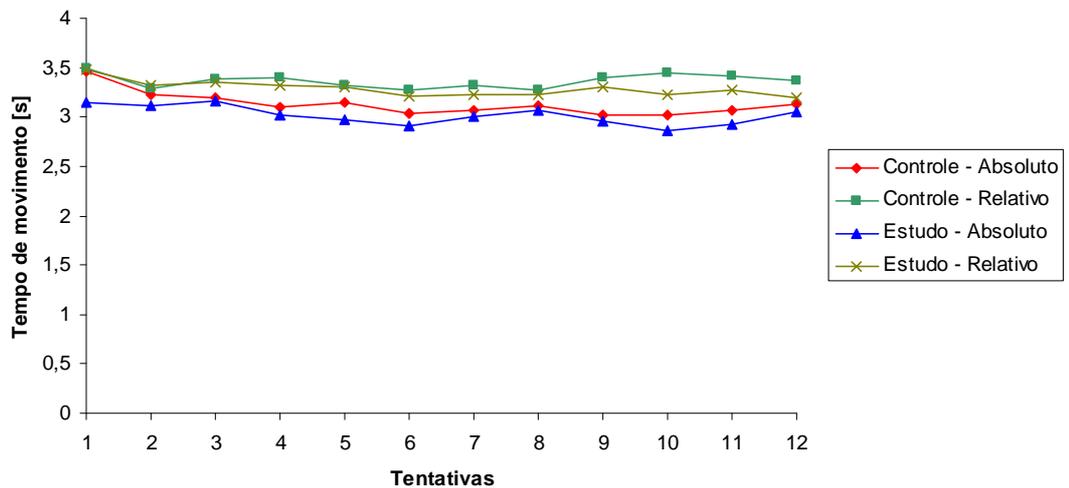


Tabela 8- Estatística descritiva do parâmetro tempo de movimento (TM), em segundos, para o grau de dificuldade 5 bits, segundo os grupos, os modos de controle e as tentativas.

	Tempo de movimento [segundos]					
	Controle			Estudo		
	ABS	REL	DIF	ABS	REL	DIF
M	6,11	7,51	1,52	5,77	7,09	1,36
MD	6,12	7,14	1,33	5,40	6,16	0,79
DP	0,82	1,19	1,02	1,12	2,22	1,46
EPM	0,07	0,11	0,09	0,10	0,20	0,13
Min	4,42	5,50	0,01	4,25	4,54	0,02
Max	9,80	10,24	4,37	9,80	14,88	7,20
NT	120	120	120	120	120	120

ABS= Absoluto REL= Relativo DIF= Diferença entre absoluto e relativo
 M= Média MD= Mediana DP= Desvio Padrão EPM= Erro Padrão da Média
 Min= Mínimo Max= Máximo NT= Número de tentativas

Gráfico 3- Médias dos tempos de movimento (TM), em segundos, para o grau de dificuldade 5 bits, segundo as tentativas, os grupos e seus respectivos modos de controle.

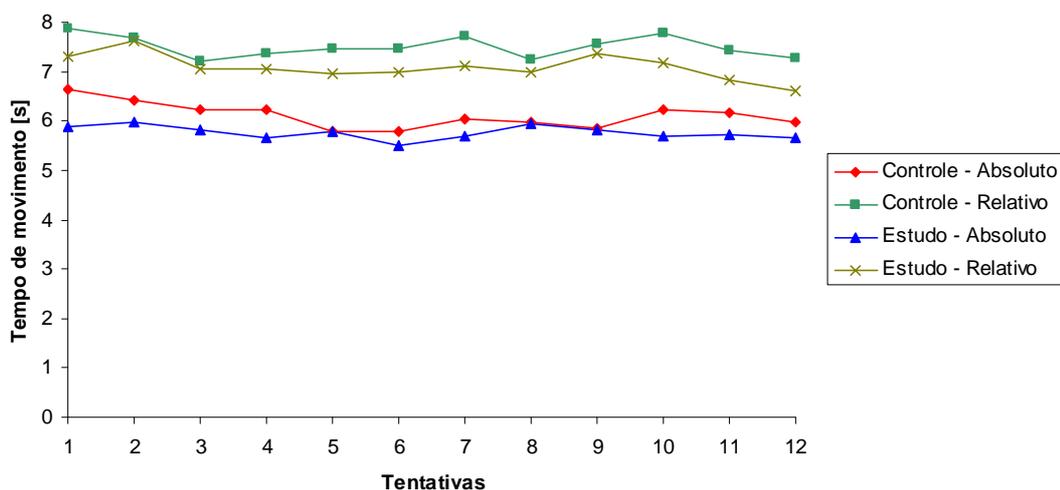


Tabela 9- Estatística descritiva do parâmetro variabilidade no movimento (MV), em milímetros, para o grau de dificuldade 2 bits, segundo os grupos, os modos de controle e as tentativas.

	Variabilidade no movimento [mm]					
	Controle			Estudo		
	ABS	REL	DIF	ABS	REL	DIF
M	1,56	1,82	0,40	1,66	1,95	0,40
MD	1,52	1,78	0,34	1,58	1,80	0,28
DP	0,34	0,33	0,31	0,44	0,66	0,41
EPM	0,03	0,03	0,03	0,04	0,06	0,04
Min	0,94	0,96	0,00	0,92	1,00	0,00
Max	2,67	2,77	1,25	2,79	4,06	2,45
NT	120	120	120	120	120	120

ABS= Absoluto REL= Relativo DIF= Diferença entre absoluto e relativo
 M= Média MD= Mediana DP= Desvio Padrão EPM= Erro Padrão da Média
 Min= Mínimo Max= Máximo NT= Número de tentativas

Gráfico 4- Médias das variabilidades no movimento (MV), em milímetros, para o grau de dificuldade 2 bits, segundo as tentativas, os grupos e seus respectivos modos de controle.

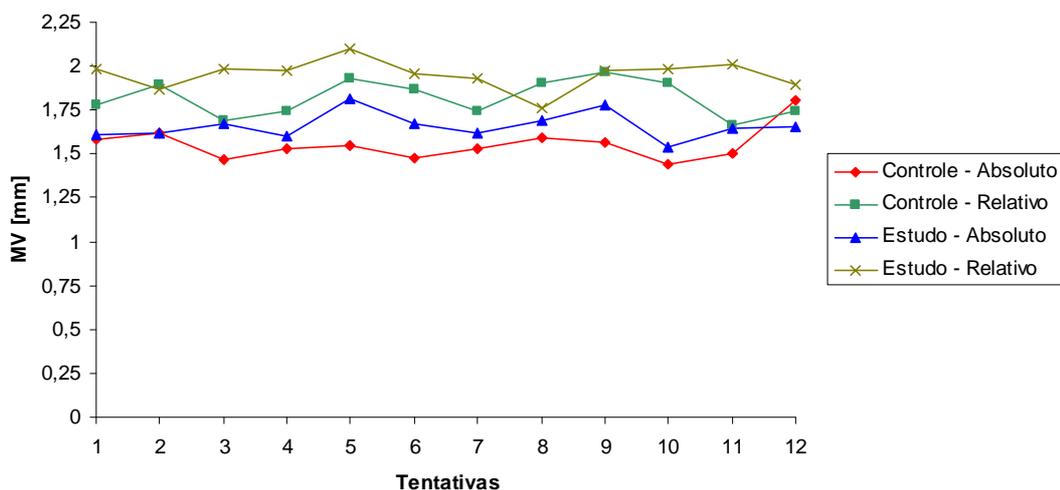


Tabela 10- Estatística descritiva do parâmetro variabilidade no movimento (MV), em milímetros, para o grau de dificuldade 5 bits, segundo os grupos, os modos de controle e as tentativas.

	Variabilidade no movimento [mm]					
	Controle			Estudo		
	ABS	REL	DIF	ABS	REL	DIF
M	2,99	3,47	0,76	3,15	3,64	0,69
MD	2,84	3,51	0,59	2,89	3,26	0,54
DP	0,83	0,69	0,60	0,93	1,30	0,68
EPM	0,08	0,06	0,05	0,08	0,12	0,06
Min	1,72	1,91	0,01	1,78	1,72	0,00
Max	6,22	5,21	2,49	6,58	8,51	3,86
NT	120	120	120	120	120	120

ABS= Absoluto REL= Relativo DIF= Diferença entre absoluto e relativo
 M= Média MD= Mediana DP= Desvio Padrão EPM= Erro Padrão da Média
 Min= Mínimo Max= Máximo NT= Número de tentativas

Gráfico 5- Médias das variabilidades no movimento (MV), em milímetros, para o grau de dificuldade 5 bits, segundo as tentativas, os grupos e seus respectivos modos de controle.

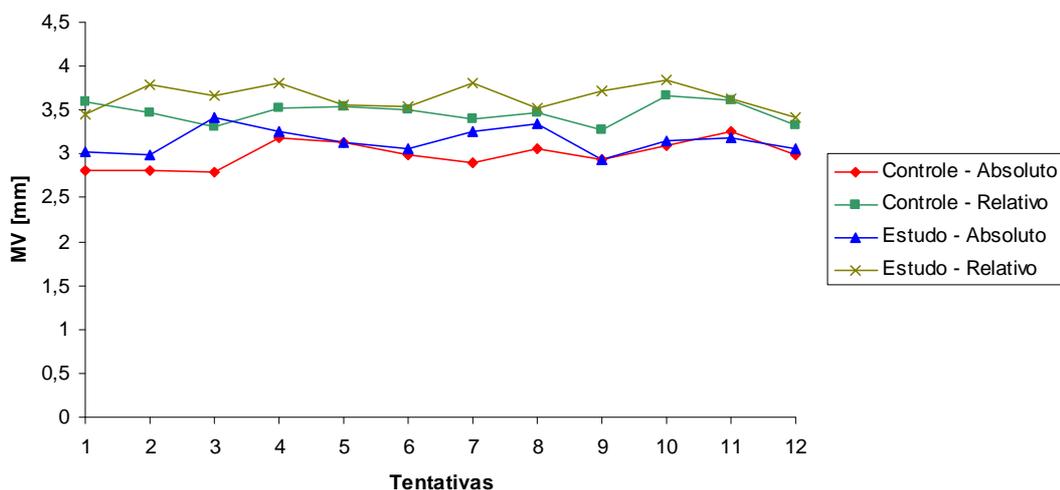


Tabela 11- Estatística descritiva do parâmetro erro no movimento (ME), em milímetros, para o grau de dificuldade 2 bits, segundo os grupos, os modos de controle e as tentativas.

	Erro no movimento [mm]					
	Controle			Estudo		
	ABS	REL	DIF	ABS	REL	DIF
M	2,00	2,27	0,47	2,20	2,45	0,40
MD	1,96	2,23	0,43	2,14	2,37	0,32
DP	0,43	0,42	0,34	0,42	0,50	0,35
EPM	0,04	0,04	0,03	0,04	0,05	0,03
Min	1,13	1,31	0,01	1,23	1,41	0,00
Max	3,57	3,44	1,46	3,23	3,90	1,95
NT	120	120	120	120	120	120

ABS= Absoluto REL= Relativo DIF= Diferença entre absoluto e relativo
 M= Média MD= Mediana DP= Desvio Padrão EPM= Erro Padrão da Média
 Min= Mínimo Max= Máximo NT= Número de tentativas

Gráfico 6- Médias dos erros no movimento (ME), em milímetros, para o grau de dificuldade 2 bits, segundo as tentativas, os grupos e seus respectivos modos de controle.

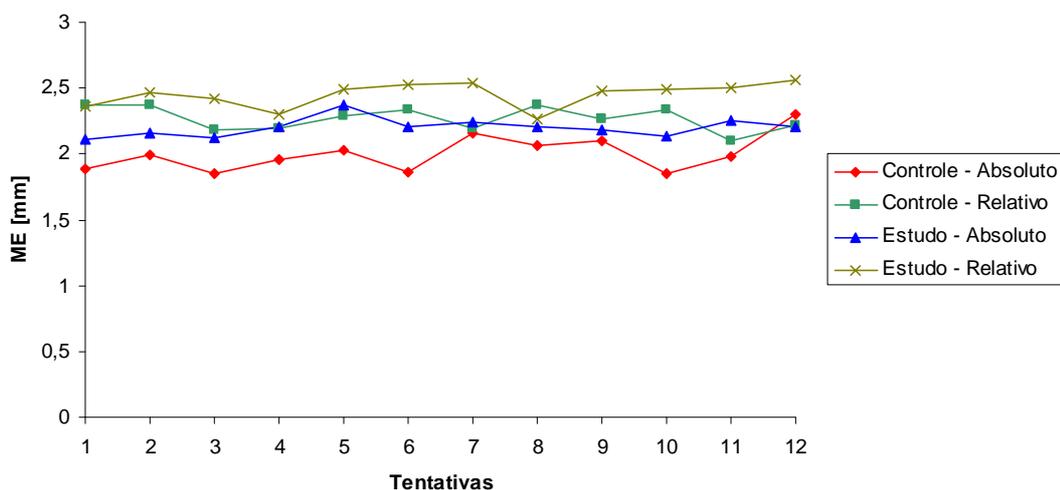


Tabela 12- Estatística descritiva do parâmetro erro no movimento (ME), em milímetros, para o grau de dificuldade 5 bits, segundo os grupos, os modos de controle e as tentativas.

	Erro no movimento [mm]					
	Controle			Estudo		
	ABS	REL	DIF	ABS	REL	DIF
M	2,93	3,32	0,74	3,00	3,32	0,54
MD	2,83	3,29	0,58	2,88	3,00	0,34
DP	0,77	0,63	0,62	0,80	1,05	0,53
EPM	0,07	0,06	0,06	0,07	0,10	0,05
Min	1,89	2,04	0,01	1,65	1,72	0,00
Max	6,19	5,03	2,87	5,49	7,13	2,79
NT	120	120	120	120	120	120

ABS= Absoluto REL= Relativo DIF= Diferença entre absoluto e relativo
 M= Média MD= Mediana DP= Desvio Padrão EPM= Erro Padrão da Média
 Min= Mínimo Max= Máximo NT= Número de tentativas

Gráfico 7- Médias dos erros no movimento (ME), em milímetros, para o grau de dificuldade 5 bits, segundo as tentativas, os grupos e seus respectivos modos de controle.

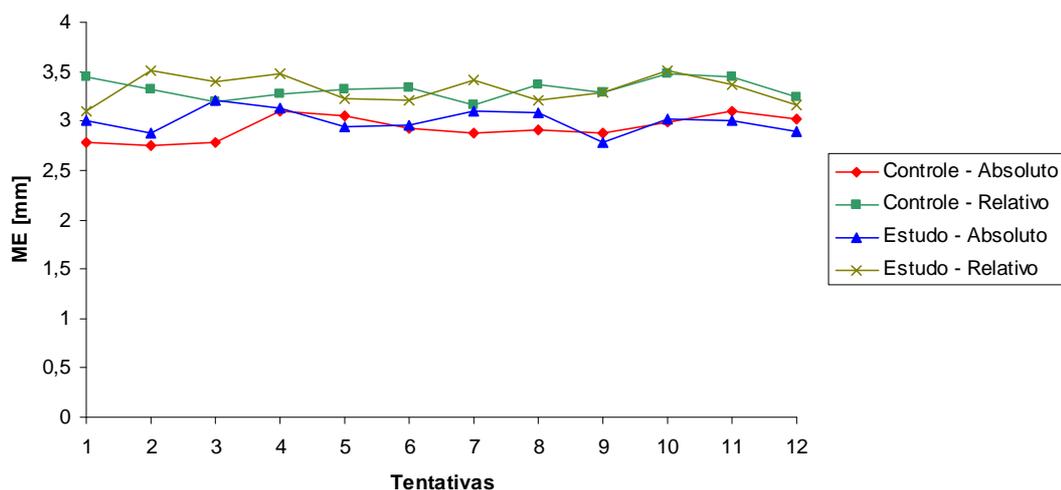


Tabela 13- Estatística descritiva do parâmetro movimento médio (MO), em milímetros, para o grau de dificuldade 2 bits, segundo os grupos, os modos de controle e as tentativas.

	Movimento médio [mm]					
	Controle			Estudo		
	ABS	REL	DIF	ABS	REL	DIF
M	0,00	-0,12	0,41	-0,20	-0,29	0,34
MD	0,00	-0,10	0,32	-0,21	-0,26	0,27
DP	0,34	0,43	0,31	0,36	0,36	0,28
EPM	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
Min	-1,20	-1,28	0,01	-1,02	-1,51	0,00
Max	0,79	1,14	1,51	0,93	0,52	1,49
NT	120	120	120	120	120	120

ABS= Absoluto REL= Relativo DIF= Diferença entre absoluto e relativo
M= Média MD= Mediana DP= Desvio Padrão EPM= Erro Padrão da Média
Min= Mínimo Max= Máximo NT= Número de tentativas

Gráfico 8- Médias dos movimentos médios (MO), em milímetros, para o grau de dificuldade 2 bits, segundo as tentativas, os grupos e seus respectivos modos de controle.

