

**ALINE HORTA MIGUEL**

**EFEITO DA MAGNITUDE DA PERTURBAÇÃO NA  
ADAPTAÇÃO EM UMA TAREFA DE APONTAMENTO**

**Belo Horizonte**  
**Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG**  
**2012**

**ALINE HORTA MIGUEL**

**EFEITO DA MAGNITUDE DA PERTURBAÇÃO NA  
ADAPTAÇÃO EM UMA TAREFA DE APONTAMENTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Esporte M/D da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências do Esporte.

Orientador: Dr. Herbert Ugrinowitsch

**Belo Horizonte**  
**Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG**  
**2012**

## AGRADECIMENTOS

“Pois dEle, por Ele e para Ele são todas as coisas. A Ele seja a glória para sempre. Amém.”

Agradeço primeiramente a Deus, meu Pai, por tudo: pela vida, pela oportunidade, pelo desafio, pelo suporte, pela força, pelas portas abertas e por estar adiante de mim todo o tempo. A Ti Senhor toda honra e glória por este trabalho.

“O tempo é um recurso precioso, insubstituível e irreversível” *John Adair*. Gostaria de agradecer a todos os amigos do GEDAM que de alguma forma doaram do seu precioso recurso (o tempo) para a construção desse trabalho. A todos vocês (Marcelo, Marluce, Márcio, Léo, Fabrícia, Carlinhos, Felipe, Maicon, Fernanda), obrigada por me ensinaram que ciência não se faz sozinha.

Ao André agradeço a disponibilidade e disposição para ajudar e fazer o melhor pelo trabalho. Sua dedicação e companheirismo foram determinantes. Você é uma pessoa muito especial com a qual eu aprendi muito. Obrigada por todos os ensinamentos, tanto acadêmicos quanto de vida. Espero que nossa parceria possa render bons frutos.

Aos irmãos acadêmicos mais velhos Vitor, Fabiano, Nádia, Thábata, Cláudio, pelo apoio e principalmente por toda ajuda prestada na construção do trabalho. Os conselhos, as dicas, os ensinamentos e principalmente a amizade de vocês foram essenciais para meu crescimento acadêmico e pessoal.

À minha amiga Maria Flávia, por ser um exemplo de companheirismo, perseverança e lealdade. Obrigada por nossas conversas, pelas viagens, por todo o incentivo e ajuda acadêmica até mesmo antes do mestrado começar. Sou muito grata por sua amizade.

Ao prof. Herbert agradeço por receber-me no GEDAM, abrindo as portas e concedendo-me oportunidades tão valiosas. Obrigada pelos desafios, pelas conversas e principalmente pelo apoio nos momentos cruciais.

Ao prof. Rodolfo agradeço por fazer as perguntas certas nos momentos certos. Não só perguntas acadêmicas, mas perguntas que me fizeram refletir sobre a vida. Obrigada!

Ao prof. Guilherme Lage agradeço pelo incentivo e apoio durante todo o processo. Você é um exemplo para mim.

Ao prof. José Angelo Barela agradeço por aceitar o convite para participar da minha banca e por suas contribuições desde o projeto.

Às amigas Cris, Livinha, Silvana e Suzi pelo apoio e amizade. O incentivo de vocês foi crucial para a conclusão deste trabalho.

À Ana e ao Gabriel pelo apoio e amizade durante a elaboração do trabalho. Obrigada pela presença de vocês nos momentos mais delicados dessa jornada.

À Alessandra Ugrinowitsch pela amizade e oportunidade profissional.

Ao Rodrigo pela ajuda com o software e construção da tarefa.

Às CLÓS pelo apoio e por entenderem a minha ausência.

À Dani e à Débora agradeço por compartilharem comigo a maior parte das angústias desta jornada, obrigada pelo apoio e amizade de vocês. Nossos estudos ajudaram a manter o foco no que realmente importa.

À Cláudia, Taís, Priscila, Jacqueline, Júnia, Shuri, Alinilda, por segurarem os meus braços quando eu não tinha mais força para mantê-los levantados, obrigada pelo incentivo e encorajamento durante estes três anos.

A toda CH pelo apoio e orações.

À minha família, em especial as crianças: Gabriel, Bernardo, Guilherme, Laura, Matheus, Sofia, Manuela, Nicole e Letícia cujas brincadeiras e o carinho fortaleceram-me durante o processo. Agradeço também aos meus avós, tios (as), primos (as) pelo incentivo e por toda a torcida. O apoio de vocês foi fundamental para mim.

À minha mãe, Stela, grande incentivadora em tudo, obrigada por seu exemplo. Obrigada pela dedicação à nossa família e por toda a paciência e amor nos momentos mais difíceis.

Ao meu irmão Diogo, pela paciência, pelo apoio, pela torcida e incentivo.

Ao Thiago, meu marido e grande companheiro nessa jornada. Obrigada por compreender minha ausência. Obrigada pela dedicação e cuidado, por sua amizade, por seus conselhos, por sua paciência e calma nos momentos em que eu desesperai (e não foram poucos, né). É um privilégio para mim ter você em minha vida. Muito obrigada!