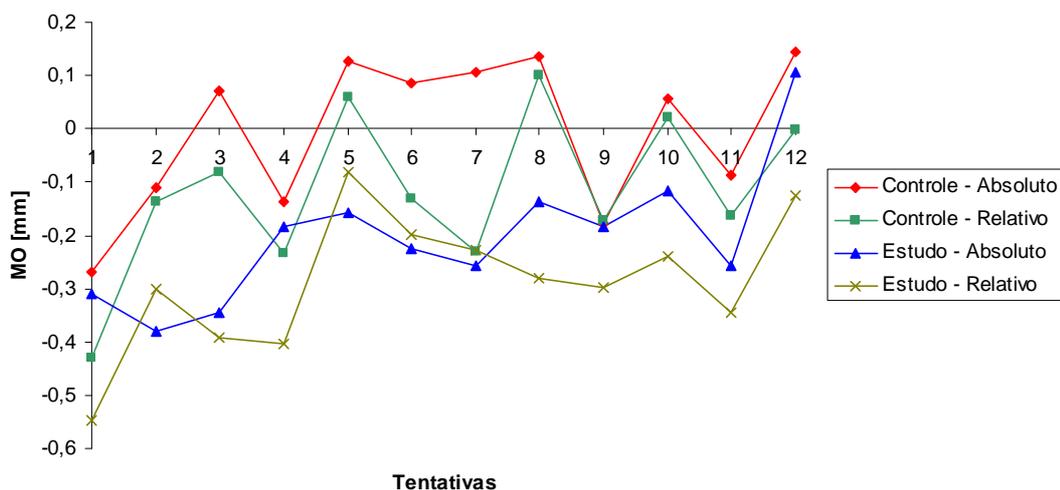


Tabela 14- Estatística descritiva do parâmetro movimento médio (MO), em milímetros, para o grau de dificuldade 5 bits, segundo os grupos, os modos de controle e as tentativas.

	Movimento médio [mm]					
	Controle			Estudo		
	ABS	REL	DIF	ABS	REL	DIF
M	0,37	0,01	0,72	-0,03	-0,31	0,73
MD	0,41	0,12	0,60	-0,08	-0,32	0,54
DP	0,67	0,86	0,62	0,70	0,73	0,64
EPM	0,06	0,08	0,06	0,06	0,07	0,06
Min	-1,61	-2,96	0,01	-2,42	-2,20	0,00
Max	2,19	2,25	2,88	2,84	1,70	3,27
NT	120	120	120	120	120	120

ABS= Absoluto REL= Relativo DIF= Diferença entre absoluto e relativo
M= Média MD= Mediana DP= Desvio Padrão EPM= Erro Padrão da Média
Min= Mínimo Max= Máximo NT= Número de tentativas

Gráfico 9- Médias dos movimentos médios (MO), em milímetros, para o grau de dificuldade 5 bits, segundo as tentativas, os grupos e seus respectivos modos de controle.

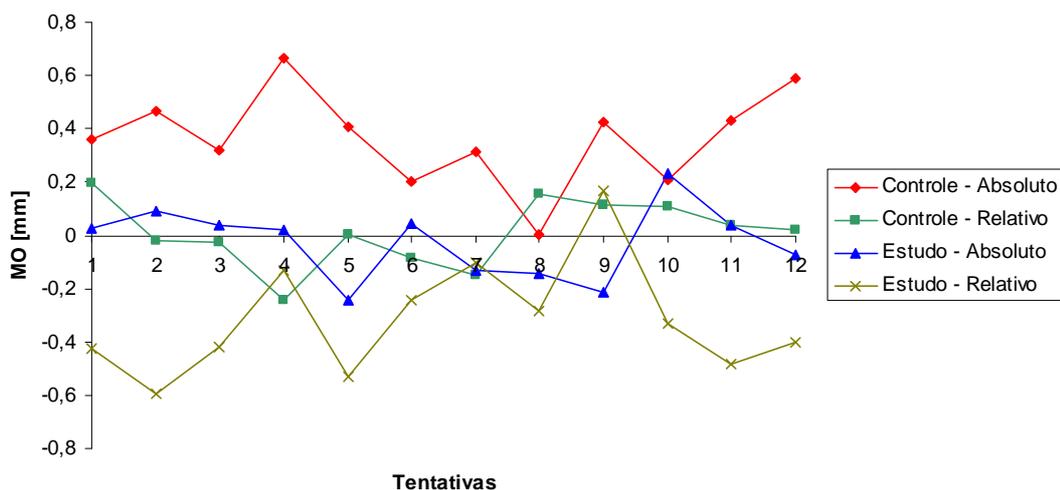


Tabela 15- Estatística descritiva do parâmetro erro de reentrada no objeto (TRE) para o grau de dificuldade 2 bits, segundo os grupos, os modos de controle e as tentativas.

	Erro de reentrada no objeto (TRE)					
	Controle			Estudo		
	ABS	REL	DIF	ABS	REL	DIF
M	0,05	0,16	0,14	0,11	0,19	0,13
MD	0,03	0,11	0,06	0,06	0,17	0,11
DP	0,07	0,16	0,14	0,13	0,18	0,14
EPM	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Max	0,28	0,61	0,61	0,67	0,72	0,61
NT	120	120	120	120	120	120

ABS= Absoluto REL= Relativo DIF= Diferença entre absoluto e relativo
 M= Média MD= Mediana DP= Desvio Padrão EPM= Erro Padrão da Média
 Min= Mínimo Max= Máximo NT= Número de tentativas

Gráfico 10- Médias dos erros de reentrada no objeto (TRE), para o grau de dificuldade 2 bits, segundo as tentativas, os grupos e seus respectivos modos de controle.

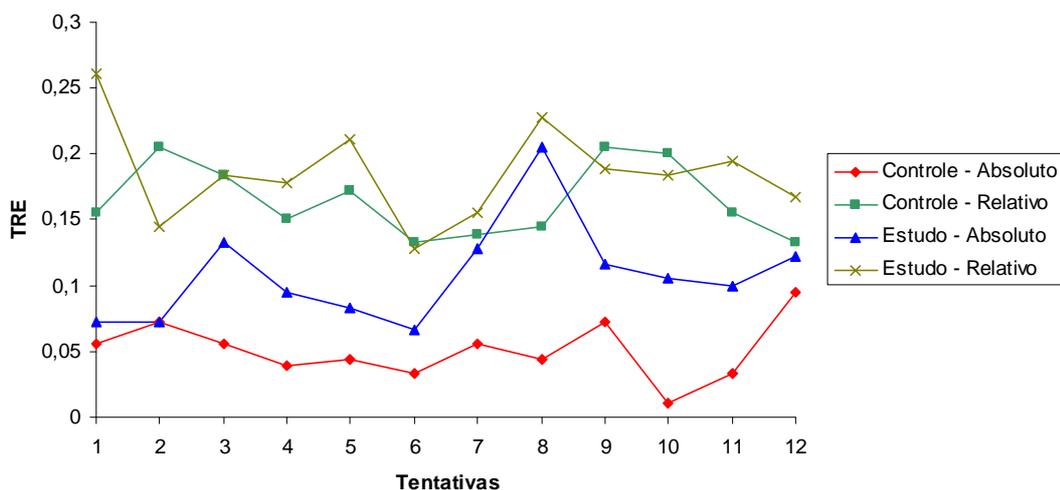
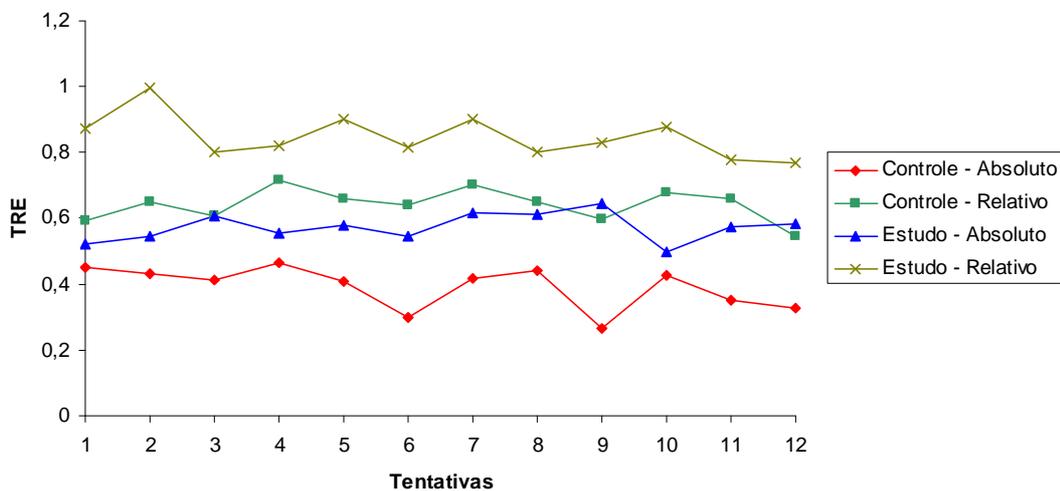


Tabela 16- Estatística descritiva do parâmetro erro de reentrada no objeto (TRE) para o grau de dificuldade 5 bits, segundo os grupos, os modos de controle e as tentativas.

	Erro de reentrada no objeto (TRE)					
	Controle			Estudo		
	ABS	REL	DIF	ABS	REL	DIF
M	0,39	0,64	0,30	0,57	0,85	0,33
MD	0,39	0,67	0,22	0,61	0,78	0,22
DP	0,24	0,26	0,22	0,24	0,37	0,30
EPM	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
Min	0,00	0,11	0,00	0,00	0,17	0,00
Max	1,11	1,28	0,83	1,11	1,94	1,39
NT	120	120	120	120	120	120

ABS= Absoluto REL= Relativo DIF= Diferença entre absoluto e relativo
 M= Média MD= Mediana DP= Desvio Padrão EPM= Erro Padrão da Média
 Min= Mínimo Max= Máximo NT= Número de tentativas

Gráfico 11- Médias dos erros de reentrada no objeto (TRE), para o grau de dificuldade 5 bits, segundo as tentativas, os grupos e seus respectivos modos de controle.



As comparações dos índices de desempenho médio (tabela 17) mostraram que somente houve diferença estatística significativa entre os modos de controle absoluto e relativo.

Tabela 17- Comparações dos índices de desempenho médio (TPM) segundo as interações dos fatores grupo, modo de controle e tentativa, pelo teste de análise de variância com transformação por postos.

Probabilidade					
Grupo	Modo	Tentativa	Grupo x Modo	Grupo x Tentativa	Modo x Tentativa
0,282	0,000*	0,135	0,235	0,346	0,428

Quanto às comparações dos parâmetros TM, TRE, MV, ME e MO para o grau de dificuldade de 2 bits (tabela 18), somente houve diferença estatística significativa entre os grupos controle e estudo para o parâmetro MO, houve diferença significativa entre os modos de controle absoluto e relativo para os parâmetros TRE, MV, ME e MO e houve diferença significativa entre as tentativas para os parâmetros TM e MO.

Em relação às comparações dos parâmetros TM, TRE, MV, ME e MO para o grau de dificuldade de 5 bits (tabela 19), não houve diferença estatística significativa entre os grupos controle e estudo para todos os parâmetros, houve diferença significativa entre os modos de controle absoluto e relativo para todos os parâmetros e houve diferença significativa entre as tentativas para o parâmetro TM.

Tabela 18- Comparações dos parâmetros TM, TRE, MV, ME e Mo para o grau de dificuldade de 2 bits, segundo as interações dos fatores grupo, modo de controle e tentativa, pelo teste de análise de variância com transformação por postos.

Parâmetro	Probabilidade					
	Grupo	Modo	Tentativa	Grupo x Modo	Grupo x Tentativa	Modo x Tentativa
TM	0,348	0,075	0,004* 1x6* ⁽¹⁾ 1x12* ⁽¹⁾	0,598	0,670	0,128
TRE	0,360	0,000*	0,256	0,134	0,080	0,220
MV	0,734	0,000*	0,219	0,156	0,351	0,430
ME	0,229	0,000*	0,283	0,577	0,742	0,311
MO	0,015*	0,015*	0,001* 1x5* ⁽¹⁾ 1x10* ⁽¹⁾ 1x12* ⁽¹⁾ 9x12* ⁽¹⁾	0,426	0,466	0,874

⁽¹⁾ Comparação entre as tentativas pelo teste de comparações múltiplas de Bonferroni

Tabela 19- Comparações dos parâmetros TM, TRE, MV, ME e Mo para o grau de dificuldade de 5 bits, segundo as interações dos fatores grupo, modo de controle e tentativa, pelo teste de análise de variância com transformação por postos.

Parâmetro	Probabilidade					
	Grupo	Modo	Tentativa	Grupo x Modo	Grupo x Tentativa	Modo x Tentativa
TM	0,150	0,000*	0,002* 1x3* ⁽¹⁾ 1x6* ⁽¹⁾ 2x3* ⁽¹⁾	0,425	0,410	0,214
TRE	0,067	0,000*	0,198	0,521	0,385	0,844
MV	0,934	0,001*	0,304	0,204	0,724	0,503
ME	0,832	0,000*	0,523	0,114	0,815	0,431
MO	0,066	0,004*	0,739	0,726	0,572	0,345

⁽¹⁾ Comparação entre as tentativas pelo teste de comparações múltiplas de Bonferroni

Gráfico 12- Médias entre a 1ª e 12ª tentativa do parâmetro tempo de movimento (TM) em função das direções estudadas para o grau de dificuldade 2 bits, segundo os grupos e seus respectivos modos de controle.

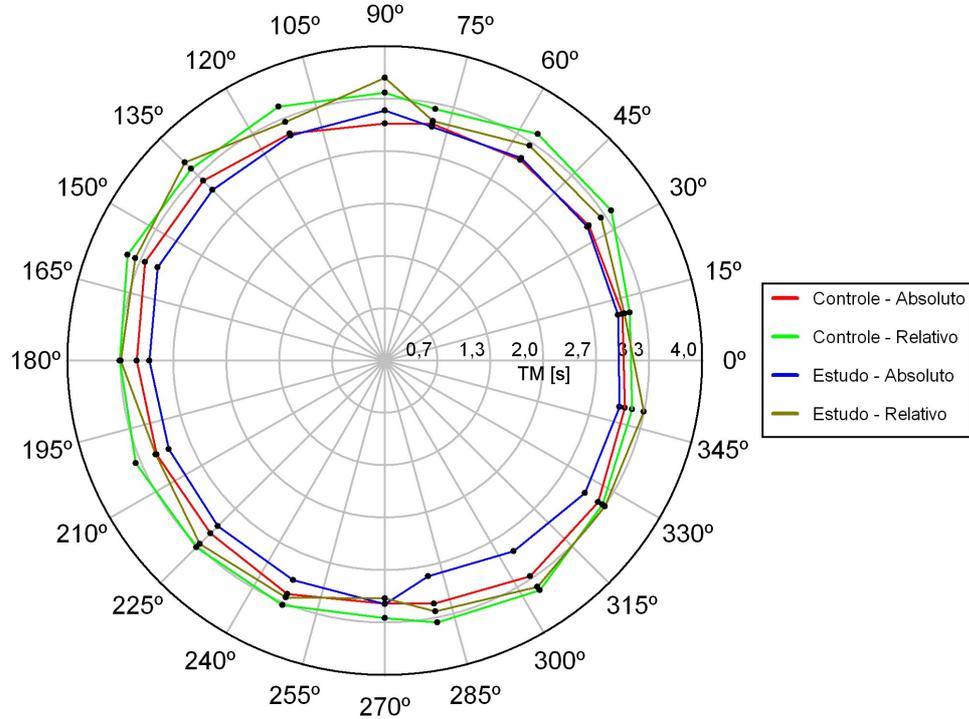


Gráfico 13- Médias entre a 1ª e 12ª tentativa do parâmetro tempo de movimento (TM) em função das direções estudadas para o grau de dificuldade 5 bits, segundo os grupos e seus respectivos modos de controle.

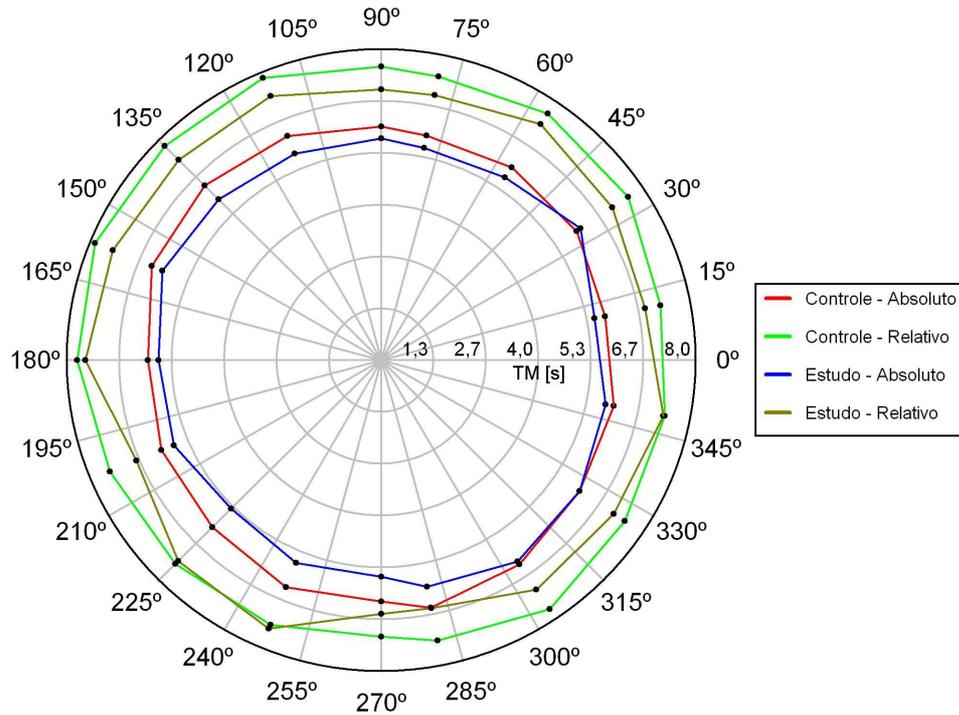


Gráfico 14- Médias entre a 1ª e 12ª tentativa do parâmetro variabilidade no movimento (MV) em função das direções estudadas para o grau de dificuldade 2 bits, segundo os grupos e seus respectivos modos de controle.