## RESUMO

O objetivo deste estudo foi comparar o efeito de duas magnitudes de perturbação na adaptação em uma tarefa de apontamento. Vinte voluntários (n=20), destros, universitários, sem experiência na tarefa, divididos em dois grupos em relação à magnitude da distorção da informação visual: G30 (30° de distorção) e G60 (60° de distorção) participaram do estudo. Os instrumentos utilizados foram uma mesa digitalizadora, uma caneta digital, um computador e uma caixa de madeira coberta com um tecido. A tarefa consistiu em executar um movimento de apontamento partindo de um ponto fixo em direção ao alvo. Foram utilizadas duas condições: a) apontamento para direita, partindo do ponto central e atingir um alvo à direita; b) apontamento para esquerda, partindo do ponto central e atingir um alvo à esquerda. A ordem de aparecimento dos alvos foi pseudo-aleatória para todos os sujeitos e grupos. O experimento constou de duas fases: pré-exposição com 20 tentativas para cada alvo e exposição com 80 tentativas para cada alvo. Na fase de exposição foi manipulada a distorção da informação visual, sendo que a trajetória realizada era mostrada na tela com 30° e 60° de rotação no sentido anti-horário. As medidas utilizadas foram raiz quadrada do erro médio (RMSE), tempo de movimento (TM), erro direcional em 100 ms (IDE), número de vezes que a aceleração passa pelo zero (Nacel). Para a análise dos dados foi utilizado o teste estatístico ANOVA *two-way* com post-hoc de Duncan, com nível de significância  $p < 0,05$  e foi realizado um ajuste da curva do erro por um modelo exponencial. A análise da fase de exposição indicou que o processo de adaptação dos grupos foi diferente: G30 adaptou mais rapidamente que o G60. Em relação ao mecanismo de controle empregado na adaptação, não houve diferença entre os grupos, ambos utilizaram o *feedforward*. Contudo, a eficiência desse mecanismo foi influenciada pela magnitude da perturbação, visto que houve menor eficiência para a maior magnitude de perturbação.

**Palavras-chave:** Magnitude da perturbação. Adaptação visuomotora. *Feedforward*. *Feedback* corrente. Apontamento.

## ABSTRACT

The aim of this study was to compare the effect of two perturbation sizes in adaptation in an aiming task. Twenty volunteers (n=20), right-handed, college students, naive to the purpose of the experiment. They were divided into two groups which referred to the size of visuomotor perturbation: G30 (30° of rotation) e G60 (60° of rotation) took part in this study. The task apparatus consisted of a digitizing table, a digitizing pen, a computer and a wooden box covered with a cloth. The task required to make an aiming movement from one central dot to a specific target. There were two conditions: a) aiming to the right, from the central dot to the right target; b) aiming to the left, from the central dot to the left target. The targets appeared in a pseudo-random order. The experiment consisted of two phases: pre-exposition with 20 trials for each target and exposure with 80 trials for each target. In the exposure phase the visuomotor perturbation was manipulated. The trajectory was shown in the screen with 30° and 60° rotation counter-clockwise. The measures used in the experiment were the root mean square error (RMSE), movement time (TM), initial directional error at 100ms (IDE), zero line crossing acceleration (Nacel). Statistical tests were done with two-way ANOVA with Duncan's post hoc with significance level of  $p < 0,05$  and an exponential function was applied to the RMSE exposure data. The exposition phase analysis showed that the time course of adaptation was different for the groups: G30 adapted faster than G60. There was no difference for the groups in the control mechanism during the exposition phase. Both groups used feedforward. However, the efficiency of the feedforward was influenced by the magnitude of perturbation. There was less efficiency for the bigger magnitude of the perturbation.

**Key words:** Magnitude perturbation. Visuomotor adaptation. Feedforward. Feedback online.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>FIGURA 1:</b> PERFIL DAS CURVAS DE DESLOCAMENTO, VELOCIDADE E ACELERAÇÃO DE UM MOVIMENTO DE APONTAMENTO REALIZADO SEM CORREÇÕES .....	18
<b>FIGURA 2:</b> PERFIL DAS CURVAS DE DESLOCAMENTO, VELOCIDADE E ACELERAÇÃO DE UM MOVIMENTO DE APONTAMENTO REALIZADO COM CORREÇÕES.....	18
<b>FIGURA 3:</b> VISTA FRONTAL DOS INSTRUMENTOS. ....	32
<b>FIGURA 4:</b> VISTA LATERAL DOS INSTRUMENTOS.....	35
<b>FIGURA 5:</b> EFEITO DA DISTORÇÃO DA INFORMAÇÃO VISUAL DE 60°. ....	36
<b>GRÁFICO 1:</b> MÉDIA DA RMSE NO ÚLTIMO BLOCO DA FASE DE PRÉ-EXPOSIÇÃO E NO PRIMEIRO BLOCO DA FASE DE EXPOSIÇÃO PARA OS GRUPOS G30 E G60, PARA A CONDIÇÃO DIREITA. ....	39
<b>GRÁFICO 2:</b> MÉDIA DA RMSE NO ÚLTIMO BLOCO DA FASE DE PRÉ-EXPOSIÇÃO E NO PRIMEIRO BLOCO DA FASE DE EXPOSIÇÃO PARA OS GRUPOS G30 E G60, PARA A CONDIÇÃO ESQUERDA.....	40
<b>GRÁFICO 3:</b> MÉDIA DA RMSE PARA TODOS OS BLOCOS DA FASE DE EXPOSIÇÃO DOS GRUPOS G30 E G60, PARA A CONDIÇÃO DIREITA. ....	41
<b>GRÁFICO 4:</b> MÉDIA DA RMSE PARA TODOS OS BLOCOS DA FASE DE EXPOSIÇÃO DOS GRUPOS G30 E G60, PARA A CONDIÇÃO ESQUERDA.....	42
<b>GRÁFICO 5:</b> AJUSTE PARA A CURVA DE ERRO POR MEIO DE FUNÇÃO EXPONENCIAL PARA O G30 PARA A CONDIÇÃO DIREITA.....	43
<b>GRÁFICO 6:</b> AJUSTE PARA A CURVA DE ERRO POR MEIO DE FUNÇÃO EXPONENCIAL PARA O G60 PARA A CONDIÇÃO DIREITA.....	44
<b>GRÁFICO 7:</b> AJUSTE PARA A CURVA DE ERRO POR MEIO DE FUNÇÃO EXPONENCIAL PARA O G30 PARA A CONDIÇÃO ESQUERDA.....	45



<b>GRÁFICO 8:</b> AJUSTE PARA A CURVA DE ERRO POR MEIO DE FUNÇÃO EXPONENCIAL PARA O G60 PARA A CONDIÇÃO ESQUERDA.....	46
<b>GRÁFICO 9:</b> Média do tempo de movimento (TM) em todos os blocos da fase de exposição para os grupos G30 e G60, na condição direita.....	47
<b>GRÁFICO 10:</b> MÉDIA DO TEMPO DE MOVIMENTO (TM) EM TODOS OS BLOCOS DA FASE DE EXPOSIÇÃO PARA OS GRUPOS G30 E G60, NA CONDIÇÃO ESQUERDA. ....	48
<b>GRÁFICO 11:</b> MÉDIA DO ERRO DIRECIONAL (IDE) EM TODOS OS BLOCOS DA FASE DE EXPOSIÇÃO PARA OS GRUPOS G30 E G60, NA CONDIÇÃO DIREITA. ....	49
<b>GRÁFICO 12:</b> MÉDIA DO ERRO DIRECIONAL (IDE) EM TODOS OS BLOCOS DA FASE DE EXPOSIÇÃO PARA OS GRUPOS G30 E G60, NA CONDIÇÃO ESQUERDA. ....	50
<b>GRÁFICO 13:</b> MÉDIA DO NÚMERO DE VEZES QUE A ACELERAÇÃO PASSA PELO ZERO (NACEL) EM TODOS OS BLOCOS DA FASE DE EXPOSIÇÃO PARA OS GRUPOS G30 E G60, NA CONDIÇÃO DIREITA. ....	51
<b>GRÁFICO 14:</b> MÉDIA DO NÚMERO DE VEZES QUE A ACELERAÇÃO PASSA PELO ZERO (NACEL) EM TODOS OS BLOCOS DA FASE DE EXPOSIÇÃO PARA OS GRUPOS G30 E G60, NA CONDIÇÃO ESQUERDA.....	52
<b>QUADRO 1:</b> RELAÇÃO DOS ESTUDOS E DAS MAGNITUDES DE PERTURBAÇÃO.....	25

## LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO.....	68
APÊNDICE B: PILOTO 1.....	69
APÊNDICE C: PILOTO 2.....	71
APÊNDICE D: PILOTO 3.....	74
APÊNDICE E: PILOTO 4.....	78
APÊNDICE F: .....	84

## LISTA DE ABREVIACOES

SNC: Sistema Nervoso Central

TCLE: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

ID: Índice de Dificuldade

D: Distância entre os alvos

A: Tamanho do alvo

TM: Tempo de movimento

SEG: Segundos

RMSE: Raiz quadrada do erro médio

CM: Centímetros

IDE: Erro direcional

Nacel: Número de vezes que a aceleração passa pelo zero

G30: Grupo que recebeu a magnitude de distorção da informação visual de 30°

G60: Grupo que recebeu a magnitude de distorção da informação visual de 60°

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	14
2	REVISÃO DE LITERATURA .....	15
2.1	CONTROLE MOTOR EM TAREFAS DE APONTAMENTO .....	15
2.2	<i>FEEDFORWARD</i> E <i>FEEDBACK</i> CORRENTE .....	16
2.3	ADAPTAÇÃO MOTORA .....	20
2.4	MAGNITUDE DA PERTURBAÇÃO .....	24
3	OBJETIVO .....	29
3.1	OBJETIVO GERAL .....	29
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	29
4	HIPÓTESES DE ESTUDO .....	30
5	MÉTODO .....	31
5.1	AMOSTRA .....	31
5.2	INSTRUMENTOS .....	31
5.3	TAREFA .....	32
5.4	PROCEDIMENTOS .....	34
5.5	DELINEAMENTO .....	35
5.6	VARIÁVEIS DEPENDENTES .....	37
5.7	PROCEDIMENTO ESTATÍSTICO .....	37
6	RESULTADOS .....	39

6.1	TESTE PARA VERIFICAR SE OS SUJEITOS FORAM PERTURBADOS: PRÉ-EXPOSIÇÃO VS EXPOSIÇÃO .....	39
6.2	TESTE DA HIPÓTESE 1: FASE DE EXPOSIÇÃO .....	41
6.3	TESTE DA HIPÓTESE 2: FASE DE EXPOSIÇÃO.....	47
7	DISCUSSÃO .....	53
8	CONCLUSÃO.....	62
	REFERÊNCIAS .....	63
	APÊNDICES.....	68
	ANEXO .....	85

## 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de ações habilidosas é necessário tanto para realizar ações esportivas de alto nível quanto para realizar ações cotidianas, como por exemplo, arrumar o cabelo em frente a um espelho. Este ato exige que o indivíduo seja capaz de processar sua imagem no espelho e transformar as informações sensoriais relacionadas à posição de sua cabeça e de sua mão no espaço em comandos motores que levarão a mão ao local desejado de sua cabeça e faça um movimento específico para arrumar o cabelo. Contudo, ao iniciar o movimento olhando para o espelho, a pessoa identifica que a imagem do espelho é diferente daquela planejada. Neste processo, é necessário que ocorra uma outra transformação relacionada às características do espelho, visto que os movimentos da mão no espaço real não correspondem aos seus movimentos no espelho.

Portanto, existe uma *diferença* entre o movimento executado e sua consequência sensorial percebida pelo sujeito. Tal situação exige que o sujeito adapte seus movimentos em função da imagem observada de modo que consiga realizar a ação de acordo com a sua intenção. Este processo de adaptação envolverá a modificação do padrão de correspondência entre o que é planejado e o que é visto no espelho (CUNNINGHAM, 1989). Uma vez adquirido o novo padrão de correspondência, é possível realizar a ação sem dificuldades. Quando isso ocorre, assume-se que a pessoa conseguiu se adaptar à diferença observada no espelho como consequência de seu movimento. Contudo, se a pessoa arrumar o cabelo em frente a um espelho com defeito (imagem torta), novamente apresentará dificuldade de arrumar o cabelo da forma que gostaria. Portanto, o tamanho da discrepância entre o movimento executado e a imagem observada pode interferir em como acontece a adaptação.