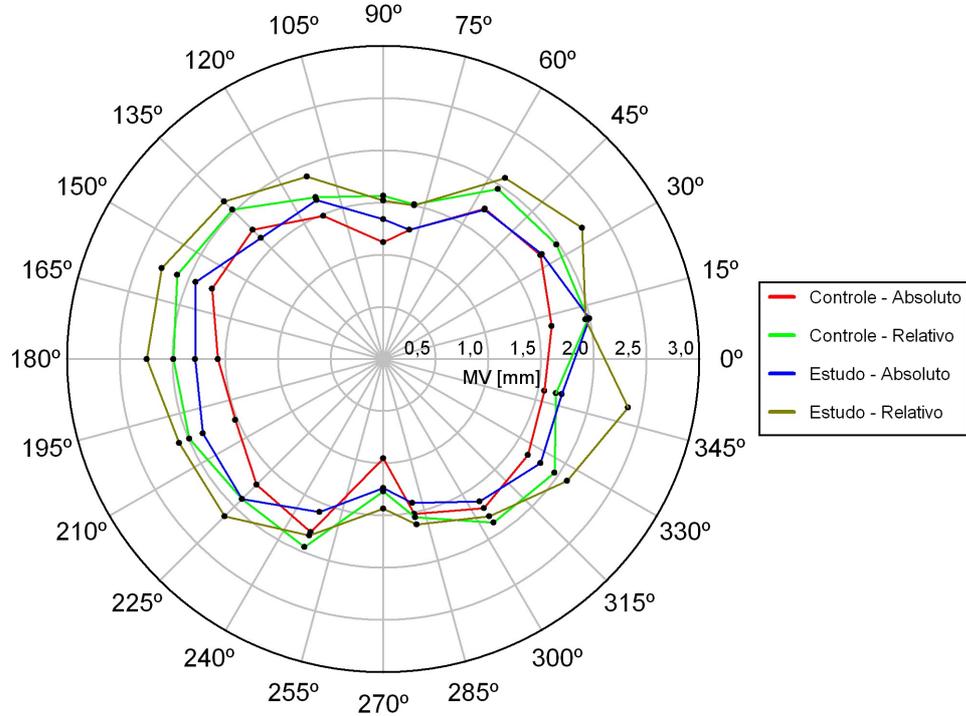


Gráfico 15- Médias entre a 1ª e 12ª tentativa do parâmetro variabilidade no movimento (MV) em função das direções estudadas para o grau de dificuldade 5 bits, segundo os grupos e seus respectivos modos de controle.

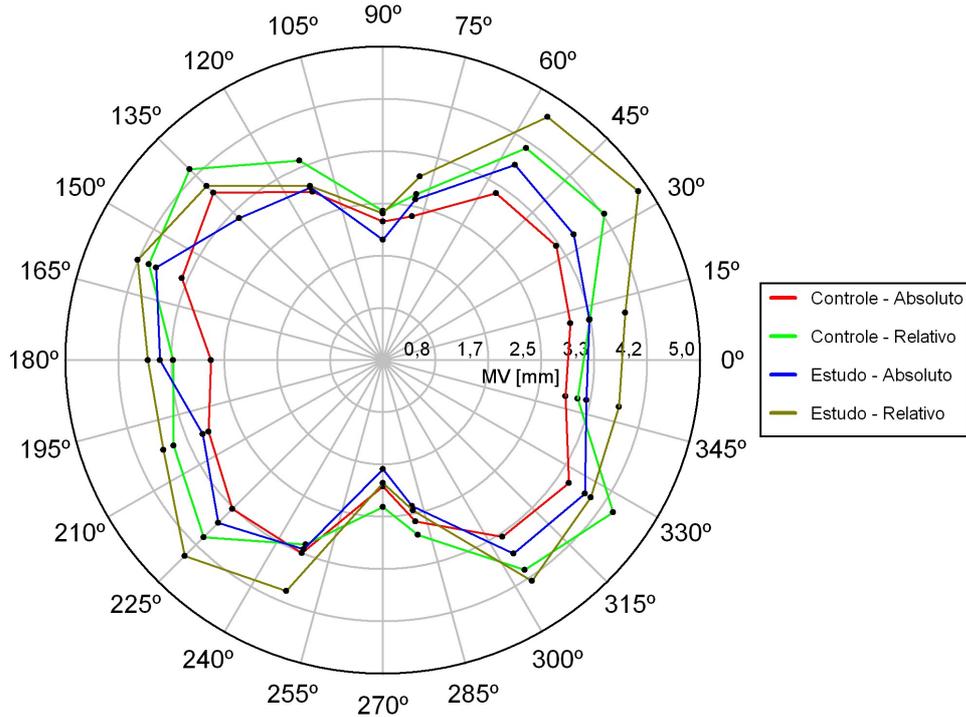


Gráfico 16- Médias entre a 1ª e 12ª tentativa do parâmetro erro no movimento (ME) em função das direções estudadas para o grau de dificuldade 2 bits, segundo os grupos e seus respectivos modos de controle.

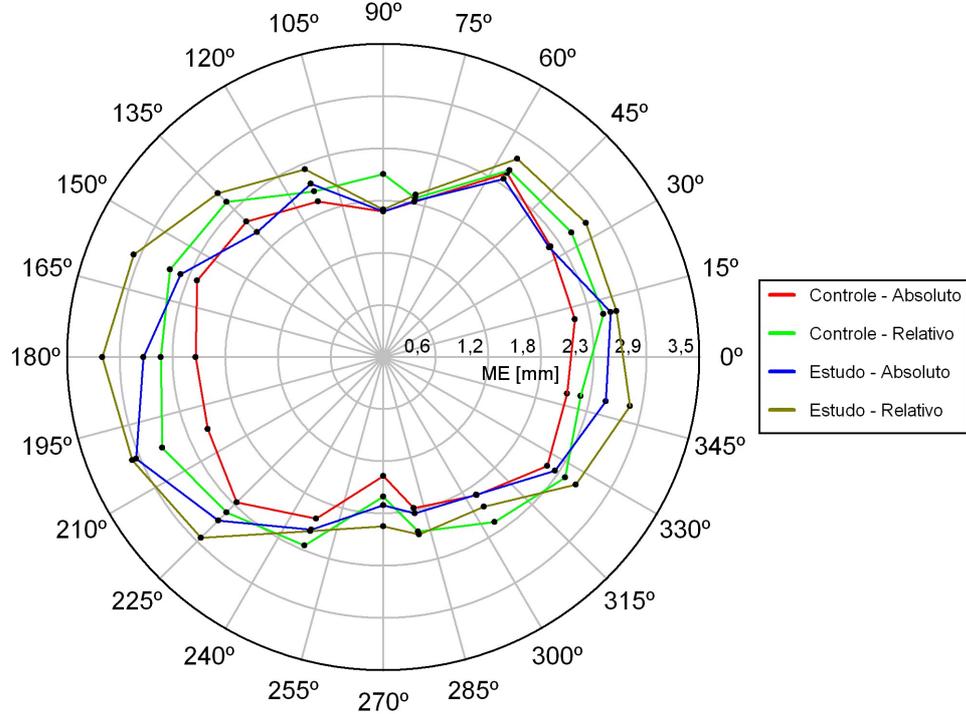
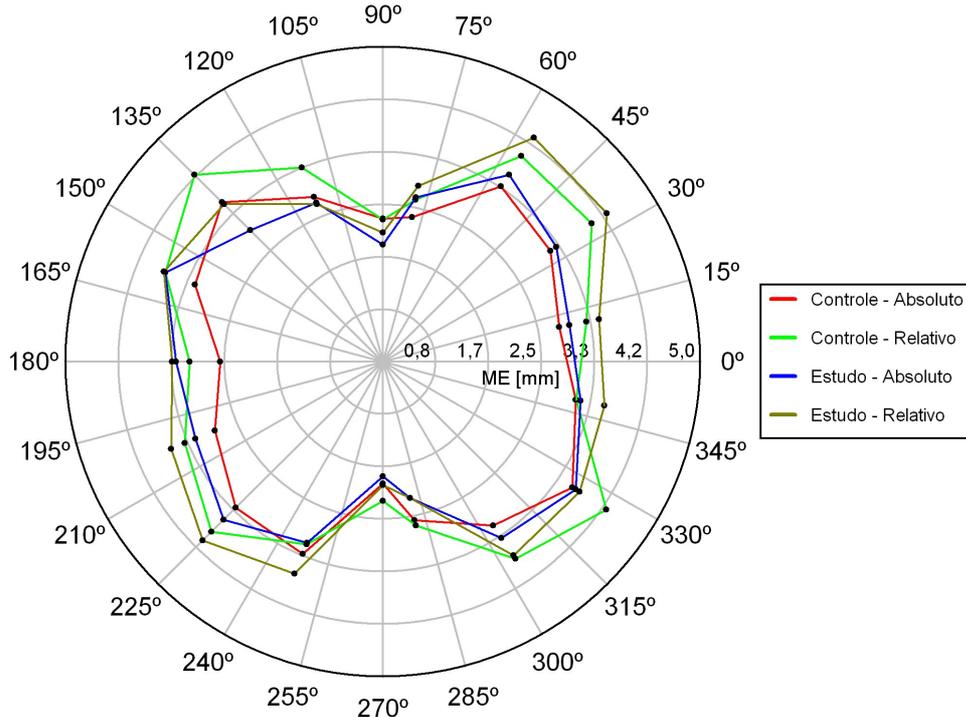


Gráfico 17- Médias entre a 1ª e 12ª tentativa do parâmetro erro no movimento (ME) em função das direções estudadas para o grau de dificuldade 5 bits, segundo os grupos e seus respectivos modos de controle.



6. DISCUSSÃO

6. Discussão

Durante o desenvolvimento do presente trabalho, foi possível coletar informações sobre uma grande variedade de dispositivos apontadores controlados pela cabeça. Muitos dispositivos encontrados na literatura são equipamentos experimentais que têm algum potencial para se tornarem produtos comerciais como, por exemplo, aqueles descritos nos trabalhos de Takami et al. (1996), Muller et al. (2001), Chen (2001), Kim e Cho (2002), Nunoshita e Ebisawa (2002), Dias et al. (2003), Graveleau et al. (2005), Morris e Chauhan (2006), Lin et al. (2006) e Eom et al. (2007).

Outros autores, como Almeida et al. (2003 e 2004), sugerem, nos seus trabalhos, que sejam feitas adaptações em um mouse convencional para se obter um dispositivo controlado pela cabeça.

Quanto aos dispositivos disponíveis comercialmente, todos os produtos são produzidos em outros países e a maioria não tem representação comercial no Brasil. Os custos desses dispositivos são incompatíveis com as condições financeiras de muitos brasileiros com deficiências físicas (Greve et al., 2001). Por exemplo, o dispositivo mais barato, conhecido como SmartNav[®], da Natural Point[®], custa US\$ 499,00 e os mais caros, como o Headmouse[®] Extreme, da Origin Instruments[®], e o Tracker[®] Pro, da Madentec[®], custam US\$995,00 e US\$1545,00, respectivamente.

Também existem programas gratuitos, disponíveis na Internet, que funcionam em conjunto com uma câmera de vídeo. Esses programas acessam a câmera de vídeo do usuário, como por exemplo, uma “webcam”, e, a partir do processamento digital das imagens provenientes dela, identificam regiões específicas do rosto, com o intuito de controlar o deslocamento do cursor do computador. São exemplos desse tipo de programa: Headdev distribuído pela Fundação Vodafone® da Espanha, Headmouse2 da Universidade de Lleida, na Espanha, HeadTracker da IBM®, CameraMouse e HeadMouse ver.1.3, da Universidade Eötvös Loránd da Hungria.

As vantagens e desvantagens dos programas supracitados, em relação aos dispositivos comerciais, não estão bem definidas, sendo necessários mais estudos comparativos e de avaliação funcional do uso desses programas por pessoas com deficiências. A literatura é escassa sobre esse tema, mas podemos ressaltar o trabalho de Betke et al. (2002), que desenvolveu e avaliou o programa CameraMouse, operado por pessoas normais e por pessoas com paralisia cerebral.

6.1. Caracterização da casuística e metodologia

O grupo estudo foi composto somente por indivíduos com lesão medular e com uma grande incidência de acometimento nos níveis C4 e C3 (tabela 3), estando as inervações dos músculos esternocleidomostóideo, trapézio superior e elevador da escápula, preservadas, permitindo o controle motor cefálico (Greve et al., 2001). O grupo, sendo mais homogêneo,

permitiu uma melhor padronização e, conseqüentemente, uma menor variação interna, ao contrário, por exemplo, de um grupo de indivíduos com outras doenças, como paralisia cerebral, doenças degenerativas do sistema nervoso ou vítimas de acidente vascular cerebral.

Todos os indivíduos do grupo estudo eram reabilitados funcionalmente e tinham um tempo de lesão raquimedular que variou de 3,3 a 21 anos (tabela 4). O fato de todos já terem passado a fase aguda do tratamento clínico e psicológico foi essencial para o correto entendimento, por parte deles, das possibilidades do uso do dispositivo proposto, sem grandes interferências de caráter emotivo. Durante a fase inicial do trabalho, nós tivemos a experiência de contatar alguns pacientes internados nas enfermarias do IOT-HC-FMUSP e observamos que o fator psicológico era mais preponderante do que qualquer interesse em utilizar um dispositivo apontador.

O propósito secundário de comparar o uso do dispositivo apontador entre indivíduos dos grupos controle e estudo foi o de verificar se o controle motor da cabeça das pessoas com lesão medular era semelhante ao controle motor dos indivíduos do grupo controle ou se, devido à lesão, os tetraplégicos desenvolveram um controle motor mais aprimorado que as pessoas normais.

Com o advento de computadores e periféricos mais rápidos e baratos e que incluem uma câmera de vídeo tipo “webcam”, está sendo possível o uso de programas que acessam e processam, em tempo real, imagens

provenientes de câmeras de vídeo, com o objetivo de emular as funções de um mouse convencional.

A câmera utilizada no presente trabalho custou em torno de R\$80,00, sendo somente 20 a 30 reais mais cara que outras câmeras que não utilizam LEDs infravermelhos.

O programa do dispositivo desenvolvido tinha a opção de localizar alvos com diferentes cores, como por exemplo, branca, azul ou amarela, porém, a cor utilizada nos testes foi a cor branca. O uso da câmera com LEDs infravermelhos, juntamente com o filtro colocado na lente da câmera (Figura 2), permitiu um melhor contraste do alvo em relação ao ambiente localizado atrás do usuário, do que o que seria conseguido com o uso de alvos de outras cores. Esses casos não necessitariam do uso de luz infravermelha, porém, o programa utilizaria mais tempo para processar e identificar o alvo entre os possíveis objetos presentes na imagem.

O nível de exposição à radiação infravermelha foi levado em consideração durante a escolha da câmera de vídeo empregada no presente trabalho. Segundo Devereoux e Smalley (1995), o limite de exposição à radiação infravermelha com comprimento de onda entre 770 nm a 3000 nm, na região da retina, é de 10 mW.cm^{-2} para tempos de exposição maiores que 16,7 minutos.

O nível de exposição ou irradiância expressa a distribuição da potência luminosa incidente em uma superfície, medida em W.m^{-2} . A medida da potência luminosa, em cada LED da câmera de vídeo, foi feita através de

um medidor de potência óptica marca Coherent®, modelo Fieldmax. A potência luminosa total, incluindo os seis LEDs, ficou em torno de 13,5 mW.

Para efetuar o cálculo estimado da irradiância, primeiramente foi feita a medição da área iluminada de uma superfície plana colocada a 60 cm da fonte luminosa (LEDs da câmera). Essa medida foi feita a partir da própria imagem da câmera de vídeo e a área encontrada foi em torno de 2 cm². A irradiância foi calculada pela divisão da potência luminosa, de 13,5 mW, pela área de 2 cm², o que resultou no valor de 6,75 mW.cm⁻², que está abaixo do limite de 10 mW.cm⁻² citado por Devereoux e Smalley (1995).

Foi adotada a resolução de 320 x 240 pixels para as imagens da câmera de vídeo, como nos trabalhos de Betke et al. (2002), Dias et al (2003), Graveleau et al (2005) e Morris e Chauhan (2006). A maioria dos programas gratuitos de reconhecimento de face citados anteriormente funciona somente em resoluções iguais ou inferiores a 320 x 240 pixels. Porém, o dispositivo por nós desenvolvido foi testado em resoluções de até 800 x 600 pixels e funcionou adequadamente, sem diminuições significativas no desempenho do computador.

A escolha do posicionamento do alvo na aba do boné, ao invés de colocá-lo na testa do usuário, como descrito no trabalho de Dias et al. (2003), foi baseada nas opiniões de vários voluntários, que preferiram utilizar o boné do que uma faixa elástica presa à testa. Outra razão importante está relacionada com o fato de que, para pequenos deslocamentos angulares da cabeça, o deslocamento detectado na câmera de vídeo é maior para o alvo

preso à aba do boné do que para o mesmo preso à testa. Ou seja, o uso do boné aumenta a sensibilidade do sistema para os movimentos da cabeça.