Considerando que a imposição de uma nova relação entre o espaço visual (imagem no espelho) e o espaço motor (movimento planejado) levará a uma necessidade de adaptação e que este processo de adaptação é influenciado pela magnitude da discrepância entre o movimento executado e sua consequência sensorial (perturbação), surge a seguinte pergunta: qual o efeito da magnitude da perturbação na adaptação?

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Controle motor em tarefas de apontamento

O controle motor é entendido como a capacidade de regular e organizar os mecanismos essenciais para a execução do movimento (SHUMWAY-COOK; WOOLLACOTT, 2003). De maneira geral, os estudos em controle motor estão centrados na investigação de como os movimentos são controlados, quando ações precisas são realizadas, ou ainda, quais as variáveis que dificultam sua realização. Neste contexto, os movimentos de apontamento são amplamente utilizados, pois permitem a manipulação de diferentes variáveis ambientais e constituem a base para inúmeras atividades diárias como apontar, alcançar, tocar e agarrar (MEYER *et al.*, 1988).

O repertório de ações direcionadas a um alvo em seres humanos é vasto e bem diversificado, podendo ser observado desde os movimentos com apenas um grau de liberdade até movimentos mais complexos que envolvem diversos graus de liberdade (FLASH; MAOZ; POLIAKOV, 2008). Os movimentos de apontamento caracterizam-se por movimentos rápidos e precisos em que uma parte do corpo desloca de uma posição inicial para uma posição terminal desejada (MEYER *et al.*, 1988). Em tarefas de apontamento, o movimento é organizado de modo que a meta da tarefa seja alcançada, mas também de modo que sua eficiência seja otimizada, que está ligada tanto à trajetória quanto à extensão do movimento que será executado (ELLIOTT, *et al.*, 2004). Em relação à trajetória, a análise do padrão dos movimentos executados indica que o modo mais econômico de ser realizar um apontamento é através da realização de trajetórias mais retilíneas possíveis em direção ao alvo (FLASH; MAOZ; POLIAKOV, 2008). No que diz respeito à extensão, existem três possibilidades de terminar movimento: i) antes do alvo (*undershoot*); ii) após o alvo (*overshoot*); iii) e no alvo. Obviamente, a forma mais eficiente é acertar diretamente o alvo. Quando isso não acontece, opta-se por realizar um *undershoot*, pois o custo energético é menor que o *overshoot* (ELLIOTT, *et al.*, 2004), caso correções sejam realizadas.

Outro fator que influencia na eficiência do movimento é a forma como este será controlado. Woodworth (1899) sugeriu que o controle de tarefas de apontamento envolveria um planejamento central anterior à execução do movimento, assim como o processamento da informação sensorial para corrigir o erro durante a execução. A partir do trabalho de Woodworth (1899), a discussão sobre o grau em que o controle dos movimentos é planejado anteriormente à sua execução ou controlado durante a execução tem sido alvo de considerável debate (DESMURGET; GRAFTON; 2000; KHAN *et al.*, 2006). Este assunto será abordado no próximo tópico.

## **2.2 Feedforward e feedback corrente**

O planejamento prévio ao início do movimento está associado ao mecanismo de *feedforward*, que pode ser definido como o mecanismo envolvido no processo de ativação muscular requerido para a execução do movimento “antes” do deslocamento da mão (DESMURGET; GRAFTON, 2000). Já as correções ocorridas no momento da execução estão associados ao mecanismo de *feedback* corrente, que pode ser definido como o mecanismo envolvido no processo de ativação muscular requerido para a execução do movimento “durante” o deslocamento da mão (DESMURGET; GRAFTON, 2000).

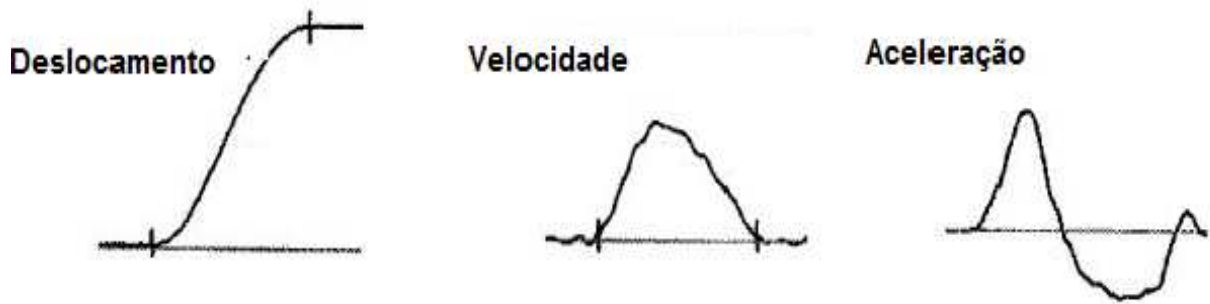
Historicamente, a utilização desses mecanismos de controle tem sido associada ao tempo disponível para realizar a ação. Isto porque a utilização do mecanismo de *feedback* corrente envolve a geração de um comando motor que envolve um atraso sensorio-motor que está em torno de 100 a 200 ms, sendo que este é devido ao tempo de condução axonal no sistema sensorial (FLANDERS, 2008). Portanto, em movimentos com duração abaixo de 200ms, o mecanismo utilizado é o *feedforward*, pois não há tempo de processar as informações relacionadas ao movimento e utilizá-las para modificá-lo durante sua execução (TSENG *et al.*, 2007).

Em situações que envolvem maior tempo de execução e que é possível realizar correções, a utilização desses dois mecanismos de controle tem sido investigada por meio de medidas cinemáticas, as quais serão explicadas adiante. Desse modo, os movimentos de apontamento têm sido descritos por variáveis cinemáticas que



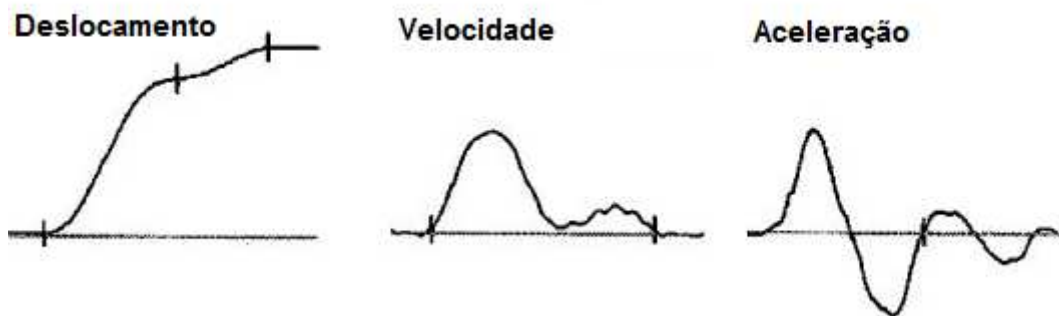
caracterizam o padrão de movimento e permitem inferir sobre o controle motor (MEYER, *et al.*, 1988; KHAN, *et al.*, 2006), mais especificamente, permitem inferir sobre como foram o planejamento prévio e as correções durante a execução do movimento. A base para definição de tais medidas está no atraso sensorio-motor relacionado à utilização do mecanismo de *feedback* corrente. Assume-se que as características do início da trajetória até o pico de velocidade refletem o planejamento do movimento (KHAN, *et al.*, 2006), pois não haveria tempo para utilizar o mecanismo de *feedback* corrente. Já as modificações nas porções finais da trajetória após o pico de velocidade (com alterações no perfil da aceleração) são associadas a processos relacionados a correções no movimento (MEYER, *et al.*, 1988; ELLIOTT, *et al.*, 2010).

Considerando-se a realização de um movimento retilíneo a partir de um ponto inicial em direção a um alvo estacionário, teríamos o seguinte perfil cinemático, que pode ser visto na Figura 1: i) deslocamento ascendente; ii) aumento da velocidade do movimento até atingir o pico e posterior diminuição até que a mão repouse no alvo (KHAN, *et al.*, 2006); iii) perfil senoidal da curva de aceleração que inicia com aceleração positiva, passa pelo zero e ao final tem aceleração negativa (KHAN, *et al.*, 2006). Contudo, as características cinemáticas do movimento serão diferentes dependendo de qual mecanismo de controle é utilizado. Isto porque as características cinemáticas do movimento se modificam em função das demandas da tarefa e das restrições da informação (ELLIOTT; BINSTED; HEATH, 1999). Esta diferença está associada à utilização ou não do mecanismo de *feedback* corrente durante a execução.



**FIGURA 1:** Perfil das curvas de deslocamento, velocidade e aceleração de um movimento de apontamento realizado sem correções. Adaptado de Khan *et al.*, 2006.

Quando o movimento é realizado sem correções, assume-se que ele está sendo controlado pelo mecanismo de *feedforward*. Nesta condição, há uma rápida e contínua modificação da posição da mão. A curva de velocidade apresenta apenas um pico, e este ocorre mais ao final do movimento. A curva de aceleração é suave e apresenta um pico de aceleração positiva e um pico de aceleração negativa. Quando o mecanismo de *feedback* corrente o pico de velocidade acontece mais rápido pois é necessário tempo para realizar a correção, além disso a curva de velocidade pode apresentar mais de um pico. A curva de aceleração apresenta mais de um pico de aceleração positiva e negativa, conforme pode ser visto na Figura 2.



**FIGURA 2:** Perfil das curvas de deslocamento, velocidade e aceleração de um movimento de apontamento realizado com correções. Adaptado de Khan *et al.*, 2006.

Além dos perfis cinemáticos, outras medidas fornecem informações sobre qual mecanismo de controle está sendo prioritariamente utilizado no controle dos movimentos. Dentre elas pode-se citar: o erro direcional (IDE), número de vezes que

aceleração passa pelo zero (Nacel) e o tempo de movimento (TM). O erro direcional (IDE) representa a diferença em graus entre a trajetória executada e a trajetória ideal (linha reta que parte da posição inicial para o alvo). Esta medida é acessada entre 80 (KAREGER; CONTREAS-VIDAL; STELMACH, 1997) a 100 ms (HINDER *et al.*, 2010) do movimento para assegurar que não há influência do *feedback* corrente no movimento. Portanto, o IDE permite inferir sobre o planejamento do movimento. Mais especificamente, sobre os erros de planejamento (KAREGER; CONTREAS-VIDAL, CLARK, 2006). O Nacel representa o número de vezes que a aceleração passa pelo zero, o que representa alterações na velocidade do membro, sendo que estas mudanças permitem inferir se foram realizadas correções durante o movimento (MEYER, *et al.*, 1988). O TM representa o tempo gasto do início do movimento até alcançar o alvo, ou seja, a duração do movimento (MEYER *et al.*, 1988).

Estas medidas não são interpretadas isoladamente; ao contrário, a combinação de cada uma delas e de seu comportamento ao longo do tempo fornecerá informação acerca do mecanismo de controle utilizado na realização do movimento. Ao se considerar uma situação hipotética em que um indivíduo realiza movimentos de apontamento em um ambiente previsível, ao longo da prática teríamos a redução do tempo de movimento. Este comportamento pode ser interpretado de duas formas: i) aumento da precisão do comando motor empregado via *feedforward*, o que leva a menor necessidade de executar correções e diminui o tempo de execução; ii) melhora da capacidade de executar as correções via *feedback* corrente em função da prática (HINDER, *et al.*, 2008; 2010). As reduções de TM e IDE combinadas à manutenção ou redução do Nacel, estão relacionadas ao *feedforward* (HINDER, *et al.*, 2008; 2010). A redução do IDE indica que o planejamento se tornou mais preciso e, por isso, o início do movimento (100ms) apresenta poucos erros, reduzindo a necessidade de realizar correções, o que é confirmado pela redução da Nacel. Com a redução do número de correções, o TM também é reduzido, pois movimentos adicionais de correção aumentam o TM. Por outro lado, a redução do TM pode ser acompanhada pela manutenção do IDE e aumento ou manutenção do Nacel, indicando que o mecanismo de *feedback* corrente está sendo utilizado. A manutenção do IDE indica que não houve modificação no planejamento do

movimento. Portanto, há necessidade de realizar correções, o que é refletido no aumento ou manutenção do Nacel (HINDER, *et al.*, 2008; 2010).