Segundo Lin et al. (1992) e Schaab et al. (1996), o ganho ótimo para o controle do dispositivo apontador ultra-sônico HeadMaster, modelo VCS 2000, para minimizar o tempo de movimento, foi entre 3,7 mm/grau e 7,4 mm/grau. O ganho horizontal adotado no presente estudo foi de 7,4 mm/grau e 10,4 mm/grau para o ganho vertical. A relação entre os ganhos vertical e horizontal ficou em conformidade com o trabalho de Silva et al. (2003), que utilizou o quociente de 1,4. Silva et al. (2003) justificaram que o uso de tal relação estava baseado no fato de que a execução do movimento de flexo-extensão necessitava de mais esforço que a do movimento de rotação da cabeça.

Baseado nas configurações utilizadas nesse trabalho, como distância de 60 cm entre câmera de vídeo e a cabeça do usuário e o uso de uma tela do computador de 14,1 polegadas com resolução de 1280 x 800 pixels, foi possível estimar uma amplitude de 20° de rotação da cabeça em relação à posição neutra, para deslocar o cursor a uma distância referente à metade da largura da tela. A amplitude estimada de flexão ou extensão para deslocar o cursor a uma distância referente à metade da altura da tela foi de aproximadamente 9°.

É importante ressaltar que dispositivos apontadores comerciais que utilizam câmera de vídeo para o seu funcionamento não são sensíveis para detectar, separadamente, os movimentos de rotação e de translação da cabeça. Isso se deve ao fato de que, para determinar os dois tipos de

movimento (angular e linear) da cabeça, seria necessário o uso de dois ou mais alvos presos à cabeça. Como o sistema proposto utiliza somente um alvo, movimentos da cabeça para cima, para baixo, para esquerda ou para direita são processados como um suposto movimento de flexo-extensão ou de rotação da cabeça.

Apesar dessa limitação, as rotações da cabeça são, normalmente, maiores que as possíveis translações da cabeça, principalmente, se a aplicação desse tipo de dispositivo for em pessoas com tetraplegia, que não têm o controle motor do tronco, minimizando deste modo, os movimentos indesejados da cabeça.

Devido à necessidade de uma pequena amplitude de movimento da cabeça (máximo de 20 graus) durante o uso do dispositivo apontador, observamos que os movimentos de rotação e flexo-extensão da cabeça dos usuários ocorreram na região da coluna cervical superior (ou alta), o que implicou em menores translações da cabeça. Segundo Kapanji (1980), os movimentos ativos de flexo-extensão e de rotação, entre C1 e C2, correspondem a 30° e 24°, respectivamente.

Como não foi possível determinar tridimensionalmente os movimentos reais da cabeça dos usuários utilizando o dispositivo apontador, empregou-se um dispositivo de simulação do movimento de rotação da cabeça para determinar o ângulo estimado da “cabeça”, a partir da análise da posição do alvo na imagem adquirida pela câmera de vídeo. A mesma relação encontrada nos procedimentos de simulação foi utilizada para o cálculo do ângulo de flexão ou extensão da “cabeça”.

Quanto ao modo de controle do deslocamento do cursor, o dispositivo apontador dispunha do modo absoluto e do modo relativo. A maioria dos trabalhos da literatura descreve dispositivos apontadores com o controle no modo absoluto. Contudo, Evans et al. (2000), Kim e Cho (2002), LoPresti et al. (2002) e Mauri et al. (2006) descreveram o funcionamento de dispositivos apontadores com os dois tipos de controle. Evans et al. (2000) e Kim e Cho (2002) reportaram que foi mais fácil o uso dos dispositivos estudados no modo de controle relativo, porém, esses autores não fizeram uma avaliação funcional quantitativa para estudar, objetivamente, se existiram ou não diferenças entre os modos de controle.

LoPresti et al. (2002) foram os únicos autores que fizeram uma avaliação funcional quantitativa com o objetivo de comparar o efeito dos tipos de modo de controle (absoluto ou relativo) de um dispositivo apontador controlado pela cabeça. Este foi operado por 22 pessoas sem deficiências e três pessoas com esclerose múltipla. O modo de controle relativo proposto por eles permitia somente o deslocamento do cursor em oito direções pré-definidas, enquanto que o nosso controle relativo permitia o deslocamento em todas as direções.

As seleções dos objetos circulares, durante a aplicação do teste multidirecional, eram feitas quando o cursor permanecia parado por 0,5 s dentro do objeto, como descrito nos trabalhos de Radwin et al. (1990), Lin et al. (1992), Shaab et al. (1996), LoPresti et al. (2002) e LoPresti e Brienza (2004). As emulações do clique do mouse descritas no programa do

dispositivo apontador não foram utilizadas porque o objetivo deste trabalho foi somente avaliar o controle do deslocamento do cursor do computador.

Soukoref e Mackenzie (2004) fizeram uma revisão da literatura sobre trabalhos que avaliaram dispositivos apontadores controlados pelas mãos, com metodologias baseadas nos conceitos da lei de Fitts. Eles enfatizaram a importância na normalização das metodologias, utilizando a norma ISO 9241-9 com o objetivo de melhorar a qualidade e permitir a comparação entre os trabalhos que envolvam IHC.

Em relação aos trabalhos que avaliaram dispositivos apontadores controlados pela cabeça, somente Silva et al. (2003) e Man e Wong (2007) utilizaram a norma ISO-9241-9 em suas metodologias. Outros trabalhos, como os de Radwin et al. (1990), Lin et al. (1992), Shaab et al. (1996) e LoPresti et al. (2002), apesar de terem utilizados os conceitos da Lei de Fitts como, por exemplo, o uso de testes multidirecionais, eles não fizeram o ajuste do índice de dificuldade teórico para o índice de dificuldade efetivo. Esse ajuste é imprescindível para assegurar que os testes aplicados reflitam o desempenho dos usuários durante uma seqüência de repetições dos testes. Ou seja, o índice de dificuldade teórico representa a condição de teste que se espera que o usuário desempenhe e o índice de dificuldade efetivo representa a medida real do desempenho do usuário.

Segundo a norma ISO 9241-9, os testes multidirecionais deveriam ser aplicados com diferentes graus de dificuldade, que abrangessem as expectativas de uso do dispositivo estudado. Nós optamos por dois graus de dificuldade que representassem, pelo menos, os tamanhos dos elementos

gráficos mais comuns do ambiente do sistema operacional. Assim, os diâmetros dos objetos (Tabela 5) utilizados nos testes multidirecionais tiveram o tamanho aproximado de 12 mm, para índice de dificuldade igual a 2 bits, que é semelhante ao tamanho de elementos gráficos como botões, ícones do papel de parede do Windows® e outros elementos com tamanho médio. E, para o índice de dificuldade igual a 5 bits, eles tinham dimensões semelhantes ao tamanho dos elementos gráficos pequenos, como caracteres de texto, botões gráficos de uma barra de ferramenta, “Combobox” e “Radiogroup”.

O índice de desempenho, descrito na norma ISO 9241-9, é um parâmetro que representa a velocidade e precisão do usuário operando um dispositivo apontador. Ele é bastante aplicado para ser comparado o desempenho de dispositivos apontadores. Mackenzie et al. (2001) propuseram outras medidas de precisão que avaliam outros aspectos da interação entre usuário e dispositivo. Essas medidas estão relacionadas com a trajetória do cursor entre dois objetos. A menor distância entre os objetos produziria uma trajetória retilínea, porém, na prática, isso acontece raramente. Muitas variações ocorrem na trajetória percorrida e estas dependem do dispositivo, das tarefas executadas e de outros fatores. O propósito dessas medidas é ajudar na caracterização de possíveis problemas de controle, como no presente trabalho, estudar os efeitos do controle absoluto ou relativo no desempenho do dispositivo apontador.

Dentre as sete medidas de precisão propostas por Mackenzie et al. (2001), nós optamos por utilizar as medidas erro de reentrada no objeto

(TRE), variabilidade no movimento (MV), erro no movimento (ME) e movimento médio (MO). As três últimas medidas citadas, utilizadas em conjunto, podem descrever comportamentos distintos de uma trajetória estudada, como ilustrado na figura 23.

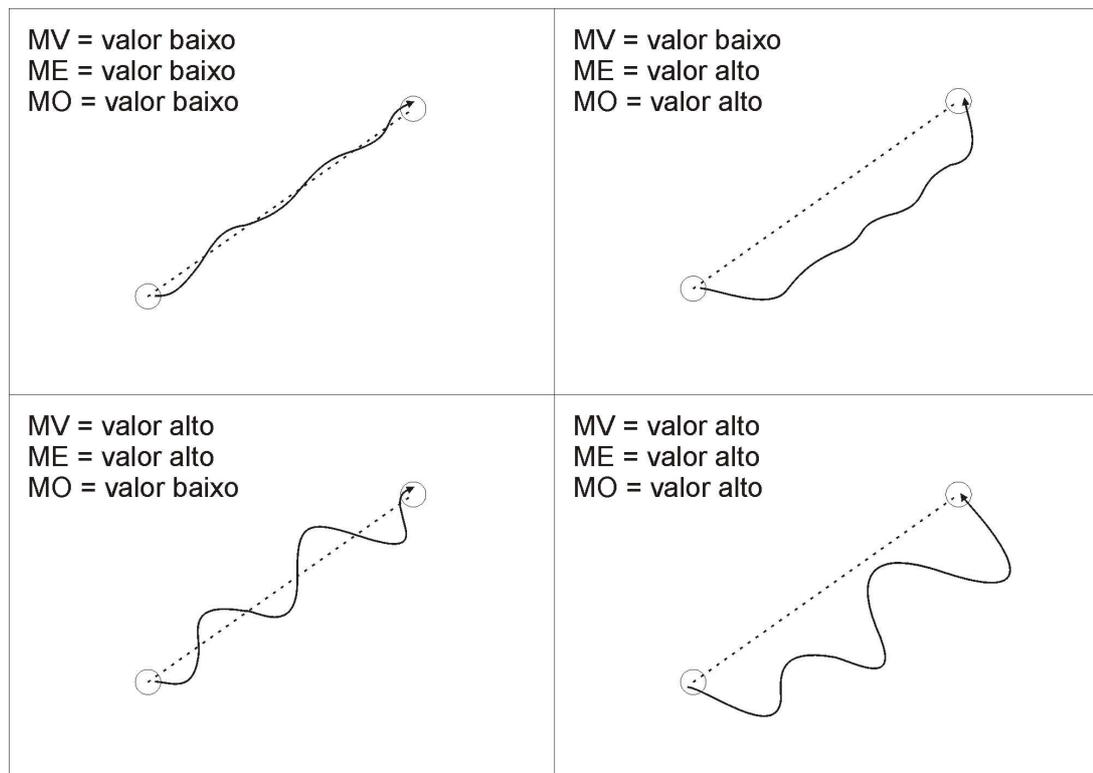


Figura 23- Esquema hipotético de quatro trajetórias distintas entre os dois objetos. Mostrando as possíveis diferenças entre as medidas de precisão: variabilidade no movimento (MV), erro no movimento (ME) e movimento médio (MO). A linha pontilhada representa a menor distância entre os objetos.

Em uma trajetória quase retilínea em torno da linha de menor distância entre os dois objetos, os parâmetros MV, ME e MO têm valores baixos, porém, em uma trajetória com grandes variações em torno da linha de menor distância, MO também tem valor baixo, contudo MV e ME têm valores maiores.

Se o parâmetro MO for diferente de zero, ele representa a tendência do cursor percorrer um caminho mais à “esquerda” ou mais à “direita”, em relação à trajetória de distância mínima, na direção do movimento.

6.2. Resultados obtidos

A maioria dos parâmetros estudados apresentou diferença significativa entre as situações de controle absoluto e relativo, para os indivíduos do grupo controle e estudo, com exceção do tempo de movimento (TM) para o grau de dificuldade igual a 2 bits.

O índice de desempenho médio (TPM), para o comando no modo relativo, teve uma diminuição significativa em relação ao modo de controle absoluto ($p=0,000$, tabela 17). A diferença média foi de 0,12 bits/s, para o grupo controle e de 0,11 bits/s, para o grupo estudo (tabela 6).

LoPresti et al. (2002), apesar de terem estudado os efeitos dos modos de controle no uso de um dispositivo apontador controlado pela cabeça, eles encontraram diferenças significativas entre os índices de desempenho medidos no dispositivo com ajuste padrão e os índices de desempenho tanto para o controle com ganho diferencial (semelhante ao nosso controle absoluto) quanto para o controle tipo “joystick” (semelhante com o nosso controle relativo). Eles não compararam estatisticamente entre as condições de modo de controle absoluto e relativo entre si. Porém, a média encontrada, para os indivíduos normais, foi de $1,19 \pm 0,15$ bit/s para o controle absoluto e $0,58 \pm 0,03$ bits para o controle relativo (“joystick”), indicando uma possível diferença estatística entre as condições de controle, se ela fosse feita. Por

outro lado, a média encontrada, nos três indivíduos com esclerose múltipla ficou em torno de 0,66 bits/s para o controle absoluto, e 0,50 bits/s para o controle relativo, com uma diferença média, entre os controles, de 0,16 bits/s. Essa diferença de 0,16 bits/s foi semelhante à diferença de 0,11 bits/s encontrada nos nossos resultados, contudo, LoPresti et al. (2002) avaliaram somente três indivíduos com esclerose múltipla.

Comparando as diferenças do índice de desempenho, por nós encontradas, entre o modo absoluto e relativo, para o grupo controle, com as diferenças no grupo de pessoas normais, citadas por LoPresti et al. (2002), podemos perceber que a diferença média de 0,12 bits/s foi menor no nosso trabalho em relação ao trabalho de LoPresti et al. (2002), que foi em torno de 0,61 bits/s.

É importante ressaltar que os valores dos índices de desempenho encontrados por LoPresti et al. (2002) não foram calculados considerando os ajustes para os índices de dificuldade efetivos, como proposto pela norma ISO 9241-9. LoPresti et al. (2002) determinaram os índices de dificuldade pelo cálculo estabelecido por Fitts (1954), que difere do cálculo presente na norma ISO-9241-9, fazendo com que os resultados sejam um pouco maiores que os valores calculados pela norma.

Não houve diferença significativa entre as situações de controle absoluto e relativo para o tempo de movimento (TM) com o grau de dificuldade igual a 2 bits ($p=0,075$, tabela 18). Essa semelhança estatística pode estar relacionada com a pequena distância entre os alvos e o grande

tamanho do alvo circular, permitindo que o usuário percorresse distâncias semelhantes, independentemente do modo de controle.

O tempo de movimento (TM), para o modo de controle relativo com o grau de dificuldade 5 bits, teve um aumento significativo em relação ao modo de controle absoluto ($p=0,000$, tabela 19). A diferença média foi de 1,52 s, para o grupo controle e de 1,36 s, para o grupo estudo (tabela 8).

O parâmetro tempo de movimento foi utilizado no presente trabalho com o propósito de comparar as diferenças entre as situações de controle. O tempo de movimento varia de acordo com o grau de dificuldade utilizado nos testes multidirecionais e ele foi utilizado para o cálculo do índice de desempenho médio nas duas condições propostas de graus de dificuldade.

Não foram encontrados trabalhos que avaliassem dispositivos apontadores controlados pela cabeça através de testes multidirecionais, que medissem os tempos de movimentos para os índices de dificuldade semelhantes aos valores de 2 e 5 bits.

Houve um aumento significativo no modo de controle relativo em relação ao modo de controle absoluto, para a variabilidade no movimento (MV), com o grau de dificuldade igual a 2 bits ($p=0,000$, tabela 18). A diferença média foi de 0,40 mm, tanto para o grupo controle como para o grupo estudo (tabela 9). Houve um aumento significativo no modo relativo em relação ao modo absoluto ($p=0,001$, tabela 19), para as medidas com o grau de dificuldade 5 bits. A diferença média foi de 0,76 mm para o grupo controle e de 0,69 mm para o grupo estudo (tabela 10).

O erro no movimento (ME) para o controle no modo relativo, com o grau de dificuldade 2 bits, teve um aumento significativo em relação ao modo de controle absoluto ($p=0,000$, tabela 18). A diferença média foi de 0,47 mm para o grupo controle e de 0,40 mm para o grupo estudo (tabela 11). Quanto às medidas com o grau de dificuldade 5 bits, houve um aumento significativo no modo relativo em relação ao modo absoluto ($p=0,000$, tabela 19), sendo que a diferença média foi de 0,74 mm para o grupo controle e de 0,54 mm para o grupo estudo (tabela 12).

Houve um aumento significativo no modo de controle relativo em relação ao modo de controle absoluto, para o parâmetro movimento médio (MO), com o grau de dificuldade 2 bits ($p=0,015$, tabela 18). A diferença média foi de 0,41 mm para o grupo controle e de 0,34 mm para o grupo estudo (tabela 13). Quanto às medidas com o grau de dificuldade 5 bits, houve um aumento significativo no modo relativo em relação ao modo absoluto ($p=0,004$, tabela 19), sendo que a diferença média foi de 0,72 mm para o grupo controle e de 0,73 mm para o grupo estudo (tabela 14).

O erro de reentrada no objeto (TRE) para o controle no modo relativo, com o grau de dificuldade 2 bits, teve um aumento significativo em relação ao modo de controle absoluto ($p=0,000$, tabela 18). A diferença média foi de 0,14 (14%) para o grupo controle e de 0,13 (13%) para o grupo estudo (tabela 15). Quanto às medidas com o grau de dificuldade 5 bits, houve um aumento significativo no modo relativo em relação ao modo absoluto ($p=0,000$, tabela 19), a diferença média foi de 0,30 (30%) para o grupo controle e de 0,33 (33%) para o grupo estudo (tabela 16).

Não foram encontrados trabalhos na literatura que utilizassem os parâmetros sugeridos por Mackenzie et al. (2001) em avaliações de dispositivos apontadores controlados pela cabeça. Mackenzie et al. (2001) e Keates et al. (2002) avaliaram dispositivos apontadores operados pelas mãos. Mackenzie et al. (2001) avaliaram o desempenho de quatro dispositivos apontadores operados por 12 indivíduos normais e Keates et al. (2002) avaliaram o desempenho de um mouse tátil operado por três pessoas normais e por quatro pessoas com paralisia cerebral. Os dois trabalhos não descrevem qual o grau de dificuldade adotado para os testes multidirecionais, mas, baseados nos índices de desempenho e nos tempos de movimento de cada autor, foi possível estimar um índice de dificuldade em torno de 4 bits. Os resultados dos dois trabalhos estão resumidos na tabela 20.

Os resultados encontrados por Mackenzie et al. (2001) e Keates et al. (2002) podem ser comparados aos nossos resultados medidos nos testes multidirecionais com índice de dificuldade igual 5 bits. Apesar de utilizarmos índice de dificuldade maior que os encontrados nos dois trabalhos, os nossos resultados, quanto aos parâmetros MV, ME e MO, foram menores, ficando com MV médio entre 2,99 mm, para o grupo controle no modo absoluto, e 3,64 mm, para o grupo estudo no modo relativo, com ME médio entre 2,93 mm, para o grupo controle no modo absoluto, e 3,32 mm, para o grupo estudo no modo relativo e com MO médio entre -0,03 mm, para o grupo estudo no modo absoluto, e 0,37 mm, para o grupo controle no modo absoluto. Quanto ao erro de reentrada no objeto (TRE), os nossos

resultados foram maiores que a maioria dos TREs mostrados pelos dois trabalhos, ficando entre 0,39, para o grupo controle no modo absoluto, e 0,85, para o grupo estudo no modo relativo.

Tabela 20- Média e desvio padrão (entre parênteses) dos parâmetros variabilidade no movimento (MV), erro no movimento (ME), movimento médio (MO) e erro de reentrada no objeto (TRE) encontrados nos trabalhos de Mackenzie e Keates.

	Mackenzie ¹				Keates ²	
	(12 indivíduos normais)				Mouse tátil Logitech®	
	“Mouse”	“Trackball”	“Joystick”	“Touchpad”	Normais (N = 3)	Paralisia Cerebral (N = 4)
MV [mm]	10,5 (3,9)	15,9 (2,5)	17,6 (3,8)	11,7 (2,4)	22,6 (19,5)	35,03 (37,4)
ME [mm]	11,6 (4,7)	16,5 (3,6)	18,7 (3,5)	13,2 (2,5)	21,5 (15,5)	30,41 (17,3)
MO [mm]	2,5 (1,0)	3,4 (0,8)	5,1 (1,8)	3,9 (2,4)	17,8 (16,4)	21,43 (17,7)
TRE	0,07 (0,04)	0,26 (0,13)	0,33 (0,08)	0,15 (0,04)	0,19 (0,5)	0,98 (2,0)

Fonte: ¹ Mackenzie et al. (2001)

² Keates et al. (2002)

N = Número de casos

As diferenças significativas entre as comparações dos modos de controle, para a maioria dos parâmetros estudados, para ambos os grupos, podem estar relacionadas com o fato de que, no controle relativo, o usuário

realiza dois movimentos da cabeça, na mesma direção, porém, em sentidos opostos, para deslocar o cursor até o local desejado. Isto faz com que as possibilidades de percorrer uma trajetória semelhante à trajetória ideal (reta) entre dois objetos seja menor que as possibilidades que o usuário teria utilizando o controle absoluto, no qual o movimento da cabeça é realizado na mesma direção e em um único sentido, sem a necessidade de executar o movimento de retorno da cabeça para a posição neutra.

Em relação às comparações entre os grupos, somente o parâmetro movimento médio (MO) para o grau de dificuldade de 2 bits teve diferença estatística nas duas condições de modo de controle estudadas ($p=0,015$, tabela 18). A média do grupo controle ficou em torno de $-0,061$ mm e, no grupo estudo, ficou em torno de $-0,24$ mm. Apesar da diferença estatística, os valores de MO ficaram muito próximos de zero, mostrando que as trajetórias entre dois alvos do teste multidirecional oscilou pouco em torno da linha de menor distância (Figura 24).

Esses resultados confirmam que o controle motor da cabeça, do grupo estudo, formado por indivíduos tetraplégicos que tinham as inervações preservadas dos músculos relacionados com o controle cefálico, são semelhantes ao controle motor da cabeça dos indivíduos do grupo sem acometimento no sistema neuromuscular.

Não houve diferença estatística significativa entre as 12 tentativas, nos grupos e modos de controle estudados, para os parâmetros TRE, MV e ME, medidos com os índices de dificuldade igual a 2 ou 5 bits, para o parâmetro

MO, medido com o índice de dificuldade igual a 5 bits e para o parâmetro TPM (tabela 18 e 19).

O parâmetro MO, medido com o índice de dificuldade igual 2 bits, apresentou diferença estatística significativa entre as tentativas número um e as tentativas número cinco, dez e doze, e entre as tentativas número nove e doze (tabela 18). Apesar das diferenças entre as tentativas, o parâmetro MO, teve valores médios próximos de zero, com valores mínimos de -1,51 mm, para o grupo estudo no modo relativo, e valores máximos de 1,14 mm, para o grupo controle no modo relativo (tabela 13).

Quanto ao parâmetro tempo de movimento (TM), houve diferença estatística significativa entre as tentativas número um e as tentativas número seis e doze, para o grau de dificuldade igual a 2 bits (tabela 18). Houve diferença significativa entre as tentativas número um e as tentativas número três e seis e entre as tentativas número dois e três, para o grau de dificuldade igual a 5 bits (tabela 19).

O tempo de movimento é o parâmetro citado na literatura para avaliar o grau de aprendizado segundo as tentativas em um teste multidirecional. Os nossos achados mostraram que, a partir da terceira tentativa, a curva de aprendizado já estava concluída, o que correspondeu a 34 repetições para atingir um patamar, levando em consideração as duas primeiras tentativas dos testes multidirecionais (com 17 direções cada). Na literatura, o número de repetições para atingir uma curva de aprendizado variou de 80 repetições, para o trabalho de Silva et al. (2003), a 786 repetições, para o trabalho de Schaab et al. (1996).

De um modo geral, os parâmetros estudados não apresentaram diferenças estatísticas a partir da terceira tentativa, mostrando que o dispositivo apontador proposto tem uma grande facilidade no seu uso, pois o processo de aprendizado do usuário é breve e, em poucos minutos, ele tem um controle satisfatório do dispositivo.

O objetivo do presente trabalho não foi o de avaliar as diferenças entre os 17 ângulos dos testes multidirecionais, mas, a partir dos gráficos polares gerados, foi possível encontrar alguns padrões de comportamento dos parâmetros em função dos ângulos dos testes aplicados.

Os gráficos polares do tempo de movimento (TM) (gráficos 12 e 13), para os dois índices de dificuldade, tiveram um padrão uniforme em todas as direções (forma circular). Resultados semelhantes foram relatados por Silva et al. (2003), que utilizaram a norma ISO 9241-9 como metodologia. No trabalho de Radwin et al. (1990), foram encontradas diferenças significativas entre os ângulos estudados, entretanto, os testes multidirecionais aplicados tinham somente oito direções e não eram executados de acordo com os testes multidirecionais sugeridos pela norma ISO 9241-9.

Os gráficos polares dos parâmetros MV e ME (gráficos 14 ao 17), para os dois graus de dificuldade, tiveram um padrão diferente, onde os maiores valores ocorreram nos ângulos de 45°, 135°, 225° e 315°, e os menores valores ocorreram nos ângulos de 0°, 90°, 180 e 270°. Provavelmente, esses resultados estão relacionados com o melhor controle motor, durante o movimento dissociado de flexo-extensão ou rotação da

cabeça (0° , 90° , 180° e 270°), em comparação com o movimento associado de flexo-extensão e rotação da cabeça (45° , 135° , 225° e 315°).

6.3. Considerações finais

O presente estudo é o primeiro trabalho, na área de desenvolvimento de dispositivos de acesso ao computador, que foi executado no Laboratório de Biomecânica do IOT-HC-FMUSP. Baseado no conhecimento adquirido durante esta pesquisa, idealizamos novas propostas de desenvolvimentos e trabalhos que serão descritos a seguir.

Incluir, no programa do dispositivo apontador desenvolvido, a opção de reconhecimento automático da face do usuário e reconhecimento de voz, para emulação das funções do mouse convencional através de comandos vocálicos.

Avaliar a eficiência dos diferentes tipos de emulação do clique do mouse convencional, presentes no dispositivo apontador desenvolvido.

Comparar o dispositivo apontador proposto no presente trabalho com outros programas, que utilizam o reconhecimento de face a partir de imagens de uma câmera de vídeo, como por exemplo, os programas Facial Mouse (CREA Software systems, Espanha), HeadMouse2 (universidade de Lleida, Espanha), Headdev® (Fundação Vodafone, Espanha), HeadTracker (IBM®), CameraMouse® e HeadMouse versão1.3 (universidade Eötvös Loránd, Hungria).

7. CONCLUSÕES

7. CONCLUSÕES

O dispositivo apontador desenvolvido emulou adequadamente as funções de deslocamento do cursor do computador, revelando facilidade no seu uso e aprendizado breve quando operados por indivíduos dos grupos estudados.

Os resultados obtidos através da avaliação funcional do dispositivo apontador, possibilitaram concluir que o controle do cursor do computador, no modo absoluto, foi significativamente mais eficiente que no modo de controle relativo.

8. ANEXO

8. ANEXO

Tabela 21- Estatística descritiva do parâmetro índice de desempenho médio (TPM), em bits/s, segundo as tentativas, os grupos e os modos de controle.

Tentativa	Grupo	Modo	M	MD	DP	EPM	Min	Max	N
1	Controle	Absoluto	0,68	0,71	0,10	0,03	0,46	0,82	10
		Relativo	0,60	0,61	0,08	0,02	0,48	0,72	10
	Estudo	Absoluto	0,74	0,75	0,11	0,04	0,54	0,96	10
		Relativo	0,64	0,66	0,16	0,05	0,35	0,83	10
2	Controle	Absoluto	0,67	0,70	0,09	0,03	0,48	0,77	10
		Relativo	0,62	0,63	0,10	0,03	0,43	0,81	10
	Estudo	Absoluto	0,76	0,82	0,13	0,04	0,53	0,90	10
		Relativo	0,66	0,73	0,18	0,06	0,34	0,93	10
3	Controle	Absoluto	0,74	0,79	0,11	0,03	0,54	0,86	10
		Relativo	0,65	0,65	0,11	0,03	0,50	0,86	10
	Estudo	Absoluto	0,74	0,78	0,13	0,04	0,51	0,94	10
		Relativo	0,69	0,74	0,18	0,06	0,36	0,97	10
4	Controle	Absoluto	0,72	0,74	0,08	0,02	0,60	0,82	10
		Relativo	0,64	0,69	0,10	0,03	0,50	0,76	10
	Estudo	Absoluto	0,75	0,77	0,12	0,04	0,52	0,91	10
		Relativo	0,69	0,72	0,17	0,05	0,36	0,94	10
5	Controle	Absoluto	0,73	0,74	0,10	0,03	0,60	0,90	10
		Relativo	0,62	0,62	0,06	0,02	0,52	0,71	10
	Estudo	Absoluto	0,78	0,78	0,15	0,05	0,49	0,98	10
		Relativo	0,67	0,67	0,16	0,05	0,45	0,97	10
6	Controle	Absoluto	0,74	0,75	0,08	0,02	0,60	0,84	10
		Relativo	0,65	0,63	0,11	0,03	0,51	0,86	10
	Estudo	Absoluto	0,78	0,77	0,12	0,04	0,61	1,00	10
		Relativo	0,69	0,72	0,16	0,05	0,35	0,87	10
7	Controle	Absoluto	0,73	0,73	0,09	0,03	0,61	0,93	10
		Relativo	0,61	0,62	0,07	0,02	0,51	0,69	10
	Estudo	Absoluto	0,74	0,75	0,09	0,03	0,58	0,86	10
		Relativo	0,69	0,74	0,18	0,06	0,40	1,04	10
8	Controle	Absoluto	0,75	0,76	0,10	0,03	0,58	0,93	10
		Relativo	0,62	0,63	0,07	0,02	0,52	0,71	10
	Estudo	Absoluto	0,73	0,71	0,13	0,04	0,46	0,94	10
		Relativo	0,67	0,72	0,15	0,05	0,37	0,86	10
9	Controle	Absoluto	0,73	0,75	0,07	0,02	0,60	0,81	10
		Relativo	0,61	0,62	0,10	0,03	0,47	0,77	10
	Estudo	Absoluto	0,75	0,76	0,14	0,04	0,51	1,00	10
		Relativo	0,68	0,71	0,19	0,06	0,34	0,97	10
10	Controle	Absoluto	0,73	0,75	0,09	0,03	0,60	0,89	10
		Relativo	0,59	0,58	0,07	0,02	0,48	0,72	10
	Estudo	Absoluto	0,75	0,77	0,11	0,04	0,59	0,90	10
		Relativo	0,69	0,74	0,18	0,06	0,34	0,91	10
11	Controle	Absoluto	0,72	0,74	0,07	0,02	0,59	0,80	10
		Relativo	0,62	0,61	0,09	0,03	0,50	0,78	10
	Estudo	Absoluto	0,75	0,75	0,13	0,04	0,54	0,95	10
		Relativo	0,69	0,72	0,17	0,05	0,39	0,98	10
12	Controle	Absoluto	0,73	0,72	0,11	0,03	0,56	0,92	10
		Relativo	0,65	0,64	0,08	0,03	0,52	0,75	10
	Estudo	Absoluto	0,74	0,73	0,12	0,04	0,58	0,99	10
		Relativo	0,70	0,73	0,16	0,05	0,39	0,89	10

M = Média MD = Mediana DP = Desvio Padrão EPM = Erro Padrão da Média
 Min = Mínimo Max = Máximo N = Número de casos

Tabela 22- Estatística descritiva do parâmetro tempo de movimento (TM), em segundos, para o grau de dificuldade 2 bits, segundo as tentativas, os grupos e os modos de controle.

Tentativa	Grupo	Modo	M	MD	DP	EPM	Min	Max	N
1	Controle	Absoluto	3,46	3,33	0,60	0,19	2,65	4,33	10
		Relativo	3,50	3,44	0,34	0,11	2,94	4,14	10
	Estudo	Absoluto	3,14	3,19	0,56	0,18	2,24	4,11	10
		Relativo	3,48	3,21	1,02	0,32	2,46	6,01	10
2	Controle	Absoluto	3,23	3,14	0,48	0,15	2,72	4,35	10
		Relativo	3,29	3,24	0,42	0,13	2,80	4,21	10
	Estudo	Absoluto	3,12	3,15	0,47	0,15	2,39	3,94	10
		Relativo	3,32	2,86	0,98	0,31	2,69	5,81	10
3	Controle	Absoluto	3,20	3,29	0,43	0,14	2,43	3,67	10
		Relativo	3,38	3,31	0,44	0,14	2,84	4,07	10
	Estudo	Absoluto	3,17	3,10	0,52	0,17	2,46	4,11	10
		Relativo	3,35	3,18	0,73	0,23	2,40	5,07	10
4	Controle	Absoluto	3,11	3,16	0,38	0,12	2,54	3,52	10
		Relativo	3,40	3,34	0,47	0,15	2,59	4,15	10
	Estudo	Absoluto	3,02	3,08	0,36	0,11	2,53	3,46	10
		Relativo	3,32	3,16	0,92	0,29	2,28	5,50	10
5	Controle	Absoluto	3,14	3,14	0,41	0,13	2,64	3,79	10
		Relativo	3,31	3,43	0,31	0,10	2,89	3,71	10
	Estudo	Absoluto	2,97	3,04	0,36	0,12	2,27	3,49	10
		Relativo	3,31	3,39	0,70	0,22	2,45	4,39	10
6	Controle	Absoluto	3,03	3,00	0,41	0,13	2,52	3,67	10
		Relativo	3,28	3,25	0,53	0,17	2,52	4,17	10
	Estudo	Absoluto	2,92	2,82	0,42	0,13	2,30	3,49	10
		Relativo	3,20	3,10	0,70	0,22	2,40	4,54	10
7	Controle	Absoluto	3,06	2,94	0,42	0,13	2,62	3,95	10
		Relativo	3,32	3,31	0,54	0,17	2,22	4,12	10
	Estudo	Absoluto	3,01	3,09	0,39	0,12	2,36	3,49	10
		Relativo	3,23	2,99	0,66	0,21	2,23	4,46	10
8	Controle	Absoluto	3,11	2,99	0,44	0,14	2,62	3,72	10
		Relativo	3,27	3,26	0,47	0,15	2,66	4,20	10
	Estudo	Absoluto	3,07	3,11	0,51	0,16	2,40	4,03	10
		Relativo	3,23	3,05	0,68	0,21	2,44	4,72	10
9	Controle	Absoluto	3,03	2,95	0,37	0,12	2,46	3,64	10
		Relativo	3,40	3,24	0,45	0,14	2,90	4,07	10
	Estudo	Absoluto	2,96	2,85	0,50	0,16	2,27	3,90	10
		Relativo	3,31	3,00	0,79	0,25	2,41	4,73	10
10	Controle	Absoluto	3,02	2,93	0,44	0,14	2,43	3,84	10
		Relativo	3,44	3,48	0,31	0,10	3,01	3,92	10
	Estudo	Absoluto	2,87	2,91	0,37	0,12	2,28	3,39	10
		Relativo	3,22	3,15	0,90	0,29	2,10	5,25	10
11	Controle	Absoluto	3,06	2,95	0,41	0,13	2,60	3,78	10
		Relativo	3,42	3,41	0,32	0,10	2,85	3,94	10
	Estudo	Absoluto	2,92	2,89	0,40	0,13	2,30	3,66	10
		Relativo	3,27	3,19	0,82	0,26	2,31	5,28	10
12	Controle	Absoluto	3,13	2,96	0,60	0,19	2,32	4,08	10
		Relativo	3,36	3,31	0,36	0,12	2,93	3,84	10
	Estudo	Absoluto	3,05	3,17	0,44	0,14	2,27	3,55	10
		Relativo	3,20	2,91	0,94	0,30	2,33	5,53	10

M = Média MD = Mediana DP = Desvio Padrão EPM = Erro Padrão da Média
 Min = Mínimo Max = Máximo N = Número de casos

Tabela 23- Estatística descritiva do parâmetro tempo de movimento (TM), em segundos, para o grau de dificuldade 5 bits, segundo as tentativas, os grupos e os modos de controle.