No intuito de investigar a ação dos dois mecanismos de controle em tarefas de apontamento, os estudos recentes têm utilizado diferentes estratégias. Uma delas é a oclusão da visão do membro que realiza a ação ou das porções finais da trajetória, no intuito de verificar as contribuições do mecanismo de *feedback* corrente no controle do movimento (e.x. KHAN, *et al.*, 2006). Outra estratégia é a inserção de perturbações que modificam o contexto de execução da tarefa e exigem adaptação para investigar a influência do ambiente externo no controle dos movimentos, mais especificamente, nos mecanismos de *feedforward* e *feedback* corrente. Esta estratégia pode ser mais interessante, pois fornece informações sobre os dois mecanismos envolvidos no controle de tarefas de apontamento (*feedforward*, *feedback* corrente). Conseqüentemente é necessário discutir a influência dos dois mecanismos no processo de adaptação motora. Este é o objetivo do próximo tópico.

### **2.3 Adaptação Motora**

A adaptação motora pode ser entendida como o processo pelo qual o SNC produz movimentos precisos, enquanto propriedades do corpo ou do ambiente se modificam (BERNIKER, KORDING, 2008), de que quando o desempenho retorna para níveis próximos ao da condição sem perturbação, assume-se que houve adaptação (DOYON, *et al.*, 2009). Um pré-requisito para a ocorrência da adaptação é a presença de perturbação (UGRINOWITSCH, 2003; FONSECA, 2009; UGRINOWITSCH *et al.*, 2005). Além disso, características do sistema irão interferir para ocorrência da adaptação, por exemplo a variabilidade (BENDA, 2001). A perturbação pode ser entendida como a ocorrência de mudanças no contexto de execução de uma determinada tarefa, o que causa piora no desempenho (PIPEREIT; BOCK; VERCHER, 2006). De maneira geral, quando uma perturbação é introduzida o desempenho na tarefa piora, o que é observado no aumento do erro nas tentativas iniciais de prática sob perturbação (KLASSEN; TONG; FLANAGAN; 2005; UGRINOWITSCH, *et al.*, 2005; PIPEREIT; BOCK; VERCHER, 2006). À medida que o sujeito continua a praticar sob perturbação seu desempenho tende a

melhorar (KARNIEL, 2008; UGRINOWITSCH, *et al.*, 2011). Este processo parece ocorrer tentativa a tentativa, de modo que o erro experimentado em uma dada tentativa induz a mudanças no comportamento da tentativa subsequente (XIVRY; CRISCIMAGNA-HEMMINGER; SHADMEHR, 2010). Em outras palavras, o erro experimentado em uma dada tentativa induzirá a modificações no controle motor nas tentativas subsequentes. Estas modificações ao longo da exposição a perturbação (tentativa a tentativa) caracterizam o processo de adaptação motora (KARNIEL, 2008).

A ocorrência de adaptação motora pode ser inferida através da análise do processo de adaptação (*time course of adaptation*) que tem como foco de investigação as modificações ocorridas no desempenho e nas medidas cinemáticas ao longo do tempo em que há exposição à perturbação (KAREGER; CONTREAS-VIDAL; STELMACH, 1997; ABEELE; BOCK, 2001a,b). Nestes estudos, primeiramente os sujeitos realizam a tarefa sem a presença de perturbação (*baseline* ou pré-exposição) e, posteriormente, realizam a tarefa sob perturbação.

Existem vários fatores relacionados à tarefa de apontamento que podem ser manipulados de modo que cause perturbação aos sujeitos e, conseqüentemente, gerem a necessidade de adaptação. De maneira geral, estes fatores estão associados com as informações sensoriais relacionadas à tarefa, podendo citar: número de alvos (BOCK; SCHMITZ, 2011); posição dos alvos (KRAKAUER *et al.*, 2000); posição do alvo no espaço de trabalho (WANG, 2008); tipo de informação fornecida durante a execução da tarefa (HINDER *et al.*, 2008, 2010); tipo de perturbação (KRAKAUER; GHEZ; GHILARD, 2005); previsibilidade da perturbação (RICHTER *et al.*, 2004). Estas manipulações são utilizadas porque o planejamento e a execução de movimentos da mão em direção a alvos visuais requerem que a informação visual (informação sobre a posição da mão e a localização do alvo) e a informação proprioceptiva, após serem processadas, sejam transformadas em sinais que ativarão os músculos apropriados de modo que a mão alcance o alvo (KRAKAUER *et al.*, 2000 ; KAGERER; CONTREAS-VIDAL; CLARK, 2006).