Tentativa	Grupo	Modo	M	MD	DP	EPM	Min	Max	N
1	Controle	Absoluto	6,64	6,23	1,28	0,40	5,29	9,80	10
		Relativo	7,88	7,44	1,50	0,47	6,15	10,24	10
	Estudo	Absoluto	5,89	5,85	0,95	0,30	4,58	7,58	10
		Relativo	7,32	6,44	2,16	0,68	5,10	11,55	10
2	Controle	Absoluto	6,42	6,42	0,97	0,31	5,23	7,91	10
		Relativo	7,68	7,22	1,45	0,46	5,50	10,23	10
	Estudo	Absoluto	5,97	5,54	1,53	0,48	4,49	9,80	10
		Relativo	7,61	6,46	2,30	0,73	4,69	11,66	10
3	Controle	Absoluto	6,22	5,94	1,04	0,33	5,14	7,94	10
		Relativo	7,21	6,63	1,24	0,39	5,94	9,38	10
	Estudo	Absoluto	5,83	5,40	1,28	0,41	4,25	8,87	10
		Relativo	7,07	5,94	2,43	0,77	4,71	12,69	10
4	Controle	Absoluto	6,22	6,46	0,92	0,29	4,82	7,32	10
		Relativo	7,36	7,30	0,99	0,31	5,73	9,12	10
	Estudo	Absoluto	5,65	5,40	1,16	0,37	4,29	8,61	10
		Relativo	7,05	5,95	2,54	0,80	4,80	13,49	10
5	Controle	Absoluto	5,79	5,93	0,81	0,26	4,42	7,06	10
		Relativo	7,47	6,93	1,26	0,40	6,05	9,47	10
	Estudo	Absoluto	5,79	5,45	1,39	0,44	4,72	9,35	10
		Relativo	6,95	6,70	1,74	0,55	4,59	10,10	10
6	Controle	Absoluto	5,79	5,58	0,54	0,17	5,35	6,93	10
		Relativo	7,48	7,08	1,30	0,41	5,86	9,73	10
	Estudo	Absoluto	5,51	5,34	0,75	0,24	4,66	7,05	10
		Relativo	7,00	6,10	2,33	0,74	4,91	12,83	10
7	Controle	Absoluto	6,03	6,24	0,58	0,18	5,12	6,66	10
		Relativo	7,71	7,85	1,27	0,40	5,67	9,82	10
	Estudo	Absoluto	5,70	5,34	0,94	0,30	4,62	7,61	10
		Relativo	7,10	6,16	2,15	0,68	4,98	12,34	10
8	Controle	Absoluto	5,96	5,84	0,64	0,20	5,18	7,33	10
		Relativo	7,23	6,77	1,02	0,32	5,86	9,18	10
	Estudo	Absoluto	5,95	5,82	1,30	0,41	4,70	9,12	10
		Relativo	6,98	5,93	2,34	0,74	5,13	13,15	10
9	Controle	Absoluto	5,84	5,98	0,57	0,18	4,97	6,53	10
		Relativo	7,57	7,12	1,19	0,37	6,25	9,78	10
	Estudo	Absoluto	5,81	5,40	1,23	0,39	4,62	8,64	10
		Relativo	7,36	5,88	3,05	0,96	4,73	14,88	10
10	Controle	Absoluto	6,22	6,41	0,83	0,26	4,74	7,10	10
		Relativo	7,77	7,63	1,41	0,45	5,57	9,82	10
	Estudo	Absoluto	5,69	5,29	0,83	0,26	4,73	6,98	10
		Relativo	7,18	6,35	2,75	0,87	5,05	14,18	10
11	Controle	Absoluto	6,16	6,16	0,64	0,20	5,14	7,09	10
		Relativo	7,43	7,64	1,02	0,32	5,71	8,55	10
	Estudo	Absoluto	5,73	5,08	1,18	0,37	4,70	7,86	10
		Relativo	6,83	6,04	2,13	0,67	4,54	11,81	10
12	Controle	Absoluto	5,98	6,20	0,68	0,22	4,85	6,76	10
		Relativo	7,28	7,47	1,01	0,32	5,82	8,59	10
	Estudo	Absoluto	5,66	5,12	1,27	0,40	4,53	8,75	10
		Relativo	6,59	6,03	1,52	0,48	4,96	9,61	10

M = Média MD = Mediana DP = Desvio Padrão EPM = Erro Padrão da Média
 Min = Mínimo Max = Máximo N = Número de casos

Tabela 24- Estatística descritiva do parâmetro variabilidade no movimento (MV), em milímetros, para o grau de dificuldade 2 bits, segundo as tentativas, os grupos e os modos de controle.

Tentativa	Grupo	Modo	M	MD	DP	EPM	Min	Max	N
1	Controle	Absoluto	1,58	1,55	0,35	0,11	1,12	2,15	10
		Relativo	1,78	1,79	0,33	0,10	1,29	2,22	10
	Estudo	Absoluto	1,61	1,61	0,30	0,09	1,26	2,05	10
		Relativo	1,99	2,10	0,56	0,18	1,15	2,88	10
2	Controle	Absoluto	1,62	1,57	0,21	0,07	1,26	2,03	10
		Relativo	1,89	1,82	0,23	0,07	1,52	2,27	10
	Estudo	Absoluto	1,62	1,51	0,47	0,15	1,09	2,68	10
		Relativo	1,87	1,87	0,57	0,18	1,10	2,91	10
3	Controle	Absoluto	1,46	1,35	0,32	0,10	0,97	2,00	10
		Relativo	1,69	1,61	0,27	0,09	1,44	2,30	10
	Estudo	Absoluto	1,67	1,58	0,50	0,16	1,01	2,73	10
		Relativo	1,99	1,87	0,64	0,20	1,29	3,17	10
4	Controle	Absoluto	1,53	1,50	0,25	0,08	1,14	2,01	10
		Relativo	1,74	1,69	0,30	0,10	1,37	2,24	10
	Estudo	Absoluto	1,60	1,51	0,37	0,12	1,08	2,12	10
		Relativo	1,98	1,75	0,83	0,26	1,03	3,58	10
5	Controle	Absoluto	1,55	1,61	0,30	0,10	1,13	1,86	10
		Relativo	1,93	1,89	0,26	0,08	1,63	2,28	10
	Estudo	Absoluto	1,81	1,81	0,40	0,13	1,11	2,59	10
		Relativo	2,10	1,95	0,65	0,20	1,21	3,16	10
6	Controle	Absoluto	1,48	1,39	0,37	0,12	0,94	1,99	10
		Relativo	1,86	1,91	0,22	0,07	1,42	2,15	10
	Estudo	Absoluto	1,68	1,47	0,49	0,16	1,15	2,61	10
		Relativo	1,95	2,08	0,65	0,20	1,00	2,88	10
7	Controle	Absoluto	1,53	1,35	0,44	0,14	1,13	2,37	10
		Relativo	1,75	1,81	0,48	0,15	0,99	2,46	10
	Estudo	Absoluto	1,62	1,52	0,45	0,14	1,02	2,28	10
		Relativo	1,93	1,72	0,77	0,24	1,10	3,37	10
8	Controle	Absoluto	1,59	1,55	0,20	0,06	1,32	1,89	10
		Relativo	1,90	1,93	0,24	0,08	1,61	2,35	10
	Estudo	Absoluto	1,69	1,56	0,54	0,17	1,02	2,79	10
		Relativo	1,76	1,51	0,54	0,17	1,22	2,73	10
9	Controle	Absoluto	1,57	1,52	0,32	0,10	1,15	2,14	10
		Relativo	1,96	1,82	0,42	0,13	1,47	2,77	10
	Estudo	Absoluto	1,78	1,83	0,41	0,13	1,14	2,44	10
		Relativo	1,98	1,86	0,61	0,19	1,17	2,90	10
10	Controle	Absoluto	1,44	1,36	0,33	0,10	0,99	1,96	10
		Relativo	1,91	1,82	0,38	0,12	1,35	2,42	10
	Estudo	Absoluto	1,54	1,48	0,46	0,14	0,92	2,12	10
		Relativo	1,98	1,84	0,88	0,28	1,05	4,06	10
11	Controle	Absoluto	1,51	1,46	0,34	0,11	0,94	1,99	10
		Relativo	1,66	1,69	0,37	0,12	0,96	2,15	10
	Estudo	Absoluto	1,64	1,43	0,52	0,16	1,13	2,43	10
		Relativo	2,01	2,01	0,65	0,21	1,04	3,03	10
12	Controle	Absoluto	1,81	1,67	0,54	0,17	1,11	2,67	10
		Relativo	1,74	1,67	0,34	0,11	1,33	2,36	10
	Estudo	Absoluto	1,66	1,76	0,44	0,14	0,96	2,32	10
		Relativo	1,90	1,60	0,80	0,25	1,28	3,65	10

M = Média MD = Mediana DP = Desvio Padrão EPM = Erro Padrão da Média
 Min = Mínimo Max = Máximo N = Número de casos

Tabela 25- Estatística descritiva do parâmetro variabilidade no movimento (MV), em milímetros, para o grau de dificuldade 5 bits, segundo as tentativas, os grupos e os modos de controle.

Tentativa	Grupo	Modo	M	MD	DP	EPM	Min	Max	N
1	Controle	Absoluto	2,80	2,35	0,98	0,31	2,01	5,27	10
		Relativo	3,59	3,68	0,73	0,23	2,60	4,69	10
	Estudo	Absoluto	3,02	2,89	0,51	0,16	2,44	3,90	10
		Relativo	3,44	3,17	1,19	0,38	2,30	6,15	10
2	Controle	Absoluto	2,81	2,75	0,54	0,17	1,99	3,49	10
		Relativo	3,46	3,40	0,78	0,25	2,35	5,21	10
	Estudo	Absoluto	2,99	2,70	0,81	0,25	1,81	4,44	10
		Relativo	3,78	3,27	1,26	0,40	2,67	6,14	10
3	Controle	Absoluto	2,79	2,92	0,43	0,14	1,85	3,25	10
		Relativo	3,32	3,44	0,64	0,20	2,10	4,20	10
	Estudo	Absoluto	3,42	3,40	0,77	0,24	2,50	4,52	10
		Relativo	3,67	3,27	1,49	0,47	2,25	6,66	10
4	Controle	Absoluto	3,19	2,94	0,80	0,25	2,51	4,99	10
		Relativo	3,52	3,66	0,81	0,26	2,15	4,45	10
	Estudo	Absoluto	3,26	2,90	0,91	0,29	2,17	4,86	10
		Relativo	3,81	3,12	1,78	0,56	2,16	7,80	10
5	Controle	Absoluto	3,12	2,72	1,00	0,32	2,36	5,33	10
		Relativo	3,53	3,62	1,00	0,32	2,39	4,81	10
	Estudo	Absoluto	3,13	2,83	0,93	0,29	2,06	4,95	10
		Relativo	3,56	3,27	1,16	0,37	2,16	5,86	10
6	Controle	Absoluto	2,99	3,04	0,56	0,18	2,18	3,73	10
		Relativo	3,50	3,45	0,49	0,16	2,78	4,12	10
	Estudo	Absoluto	3,06	2,83	0,92	0,29	1,94	5,27	10
		Relativo	3,54	3,28	1,21	0,38	2,23	5,50	10
7	Controle	Absoluto	2,90	3,04	0,72	0,23	2,02	4,43	10
		Relativo	3,39	3,29	0,82	0,26	2,47	4,65	10
	Estudo	Absoluto	3,25	2,90	1,09	0,35	1,99	5,32	10
		Relativo	3,80	3,17	1,88	0,59	2,45	8,51	10
8	Controle	Absoluto	3,05	3,47	0,73	0,23	1,93	3,81	10
		Relativo	3,47	3,53	0,69	0,22	2,47	4,60	10
	Estudo	Absoluto	3,34	2,95	1,46	0,46	1,88	6,58	10
		Relativo	3,51	3,18	1,09	0,35	2,23	5,70	10
9	Controle	Absoluto	2,93	2,57	0,93	0,30	1,91	4,80	10
		Relativo	3,28	3,48	0,52	0,17	2,37	3,95	10
	Estudo	Absoluto	2,94	2,97	0,81	0,26	1,89	4,25	10
		Relativo	3,72	3,16	1,61	0,51	2,20	6,87	10
10	Controle	Absoluto	3,09	2,85	1,15	0,36	1,91	5,00	10
		Relativo	3,66	3,54	0,61	0,19	2,60	4,66	10
	Estudo	Absoluto	3,15	2,88	0,97	0,31	1,80	4,70	10
		Relativo	3,84	3,86	1,13	0,36	2,28	5,77	10
11	Controle	Absoluto	3,25	2,91	1,30	0,41	1,72	6,22	10
		Relativo	3,61	3,88	0,54	0,17	2,64	4,14	10
	Estudo	Absoluto	3,19	2,84	1,15	0,36	1,78	4,77	10
		Relativo	3,63	3,56	1,04	0,33	2,21	5,38	10
12	Controle	Absoluto	2,99	2,92	0,70	0,22	1,85	4,12	10
		Relativo	3,33	3,40	0,78	0,25	1,91	4,31	10
	Estudo	Absoluto	3,06	2,76	0,94	0,30	1,83	4,66	10
		Relativo	3,41	3,06	1,13	0,36	1,72	5,12	10

M = Média MD = Mediana DP = Desvio Padrão EPM = Erro Padrão da Média
 Min = Mínimo Max = Máximo N = Número de casos

Tabela 26- Estatística descritiva do parâmetro erro no movimento (ME), em milímetros, para o grau de dificuldade 2 bits, segundo as tentativas, os grupos e os modos de controle.

Tentativa	Grupo	Modo	M	MD	DP	EPM	Min	Max	N
1	Controle	Absoluto	1,88	1,82	0,35	0,11	1,46	2,35	10
		Relativo	2,38	2,34	0,60	0,19	1,52	3,44	10
	Estudo	Absoluto	2,11	2,03	0,42	0,13	1,49	2,72	10
		Relativo	2,36	2,37	0,47	0,15	1,66	3,12	10
2	Controle	Absoluto	1,99	1,87	0,40	0,13	1,47	2,79	10
		Relativo	2,37	2,24	0,40	0,13	1,94	3,41	10
	Estudo	Absoluto	2,15	2,15	0,54	0,17	1,23	3,23	10
		Relativo	2,47	2,50	0,34	0,11	1,79	2,92	10
3	Controle	Absoluto	1,85	1,71	0,50	0,16	1,13	2,79	10
		Relativo	2,18	2,11	0,37	0,12	1,66	2,99	10
	Estudo	Absoluto	2,12	2,14	0,32	0,10	1,62	2,61	10
		Relativo	2,42	2,21	0,61	0,19	1,52	3,45	10
4	Controle	Absoluto	1,95	1,98	0,21	0,07	1,59	2,20	10
		Relativo	2,19	2,15	0,43	0,14	1,60	3,07	10
	Estudo	Absoluto	2,21	2,14	0,34	0,11	1,67	2,84	10
		Relativo	2,30	2,15	0,62	0,19	1,42	3,38	10
5	Controle	Absoluto	2,03	2,00	0,40	0,13	1,42	2,52	10
		Relativo	2,29	2,29	0,34	0,11	1,85	3,02	10
	Estudo	Absoluto	2,37	2,42	0,44	0,14	1,68	3,22	10
		Relativo	2,49	2,31	0,45	0,14	2,02	3,19	10
6	Controle	Absoluto	1,86	1,82	0,53	0,17	1,16	2,81	10
		Relativo	2,34	2,43	0,34	0,11	1,61	2,73	10
	Estudo	Absoluto	2,21	2,19	0,50	0,16	1,66	3,08	10
		Relativo	2,52	2,59	0,37	0,12	1,94	3,08	10
7	Controle	Absoluto	2,16	1,97	0,50	0,16	1,57	2,92	10
		Relativo	2,19	2,10	0,61	0,19	1,31	3,09	10
	Estudo	Absoluto	2,24	2,06	0,48	0,15	1,73	3,03	10
		Relativo	2,54	2,45	0,52	0,16	1,87	3,43	10
8	Controle	Absoluto	2,07	2,04	0,28	0,09	1,69	2,67	10
		Relativo	2,37	2,35	0,32	0,10	2,01	3,11	10
	Estudo	Absoluto	2,20	2,08	0,42	0,13	1,80	3,14	10
		Relativo	2,27	2,20	0,47	0,15	1,76	3,26	10
9	Controle	Absoluto	2,10	2,10	0,35	0,11	1,57	2,63	10
		Relativo	2,26	2,18	0,40	0,13	1,79	3,15	10
	Estudo	Absoluto	2,18	2,13	0,43	0,14	1,53	2,93	10
		Relativo	2,48	2,54	0,43	0,13	1,82	3,05	10
10	Controle	Absoluto	1,85	1,77	0,39	0,12	1,31	2,37	10
		Relativo	2,34	2,36	0,49	0,15	1,61	3,09	10
	Estudo	Absoluto	2,13	2,11	0,40	0,13	1,45	2,82	10
		Relativo	2,49	2,42	0,65	0,21	1,54	3,90	10
11	Controle	Absoluto	1,98	2,00	0,43	0,14	1,18	2,62	10
		Relativo	2,10	2,01	0,47	0,15	1,34	2,67	10
	Estudo	Absoluto	2,26	2,23	0,52	0,16	1,59	3,12	10
		Relativo	2,50	2,42	0,60	0,19	1,41	3,41	10
12	Controle	Absoluto	2,31	2,08	0,62	0,20	1,73	3,57	10
		Relativo	2,21	2,12	0,31	0,10	1,86	2,87	10
	Estudo	Absoluto	2,20	2,20	0,30	0,09	1,83	2,54	10
		Relativo	2,56	2,48	0,60	0,19	1,84	3,84	10

M = Média MD = Mediana DP = Desvio Padrão EPM = Erro Padrão da Média
 Min = Mínimo Max = Máximo N = Número de casos

Tabela 27- Estatística descritiva do parâmetro erro no movimento (ME), em milímetros, para o grau de dificuldade 5 bits, segundo as tentativas, os grupos e os modos de controle.