Em movimentos guiados visualmente, como é o caso de tarefas de apontamento, a transformação de sinais visuais relacionados à posição da mão e do alvo em comandos motores parece acontecer em um mapa visuomotor (CUNNINGHAM; 1989). Sua principal função é organizar as relações entre o espaço visual e o espaço motor (KAGERER; CONTREAS-VIDAL, 2009) para posterior realização do movimento, sendo que o “espaço visual” refere-se à consequência sensorial do movimento e o “espaço motor” refere-se ao movimento que é executado. Ao se considerar uma relação de correspondência entre o espaço visual e o espaço motor para visualizar um movimento retilíneo em uma direção particular no espaço visual, o sistema motor deve executar um movimento em uma direção correspondente no espaço motor (CUNNINGHAM, 1989). Por exemplo, para enxergar um traço retilíneo na direção horizontal e com sentido para a direita, o sistema motor deve mover a mão na direção horizontal e no sentido para a direita. Nesta situação, o movimento executado e sua consequência sensorial são correspondentes. Esse padrão de correspondência, segundo Cunningham (1989), é bem aprendido e automático em adultos. Entretanto, quando uma nova relação entre o espaço visual e o espaço motor é imposta, ocorre uma modificação neste padrão de correspondência (INGRAM *et al.*, 2000). Uma questão de interesse para os estudos de controle motor é a característica essencialmente adaptativa do mapa visuomotor (CUNNINGHAM, 1989; KLASSEN; TONG; FLANAGAN, 2005; PIPEREIT; BOCK; VERCHER, 2006). Esta característica tem sido estudada através da imposição de novas relações entre os movimentos realizados e sua consequência sensorial (e.x. KAGERER; CONTREAS-VIDAL, 2009). Um exemplo é a distorção de 90° da informação visual fornecida ao sujeito. Neste caso, há uma nova relação entre o espaço visual e o espaço motor, sendo que a execução de um movimento retilíneo na direção horizontal e com sentido para a direita irá se apresentar no espaço visual como um movimento retilíneo na direção vertical e com sentido para cima.

Nos primeiros momentos em que é inserida esta nova relação entre o espaço motor e o espaço visual (distorção da informação visual), é possível observar um comportamento com muitos erros (ABEELE; BOCK, 2001a). Contudo, após um período de prática, o desempenho se aproxima ao apresentado em condições sem distorção da informação visual (KAGERER; CONTREAS-VIDAL; CLARK, 2006).

Este comportamento permite inferir que houve adaptação visuomotora (KRAKAUER, *et al.*, 2000) e que esta ocorreu em função de modificações no controle motor (KARNIEL, 2008). A modificação no controle motor visando adaptação a uma determinada perturbação, poderá fazer com que um mecanismo de controle apresente maior contribuição no resultado final do movimento que outro (PROFETA, 2009). Algumas dessas situações envolvendo a adaptação visuomotora são exemplificadas a seguir.

Cunningham (1989) ao avaliar o tamanho do erro em relação à magnitude da distorção visual identificou uma baixa correlação entre o erro angular; medida que em graus que indica a direção do movimento nos 100ms iniciais do movimento e o erro total da tentativa, medida em cm que indica a diferença entre a trajetória realizada e uma trajetória ideal (retilínea) ligando o ponto inicial ao alvo. Este autor concluiu que as correções realizadas ao final da trajetória contribuíram para a redução do erro total, assumindo assim que o mecanismo de *feedback* corrente foi o mais utilizado para alcançar a meta da tarefa. Resultados opostos foram encontrados por Bernier, Chua, Franks (2005) seus resultados mostraram que, após a adaptação, os movimentos foram executados exclusivamente pelo mecanismo de *feedforward*. Estes autores chegaram a esta conclusão por meio da determinação de marcos cinemáticos na curva de deslocamento e da identificação que os dois terços finais da trajetória não sofreram modificação quando o sujeito foi exposto à perturbação, e atingiu a meta. Isso indica que o processo de adaptação levou a uma modificação no comando motor e o movimento foi iniciado para compensar a perturbação.

Hinder *et al.*. (2008) avaliaram o TM, erro angular e tempo de reação e identificaram redução do TM e do erro angular. A redução do erro angular foi explicada por estes autores pela melhora do planejamento do movimento, o qual era iniciado para compensar a perturbação. A redução do TM é explicada pela menor necessidade de realizar correções devido à melhora do planejamento. A análise conjunta dessas medidas permitiu concluir que o mecanismo empregado para vencer a perturbação e alcançar a meta foi o *feedforward*. Este resultados mostram que a perturbação

influencia no processo de adaptação e nos mecanismos de controle. Este será o assunto do próximo tópico.

## **2.4 Magnitude da Perturbação**

Partindo do pressuposto que a perturbação é uma mudança no contexto de execução de uma determinada tarefa, que causa piora no desempenho (PIPEREIT; BOCK; VERCHER, 2006), a magnitude da perturbação refere-se a quanto de perturbação é imposto ao sujeito, ou seja, a demanda que a perturbação imprime ao sujeito (UGRINOWITSCH; TANI, 2005). Especificamente em relação à distorção da informação visual, a manipulação da magnitude da perturbação se dá através da distorção (modificação do ângulo de rotação) da informação visual. Neste modelo experimental, quanto maior o ângulo de rotação, maior a discrepância entre o movimento executado e sua consequência sensorial observada (INGRAM *et al.*, 2000; ABEELE; BOCK, 2001a; ABEELE; BOCK, 2001b). Entretanto, o aumento da discrepância entre o movimento executado e sua consequência sensorial não implica em aumento da magnitude da perturbação.

Abaixo é apresentado um quadro que permite verificar quais as magnitudes têm sido utilizadas nos estudos com distorção da informação visual.



**QUADRO 1:** Relação dos estudos e das magnitudes de perturbação (em graus).

<b>Autores/Ano</b>	<b>Magnitude de distorção (GRAUS)</b>
CUNNINGHAM, 1989	0, 45, 90, 135, 180
KAREGER;CONTREAS-VIDAL; STELMACH, 1997	0 a 90 (10 em 10)
KRAKAUER, GHILARDI, GHEZ, 1999	30
ROBERTSON; MIALI, 1999	0 a 15 (1 em 1)
KRAKAUER, <i>et al.</i> , 2000	30
BUCH, YOUNG, CONTREAS-VIDAL, 2003	11.25 até 90 (1.25 em 1.25)
ABEELE;BOCK, 2001a	0, 45, 60, 90
ABEELE; BOCK, 2001b	45, 60, 75, 90, 120, 105, 150, 135, 180
BOCK, O; ABEELE, S.; EVERSHEIM, U, 2003	30, 60, 90, 120, 180
ABEELE; BOCK, 2003	60
WANG, SAINBURG, 2005	30
KLANSSEN, TONG, FLANAGAN, 2005	0 a 30 (10 em 10)
KAGERER,CONTREAS-VIDAL, CLARK, 2006	10 a 60 (10 em 10)
PIPEREIT, BOCK, VERCHER, 2006	60
WOOLLEY <i>et al.</i> , 2007	30
TSENG <i>et al.</i> , 2007	20
HINDER <i>et al.</i> , 2008	60
KAGERER; CONTREAS-VIDAL, 2009	60
GALEA <i>et al.</i> , 2010	30
GRITSENKO; KALASKA, 2010	60
HINDER <i>et al.</i> , 2010	60 , -60
BOCK, SCHMITZ, 2011	30, 60