Tentativa	Grupo	Modo	M	MD	DP	EPM	Min	Max	N
1	Controle	Absoluto	2,79	2,40	0,97	0,31	2,00	5,10	10
		Relativo	3,45	3,32	0,63	0,20	2,75	4,84	10
	Estudo	Absoluto	3,00	2,89	0,67	0,21	2,37	4,52	10
		Relativo	3,10	2,79	0,88	0,28	2,25	5,09	10
2	Controle	Absoluto	2,75	2,70	0,49	0,15	2,00	3,35	10
		Relativo	3,32	3,29	0,69	0,22	2,45	4,86	10
	Estudo	Absoluto	2,88	2,74	0,70	0,22	1,97	4,48	10
		Relativo	3,52	2,98	1,23	0,39	2,45	5,81	10
3	Controle	Absoluto	2,78	2,91	0,44	0,14	1,89	3,36	10
		Relativo	3,20	3,18	0,65	0,21	2,04	3,92	10
	Estudo	Absoluto	3,21	3,15	0,66	0,21	2,36	4,10	10
		Relativo	3,40	2,95	1,27	0,40	2,32	5,68	10
4	Controle	Absoluto	3,11	2,79	0,79	0,25	2,41	5,00	10
		Relativo	3,27	3,24	0,71	0,23	2,13	4,35	10
	Estudo	Absoluto	3,13	2,88	0,84	0,27	2,04	4,34	10
		Relativo	3,48	3,14	1,39	0,44	2,12	6,40	10
5	Controle	Absoluto	3,05	2,67	1,00	0,32	2,20	5,13	10
		Relativo	3,32	3,06	0,89	0,28	2,40	5,03	10
	Estudo	Absoluto	2,94	2,76	0,75	0,24	2,23	4,48	10
		Relativo	3,23	2,87	0,99	0,31	2,19	5,16	10
6	Controle	Absoluto	2,92	3,07	0,56	0,18	2,20	3,80	10
		Relativo	3,33	3,27	0,37	0,12	2,95	4,22	10
	Estudo	Absoluto	2,95	2,69	0,83	0,26	2,16	4,74	10
		Relativo	3,20	3,11	0,99	0,31	1,95	5,07	10
7	Controle	Absoluto	2,87	2,96	0,66	0,21	2,13	4,18	10
		Relativo	3,17	2,98	0,72	0,23	2,36	4,50	10
	Estudo	Absoluto	3,10	2,90	0,87	0,28	2,13	4,74	10
		Relativo	3,42	2,95	1,48	0,47	2,38	7,13	10
8	Controle	Absoluto	2,91	3,08	0,64	0,20	1,98	3,77	10
		Relativo	3,37	3,36	0,64	0,20	2,49	4,30	10
	Estudo	Absoluto	3,08	2,90	1,12	0,35	1,70	5,49	10
		Relativo	3,22	2,99	0,85	0,27	2,31	5,03	10
9	Controle	Absoluto	2,88	2,54	0,85	0,27	2,01	4,65	10
		Relativo	3,29	3,49	0,51	0,16	2,52	3,96	10
	Estudo	Absoluto	2,78	2,81	0,67	0,21	1,97	3,84	10
		Relativo	3,29	2,95	1,11	0,35	2,18	5,44	10
10	Controle	Absoluto	2,98	2,87	0,91	0,29	1,98	4,41	10
		Relativo	3,49	3,38	0,51	0,16	2,65	4,38	10
	Estudo	Absoluto	3,02	2,77	0,91	0,29	1,65	4,31	10
		Relativo	3,50	3,43	0,95	0,30	2,20	5,20	10
11	Controle	Absoluto	3,10	2,68	1,25	0,39	1,91	6,19	10
		Relativo	3,44	3,36	0,62	0,19	2,58	4,31	10
	Estudo	Absoluto	3,01	2,78	1,03	0,33	1,81	4,81	10
		Relativo	3,37	3,13	0,86	0,27	2,26	4,60	10
12	Controle	Absoluto	3,01	3,01	0,60	0,19	2,01	4,16	10
		Relativo	3,24	3,16	0,75	0,24	2,20	4,68	10
	Estudo	Absoluto	2,89	2,75	0,76	0,24	1,77	4,29	10
		Relativo	3,16	2,92	0,88	0,28	1,72	4,47	10

M = Média MD = Mediana DP = Desvio Padrão EPM = Erro Padrão da Média
 Min = Mínimo Max = Máximo N = Número de casos

Tabela 28- Estatística descritiva do parâmetro movimento médio (MO), em milímetros, para o grau de dificuldade 2 bits, segundo as tentativas, os grupos e os modos de controle.

Tentativa	Grupo	Modo	M	MD	DP	EPM	Min	Max	N
1	Controle	Absoluto	-0,27	-0,16	0,45	0,14	-1,20	0,27	10
		Relativo	-0,43	-0,25	0,59	0,19	-1,28	0,28	10
	Estudo	Absoluto	-0,31	-0,24	0,39	0,12	-0,96	0,25	10
		Relativo	-0,55	-0,41	0,48	0,15	-1,51	0,06	10
2	Controle	Absoluto	-0,11	-0,17	0,41	0,13	-0,64	0,79	10
		Relativo	-0,14	-0,27	0,34	0,11	-0,50	0,53	10
	Estudo	Absoluto	-0,38	-0,36	0,25	0,08	-0,87	0,03	10
		Relativo	-0,30	-0,24	0,28	0,09	-0,82	0,04	10
3	Controle	Absoluto	0,07	0,07	0,24	0,07	-0,37	0,40	10
		Relativo	-0,08	-0,03	0,27	0,09	-0,58	0,43	10
	Estudo	Absoluto	-0,35	-0,30	0,33	0,10	-0,85	0,19	10
		Relativo	-0,39	-0,34	0,33	0,10	-0,81	0,11	10
4	Controle	Absoluto	-0,14	-0,11	0,20	0,06	-0,51	0,17	10
		Relativo	-0,23	-0,37	0,38	0,12	-0,68	0,35	10
	Estudo	Absoluto	-0,18	-0,19	0,36	0,11	-0,87	0,44	10
		Relativo	-0,40	-0,39	0,51	0,16	-1,30	0,40	10
5	Controle	Absoluto	0,13	0,16	0,24	0,07	-0,41	0,44	10
		Relativo	0,06	0,15	0,53	0,17	-0,63	1,14	10
	Estudo	Absoluto	-0,16	-0,23	0,50	0,16	-1,02	0,66	10
		Relativo	-0,08	0,01	0,41	0,13	-0,92	0,42	10
6	Controle	Absoluto	0,09	0,10	0,36	0,11	-0,56	0,63	10
		Relativo	-0,13	-0,16	0,43	0,14	-0,93	0,68	10
	Estudo	Absoluto	-0,23	-0,15	0,29	0,09	-0,62	0,30	10
		Relativo	-0,20	-0,14	0,35	0,11	-0,61	0,45	10
7	Controle	Absoluto	0,11	0,12	0,16	0,05	-0,21	0,28	10
		Relativo	-0,23	-0,21	0,37	0,12	-0,79	0,30	10
	Estudo	Absoluto	-0,26	-0,31	0,28	0,09	-0,60	0,25	10
		Relativo	-0,23	-0,16	0,18	0,06	-0,55	0,01	10
8	Controle	Absoluto	0,14	0,21	0,41	0,13	-0,53	0,56	10
		Relativo	0,10	0,13	0,31	0,10	-0,49	0,44	10
	Estudo	Absoluto	-0,14	-0,16	0,46	0,15	-0,57	0,87	10
		Relativo	-0,28	-0,32	0,24	0,08	-0,68	0,18	10
9	Controle	Absoluto	-0,18	-0,20	0,42	0,13	-0,89	0,34	10
		Relativo	-0,17	-0,31	0,42	0,13	-0,76	0,40	10
	Estudo	Absoluto	-0,18	-0,24	0,31	0,10	-0,60	0,43	10
		Relativo	-0,30	-0,32	0,34	0,11	-0,94	0,33	10
10	Controle	Absoluto	0,06	0,00	0,27	0,08	-0,25	0,66	10
		Relativo	0,02	-0,08	0,54	0,17	-0,79	1,04	10
	Estudo	Absoluto	-0,12	-0,14	0,34	0,11	-0,87	0,53	10
		Relativo	-0,24	-0,22	0,36	0,12	-0,74	0,52	10
11	Controle	Absoluto	-0,09	-0,02	0,34	0,11	-0,64	0,39	10
		Relativo	-0,16	-0,12	0,45	0,14	-1,01	0,44	10
	Estudo	Absoluto	-0,26	-0,19	0,33	0,10	-0,85	0,21	10
		Relativo	-0,34	-0,21	0,38	0,12	-1,29	0,01	10
12	Controle	Absoluto	0,14	0,26	0,33	0,10	-0,38	0,47	10
		Relativo	0,00	0,03	0,34	0,11	-0,46	0,53	10
	Estudo	Absoluto	0,11	0,10	0,37	0,12	-0,40	0,93	10
		Relativo	-0,12	-0,12	0,29	0,09	-0,51	0,46	10

M = Média MD = Mediana DP = Desvio Padrão EPM = Erro Padrão da Média
 Min = Mínimo Max = Máximo N = Número de casos

Tabela 29- Estatística descritiva do parâmetro movimento médio (MO), em milímetros, para o grau de dificuldade 5 bits, segundo as tentativas, os grupos e os modos de controle.

Tentativa	Grupo	Modo	M	MD	DP	EPM	Min	Max	N
1	Controle	Absoluto	0,36	0,47	0,47	0,15	-0,27	1,04	10
		Relativo	0,20	0,24	1,21	0,38	-1,25	2,25	10
	Estudo	Absoluto	0,03	0,28	1,07	0,34	-2,42	1,20	10
		Relativo	-0,43	-0,34	0,74	0,23	-1,69	0,83	10
2	Controle	Absoluto	0,47	0,51	0,67	0,21	-0,93	1,47	10
		Relativo	-0,02	0,09	0,61	0,19	-1,09	0,95	10
	Estudo	Absoluto	0,09	-0,19	1,11	0,35	-1,21	2,84	10
		Relativo	-0,59	-0,42	0,63	0,20	-1,60	0,26	10
3	Controle	Absoluto	0,32	0,25	0,65	0,20	-0,62	1,57	10
		Relativo	-0,02	0,32	0,74	0,23	-1,18	0,94	10
	Estudo	Absoluto	0,04	0,20	0,61	0,19	-1,05	0,82	10
		Relativo	-0,42	-0,73	0,97	0,31	-1,60	1,27	10
4	Controle	Absoluto	0,67	0,65	0,75	0,24	-0,83	2,01	10
		Relativo	-0,24	-0,21	0,82	0,26	-1,23	1,24	10
	Estudo	Absoluto	0,02	-0,25	0,88	0,28	-0,96	1,75	10
		Relativo	-0,13	-0,09	0,79	0,25	-1,31	1,11	10
5	Controle	Absoluto	0,41	0,47	0,68	0,22	-0,72	1,53	10
		Relativo	0,00	0,19	0,92	0,29	-1,53	1,10	10
	Estudo	Absoluto	-0,24	-0,28	0,28	0,09	-0,67	0,19	10
		Relativo	-0,53	-0,45	0,55	0,17	-1,30	0,43	10
6	Controle	Absoluto	0,20	0,26	0,67	0,21	-0,91	1,29	10
		Relativo	-0,08	-0,03	0,79	0,25	-1,57	1,21	10
	Estudo	Absoluto	0,04	-0,14	0,69	0,22	-0,73	1,49	10
		Relativo	-0,24	-0,33	0,62	0,19	-1,02	0,87	10
7	Controle	Absoluto	0,31	0,35	0,35	0,11	-0,27	0,75	10
		Relativo	-0,15	0,06	0,83	0,26	-1,71	1,22	10
	Estudo	Absoluto	-0,13	-0,07	0,43	0,14	-0,77	0,52	10
		Relativo	-0,10	-0,03	0,60	0,19	-1,25	0,75	10
8	Controle	Absoluto	0,00	0,20	0,71	0,22	-1,43	0,86	10
		Relativo	0,16	0,37	1,32	0,42	-2,96	1,55	10
	Estudo	Absoluto	-0,14	-0,13	0,59	0,19	-0,89	1,01	10
		Relativo	-0,29	-0,37	0,56	0,18	-1,24	0,64	10
9	Controle	Absoluto	0,42	0,41	0,71	0,23	-0,53	1,74	10
		Relativo	0,12	0,33	0,75	0,24	-1,77	0,82	10
	Estudo	Absoluto	-0,21	-0,16	0,56	0,18	-1,06	0,57	10
		Relativo	0,17	0,03	0,65	0,21	-0,70	1,70	10
10	Controle	Absoluto	0,21	0,29	0,70	0,22	-1,11	1,21	10
		Relativo	0,11	0,30	0,63	0,20	-1,36	0,96	10
	Estudo	Absoluto	0,23	0,41	0,59	0,19	-0,96	0,85	10
		Relativo	-0,33	-0,27	0,81	0,26	-2,20	0,75	10
11	Controle	Absoluto	0,43	0,42	0,98	0,31	-1,61	2,19	10
		Relativo	0,04	0,33	0,83	0,26	-1,66	0,89	10
	Estudo	Absoluto	0,04	0,03	0,48	0,15	-0,77	0,98	10
		Relativo	-0,49	-0,55	0,89	0,28	-1,59	1,31	10
12	Controle	Absoluto	0,59	0,59	0,62	0,19	-0,28	1,34	10
		Relativo	0,02	0,02	0,98	0,31	-1,35	1,34	10
	Estudo	Absoluto	-0,08	-0,17	0,82	0,26	-1,45	1,05	10
		Relativo	-0,40	-0,33	0,80	0,25	-1,57	0,81	10

M = Média MD = Mediana DP = Desvio Padrão EPM = Erro Padrão da Média
 Min = Mínimo Max = Máximo N = Número de casos

Tabela 30- Estatística descritiva do parâmetro erro de reentrada no objeto (TRE) para o grau de dificuldade 2 bits, segundo as tentativas, os grupos e os modos de controle.

Tentativa	Grupo	Modo	M	MD	DP	EPM	Min	Max	N
1	Controle	Absoluto	0,06	0,03	0,07	0,02	0,00	0,17	10
		Relativo	0,16	0,14	0,12	0,04	0,00	0,39	10
	Estudo	Absoluto	0,07	0,06	0,09	0,03	0,00	0,28	10
		Relativo	0,26	0,17	0,26	0,08	0,00	0,72	10
2	Controle	Absoluto	0,07	0,06	0,08	0,02	0,00	0,22	10
		Relativo	0,21	0,17	0,16	0,05	0,06	0,61	10
	Estudo	Absoluto	0,07	0,00	0,11	0,04	0,00	0,33	10
		Relativo	0,14	0,06	0,21	0,07	0,00	0,72	10
3	Controle	Absoluto	0,06	0,00	0,08	0,03	0,00	0,22	10
		Relativo	0,18	0,17	0,18	0,06	0,00	0,56	10
	Estudo	Absoluto	0,13	0,08	0,19	0,06	0,00	0,67	10
		Relativo	0,18	0,17	0,15	0,05	0,00	0,44	10
4	Controle	Absoluto	0,04	0,00	0,06	0,02	0,00	0,17	10
		Relativo	0,15	0,14	0,13	0,04	0,00	0,33	10
	Estudo	Absoluto	0,09	0,06	0,12	0,04	0,00	0,33	10
		Relativo	0,18	0,11	0,20	0,06	0,00	0,67	10
5	Controle	Absoluto	0,04	0,03	0,05	0,02	0,00	0,11	10
		Relativo	0,17	0,06	0,20	0,06	0,00	0,61	10
	Estudo	Absoluto	0,08	0,11	0,07	0,02	0,00	0,17	10
		Relativo	0,21	0,19	0,19	0,06	0,00	0,61	10
6	Controle	Absoluto	0,03	0,00	0,05	0,01	0,00	0,11	10
		Relativo	0,13	0,11	0,13	0,04	0,00	0,44	10
	Estudo	Absoluto	0,07	0,06	0,08	0,02	0,00	0,22	10
		Relativo	0,13	0,11	0,13	0,04	0,00	0,44	10
7	Controle	Absoluto	0,06	0,06	0,06	0,02	0,00	0,17	10
		Relativo	0,14	0,08	0,15	0,05	0,00	0,39	10
	Estudo	Absoluto	0,13	0,14	0,10	0,03	0,00	0,28	10
		Relativo	0,16	0,14	0,14	0,04	0,00	0,39	10
8	Controle	Absoluto	0,04	0,06	0,06	0,02	-0,06	0,17	10
		Relativo	0,14	0,11	0,14	0,04	0,00	0,39	10
	Estudo	Absoluto	0,21	0,17	0,19	0,06	0,00	0,56	10
		Relativo	0,23	0,22	0,15	0,05	0,00	0,50	10
9	Controle	Absoluto	0,07	0,06	0,10	0,03	-0,06	0,28	10
		Relativo	0,21	0,11	0,20	0,06	0,00	0,61	10
	Estudo	Absoluto	0,12	0,06	0,12	0,04	0,00	0,33	10
		Relativo	0,19	0,17	0,19	0,06	0,00	0,61	10
10	Controle	Absoluto	0,01	0,00	0,02	0,01	0,00	0,06	10
		Relativo	0,20	0,11	0,19	0,06	0,00	0,50	10
	Estudo	Absoluto	0,11	0,06	0,17	0,05	0,00	0,56	10
		Relativo	0,18	0,06	0,22	0,07	0,00	0,67	10
11	Controle	Absoluto	0,03	0,00	0,06	0,02	0,00	0,17	10
		Relativo	0,16	0,14	0,15	0,05	0,00	0,44	10
	Estudo	Absoluto	0,10	0,06	0,12	0,04	0,00	0,39	10
		Relativo	0,19	0,17	0,17	0,05	0,00	0,50	10
12	Controle	Absoluto	0,09	0,06	0,10	0,03	0,00	0,28	10
		Relativo	0,13	0,11	0,15	0,05	0,00	0,44	10
	Estudo	Absoluto	0,12	0,08	0,13	0,04	0,00	0,44	10
		Relativo	0,17	0,11	0,18	0,06	0,00	0,56	10

M = Média MD = Mediana DP = Desvio Padrão EPM = Erro Padrão da Média
 Min = Mínimo Max = Máximo N = Número de casos

Tabela 31- Estatística descritiva do parâmetro erro de reentrada no objeto (TRE) para o grau de dificuldade 5 bits, segundo as tentativas, os grupos e os modos de controle.

Tentativa	Grupo	Modo	M	MD	DP	EPM	Min	Max	N
1	Controle	Absoluto	0,45	0,28	0,36	0,11	0,17	1,11	10
		Relativo	0,59	0,47	0,30	0,10	0,22	1,00	10
	Estudo	Absoluto	0,52	0,36	0,28	0,09	0,17	0,94	10
		Relativo	0,87	0,86	0,29	0,09	0,50	1,44	10
2	Controle	Absoluto	0,43	0,31	0,28	0,09	0,22	1,00	10
		Relativo	0,65	0,67	0,32	0,10	0,17	1,17	10
	Estudo	Absoluto	0,54	0,53	0,28	0,09	0,00	1,00	10
		Relativo	0,99	0,89	0,46	0,15	0,39	1,83	10
3	Controle	Absoluto	0,41	0,44	0,21	0,07	0,06	0,78	10
		Relativo	0,61	0,64	0,29	0,09	0,22	1,00	10
	Estudo	Absoluto	0,61	0,64	0,25	0,08	0,17	1,06	10
		Relativo	0,80	0,72	0,35	0,11	0,17	1,33	10
4	Controle	Absoluto	0,47	0,47	0,25	0,08	0,17	0,94	10
		Relativo	0,72	0,69	0,23	0,07	0,44	1,06	10
	Estudo	Absoluto	0,56	0,53	0,22	0,07	0,11	0,83	10
		Relativo	0,82	0,78	0,40	0,13	0,17	1,50	10
5	Controle	Absoluto	0,41	0,39	0,27	0,08	0,00	0,94	10
		Relativo	0,66	0,72	0,25	0,08	0,28	1,00	10
	Estudo	Absoluto	0,58	0,56	0,26	0,08	0,17	0,94	10
		Relativo	0,90	0,92	0,42	0,13	0,17	1,33	10
6	Controle	Absoluto	0,30	0,31	0,20	0,06	0,06	0,72	10
		Relativo	0,64	0,64	0,28	0,09	0,17	1,06	10
	Estudo	Absoluto	0,54	0,61	0,29	0,09	0,11	0,83	10
		Relativo	0,82	0,72	0,37	0,12	0,33	1,44	10
7	Controle	Absoluto	0,42	0,39	0,18	0,06	0,11	0,83	10
		Relativo	0,70	0,78	0,24	0,08	0,33	1,00	10
	Estudo	Absoluto	0,62	0,72	0,24	0,08	0,17	0,89	10
		Relativo	0,90	0,86	0,35	0,11	0,22	1,56	10
8	Controle	Absoluto	0,44	0,33	0,31	0,10	0,06	1,11	10
		Relativo	0,65	0,64	0,32	0,10	0,11	1,28	10
	Estudo	Absoluto	0,61	0,61	0,24	0,07	0,28	1,11	10
		Relativo	0,80	0,83	0,39	0,12	0,17	1,56	10
9	Controle	Absoluto	0,27	0,31	0,17	0,05	0,06	0,50	10
		Relativo	0,60	0,64	0,30	0,10	0,17	1,06	10
	Estudo	Absoluto	0,64	0,58	0,22	0,07	0,33	1,06	10
		Relativo	0,83	0,75	0,46	0,15	0,39	1,94	10
10	Controle	Absoluto	0,43	0,42	0,19	0,06	0,17	0,72	10
		Relativo	0,68	0,72	0,26	0,08	0,33	1,17	10
	Estudo	Absoluto	0,50	0,47	0,18	0,06	0,28	0,89	10
		Relativo	0,88	0,81	0,43	0,14	0,22	1,72	10
11	Controle	Absoluto	0,35	0,39	0,20	0,06	0,11	0,61	10
		Relativo	0,66	0,72	0,24	0,08	0,33	1,00	10
	Estudo	Absoluto	0,57	0,56	0,26	0,08	0,06	0,89	10
		Relativo	0,78	0,69	0,37	0,12	0,28	1,67	10
12	Controle	Absoluto	0,33	0,28	0,20	0,06	0,11	0,78	10
		Relativo	0,54	0,53	0,21	0,07	0,28	1,00	10
	Estudo	Absoluto	0,58	0,58	0,27	0,08	0,17	1,06	10
		Relativo	0,77	0,72	0,31	0,10	0,28	1,28	10

M = Média MD = Mediana DP = Desvio Padrão EPM = Erro Padrão da Média
 Min = Mínimo Max = Máximo N = Número de casos

9. REFERÊNCIAS

9. REFERÊNCIAS

3M do Brasil. Scotchlite materiais refletivos. [online]. Campinas; 2008 [capturado 12 jun. 2008]. Disponível em: http://solutions.3m.com.br/wps/portal/3M/pt_BR/SegPessoal/Home/DocumentosPublicacoes/CatalogosEletronicos/.

Almeida JLSG, Komatsu EM, Frère AF. Periférico de baixo custo para inclusão digital do tetraplégico. In: II seminário ATIID- acessibilidade, TI e inclusão digital; 2003; São Paulo; Disponível em: <http://www.fsp.usp.br/acessibilidade/informacao.htm>

Almeida JLSG, Kubatamaia CI, Bissaco MAS, Frère AF. Periférico de acesso ao computador baseado na biomecânica da cabeça. In: VII Congresso Iberoamericano de informática educativa; 2004; Mexico; p. 570-78.

Anson D, Lawler G, Kissinger A, Timko M, Tuminski J, Drew B. Efficacy of three head-pointing devices for a mouse emulation task. *Assist Technol*; 2002; 14:140-50.

Betke M, Gips J, Fleming P. The camera mouse: visual tracking of body features to provide computer access for people with severe disabilities. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*; 2002; 10(1):1-10.

Boosty Technolgy. Tracer Head Mouse. [online]. 2008 [capturado 10 ago. 2008]. Disponível em: http://www.boosttechnology.com/tracer_description.html.

Bryant DP, Bryant BR. *Assistive technology for people with disabilities*. Boston: Allyn and Bacon; 2003.

Cameramouse. [online]. Boston, EUA; 2008 [capturado 10 mai. 2008]. Disponível em: <http://www.cameramouse.org/>

Chen YL, Tang FT, Chang WH, Wong MK, Shih YY Kuo TS. The new design of an infrared-controlled human-computer interface for then disabled. *IEEE Transaction on Rehabilitation Engineering*; 1999;7(4):474-81.

Chen YL. Application of tilt sensors in human-computer mouse interface for people with disabilities. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*; 2001; 9(3):289-94

CREA software systems. Facial Mouse. [online]. Constantí, Espanha; 2008 [capturado 20 jul. 2008]. Disponível em: <http://www.crea-si.com/eng/rfacial.php>.

Devereux H, Smalley M. Are infra red illuminators eye safe?. In: Proceedings of the 29th Annual conference of IEEE; 1995; Sanderstead, UK:IEEE; 1995. p. 480-01.

Dias N, Osowsky J, Gamba HR, Nohama P. Mouse-câmera ativado pelo movimento da cabeça. In: II seminário ATIID- acessibilidade, TI e inclusão digital; 2003; São Paulo; Disponível em: <http://www.fsp.usp.br/acessibilidade/informacao.htm>

Eom GM, Kim KS, Kim CS, Lee J, Chung SC, Lee B, Higa H, Furuse N, Futami R, Watanebe T. Gyro-mouse for the disabled: 'click' and 'Position' control of the mouse cursor. *International Journal of Control, Automation and Systems*; 2007; 5(2):147-54.

Evans DG, Drew R, Blenkhorn P. Controlling mouse position using an infrared head-operated joystick. *IEEE Transaction on Rehabilitation Engineering*; 2000; 8(1):107-17.

Fitts PM. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*; 1954; 47(6):381:91.

Fundação Vodafone. HeadDev. [online]. Espanha; 2008 [capturado 15 mai. 2008]. Disponível em: <http://fundacion.vodafone.es/VodafoneFundacion/FundacionVodafone/0,,25311,00.html>.

Graveleau V, Mirenkov N, Nikishkov G. A head-controlled user interface. In: Proceedings of the 8th International Conference on Humans and computers; 2005; Aizu-Wakamatsu ; p. 306-11.

Greve JMD, Casalis MEP, Barros Filho TEP. *Diagnóstico e tratamento da lesão da medula espinal*. São Paulo: Roca; 2001.

IBM. Head-tracker pointer. [online]. Yorktown Heights, EUA; 2008 [capturado 25 jun. 2008]. Disponível em: <http://www.alphaworks.ibm.com/tech/headpointer>.

International Standardization Organization (ISO). *ISO 9241-9: Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) -- Part 9: Requirements for non-keyboard input devices*. Suíça; 2000.

Kapandji IA. *Fisiologia articular*. São Paulo:Manole, v.3; 1980.

Keates S, Hwang F, Langdon P, Clarkson PJ, Robinson P. Cursor measures for motion-impaired computer users. In: Proceedings of ACM SIGCAPH Conference of Assistive Technologies – ASSETS; EUA; 2002. EUA:ACM press; p.135-42.

Kim YW, Cho JH. Computer A novel development of head-set computer mouse using gyro sensors for the handicapped. In: Conference of 2nd Annual International IEEE-EMBS Special Topic on Microtechnologies in medicine and biology; 2002; Madison. p.356-59.

Lin CS, Shi TH, Lin CH, Yeh MS, Shei HJ. The measurement of the angle of a user's head in a novel head-tracker device. *Measurement*; 2006; 39:750-57.

Lin ML, Radwin RG, Vanderheiden GC. Gain effects on performance using a head-controlled computer input device. *Ergonomics*; 1992; 35(2):159-75.

LoPresti EF, Brienza DM, Angelo J. Head-operated computer controls: effect of control method on performance for subjects with and without disability. *Interacting with Computers*; 2002; 14:359-77.

LoPresti EF, Brienza DM. Adaptive software for head-operated computer controls. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*; 2004; 12(1):102-11.

Mackenzie IS, Kauppinen T, Silfverberg M. Accuracy measures for evaluation computer pointing devices. In: Proceedings of Human Factors in Computing Systems; 2001; Seattle. EUA:ACM press; 2001. p.9-15.

Madentec. Traker Pro. [online]. Edmonton, Canadá; 2008 [capturado 20 jul. 2008]. Disponível em: <http://www.madentec.com/products/tracker-pro.php>.

Man DW, Wong MSL. Evaluation of computer-access solutions for students with quadriplegic athetoid cerebral palsy. *The American Journal of Occupational Therapy*; 2007; 61(3):355-64.

Marques Filho O, Vieira Neto H. *Processamento digital de imagens*. Rio de Janeiro: Brasport; 1999.

Mauri C, Granollers T, Lorés J, García M. Computer vision interaction for people with severe movement restrictions. *Human Technology*; 2006; 2(1): 38-54.

Morris T, Chauhan V. Facial feature tracking for cursor control. *Journal of Network and Computer Applications*; 2006; 29:62-80.

Müller AF, Zaro MA, Silva Jr DP, Sanches PRS, Ferlin EL, Thomé PRO, Santos AC, Tarrago MG. Dispositivo para emulação de mouse dedicado a pacientes tetraplégicos ou portadores de doença degenerativa do sistema neuromuscular. *Acta Fisiátrica*; 2001; 8(2):63-66.

Natural Point. SmartNav. [online]. Corvallis, EUA; 2008 [capturado 25 mai. 2008]. Disponível em: <http://www.naturalpoint.com/smartnav/>

Nunoshita M, Ebisawa Y. Head pointer based on ultrasonic position measurement. In: Proceeding of 2nd joint EMBS/BMES; 2002; Houston. p.1732-33.

Origin Instruments. HeadMouse Extreme. [online]. Grand Prairie, EUA; 2008 [capturado 20 jul. 2008]. Disponível em: <http://www.orin.com/access/headmouse/index.htm>.

Radwin RG, Vanderheiden GC, Lin ML. A method for evaluating head-controlled computer input devices using Fitts'law. *Human Factors*; 1990; 32(4):432-38.

Rocha HV, Baranauskas MCC. *Design e Avaliação de Interfaces Humano-Computador*. Campinas: NIED/UNICAMP; 2003. Disponível em: <http://www.nied.unicamp.br>.

Schaab JA, Radwin RG, Vanderheiden GC. A comparison of two control-display gain measures for head-controlled computer input devices. *Human Factors*; 1996; 38(3):390-403.

Silva GC, Lyons MJ, Kawato S, Tetsutani N. Human factors evaluation of vision-based facial gesture interface. In: Conference on computer vision and pattern recognition for HCI; 2003. IEEE press; 2003. v.5, p.52-58.

Soukoreff RW, Mackenzie IS. Towards a standard for pointing device evaluation, perspectives on 27 years of Fitts'law research in HCI. *International Journal of Human-Computer Studies*; 2004; 61:751-89.

Takami O, Irie N, Kang C, Ishimatsu T, Ochiai T. Computer interface to use head movement for handicapped people. In: Proceedings of IEEE TENCON Digital signal processing applications; 1996; Australia. p468-72

Universidade de Lleida. Grupo de robótica. Headmouse2. [online]. Lleida, Espanha; 2008 [capturado 20 jul. 2008]. Disponível em: <http://robotica.udl.es/headmouse/headmouse2/headmouse2e.html>.

APÊNDICE

APROVAÇÃO

A Comissão de Ética para Análise de Projetos de Pesquisa - CAPPesq da Diretoria Clínica do Hospital das Clínicas e da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, em sessão de 29.09.05, **APROVOU** o Protocolo de Pesquisa nº **609/05**, intitulado: "Desenvolvimento de uma interface homem-computador com as funções de um "mouse", controlada pelo movimento da cabeça para uso em pessoas portadoras de deficiências físicas" apresentado pelo Departamento de **ORTOPEDIA E TRAUMATOLOGIA**, inclusive o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

Cabe ao pesquisador elaborar e apresentar à CAPPesq, os relatórios parciais e final sobre a pesquisa (Resolução do Conselho Nacional de Saúde nº 196, de 10.10.1996, inciso IX. 2, letra "c")

Pesquisador(a) Responsável: **Dr. Reginaldo Perilo Oliveira**

Pesquisador (a) Executante: **Sr. César Augusto Martins Pereira**

CAPPesq, 29 de Setembro de 2005.


PROF. DR. EUCLIDES AYRES DE CASTILHO
Presidente da Comissão de Ética para Análise
de Projetos de Pesquisa