Os estudos apresentados no Quadro 1 centraram suas investigações nas seguintes perguntas: i) como a exposição à uma magnitude pode interferir na adaptação a

magnitudes maiores e menores (ABEELE; BOCK, 2001 a, b; BOCK *et al.*, 2003)?; ii) existe um ângulo de distorção da informação visual mais difícil que outros (CUNNINGHAM, 1989; ABEELE; BOCK, 2001)?; iii) como é o comportamento dos indivíduos sob diferentes magnitudes de distorção (ABEELE; BOCK, 2001a, b)?; iv) diferentes formas de impor a mesma magnitude ocasiona diferença no processo de adaptação (KAREGER; CONTREAS-VIDAL; STELMACH, 1997; INGRAM *et al.*, 2000; GALEA *et al.*, 2010)?; v) existe relação entre a forma de imposição das magnitudes e a idade dos sujeitos (BUCH; YOUNG; CONTREAS-VIDAL, 2003); o tipo de *feedback* fornecido durante a exposição à distorção afeta a adaptação (HINDER *et al.*, 2008; 2010)?; vii) como indivíduos lesionados ou com algum deficit cognitivo se adaptam a diferentes magnitudes de perturbação (ROBERTSON; MIAL, 2000; KAREGER; CONTREAS-VIDAL; CLARK, 2006)?

Apesar de utilizarem do mesmo paradigma experimental, ou seja, a imposição de distorções visuais, os estudos apresentaram resultados distintos no que se refere à relação da magnitude de distorção imposta com o erro por ela gerado. Alguns estudos indicaram que quanto maior a discrepância entre o movimento executado (espaço motor) e sua consequência sensorial (espaço visual), maiores são os erros nas tentativas iniciais de prática (e.g. HINDER *et al.*, 2007, 2008, 2010). Contudo, outros estudos identificaram uma relação não linear entre a magnitude da distorção imposta e o erro por ela gerado nas tentativas iniciais de prática: magnitudes muito pequenas -  $0^\circ$  a  $30^\circ$  - ou muito grandes -  $150^\circ$  a  $180^\circ$  - causam menor erro do que magnitudes intermediárias -  $50^\circ$  a  $140^\circ$  - (CUNNINGHAM, 1989; ABEELE; BOCK, 2001a, b; BOCK; ABEELE; EVERSHEIM, 2003). Esta aparente contradição deve ser considerada com cautela, visto que os ângulos de distorção empregados nos estudos foram diferentes; portanto, uma comparação direta de seus resultados poderia levar a conclusões falsas. Por exemplo, em um estudo a maior magnitude de distorção foi  $180^\circ$  (ABEELE; BOCK, 2001) enquanto que em outro a maior magnitude foi  $60^\circ$  (HINDER *et al.*, 2010). Devido a estas diferenças metodológicas, torna-se difícil estabelecer uma relação clara entre a magnitude da distorção imposta e o erro por ela gerado. Apesar disso, ainda é possível identificar que diferentes magnitudes de distorção causam erros com tamanhos distintos. Se os erros experimentados durante a exposição são utilizados para a adaptação nas tentativas

subsequentes, diferentes magnitudes de perturbação influenciarão de forma distinta o processo de adaptação.

Uma evidência para esta afirmação é o desenvolvimento de diferentes processos de adaptação em função da magnitude da distorção da informação visual. Abeelee e Bock (2001b) encontraram que quando uma distorção com um ângulo abaixo de  $90^\circ$  é aplicada, os sujeitos optam por ajustar sua trajetória de forma contínua e progressiva até alcançar o valor próximo ao ângulo de distorção imposto. Entretanto, quando os valores do ângulo de distorção ultrapassam  $90^\circ$ , os sujeitos modificam a estratégia e optam por inverter completamente a trajetória do movimento, realizando-a no sentido oposto ao alvo. Após esta primeira mudança de sentido, os sujeitos ajustam gradativamente seu movimento até alcançar os valores próximos ao da distorção imposta. Este resultado corrobora a afirmação que diferentes magnitudes influenciam no controle motor e conseqüentemente o processo de adaptação.

A análise dos valores de magnitude de distorção utilizados nos estudos apresentados no quadro I permite identificar que poucos artigos trabalharam com magnitudes acima de  $90^\circ$ . A maior parte dos estudos utilizou as distorções de  $30^\circ$  e  $60^\circ$ . Contudo, o único destes estudos que comparou o comportamento sob estas duas distorções foi o de Bock e Schmitz (2011). Estes autores encontraram diferença no processo de adaptação em função da magnitude da perturbação. Mais especificamente, os erros no início da exposição foram maiores sob a distorção de  $60^\circ$ . E ainda, a redução do erro durante as tentativas de prática foi mais rápida e alcançou a estabilidade com menor número de tentativas na distorção de  $30^\circ$  em comparação à distorção de  $60^\circ$ .

Kagerer, Contreas-Vidal, Clark (2006) demonstraram que crianças com desordem do desenvolvimento da coordenação tiveram dificuldades em planejar a ação quando o erro experimentado durante a exposição foi pequeno. Eles utilizaram a imposição gradual de distorção da informação de  $10^\circ$  até  $60^\circ$  e compararam à imposição abrupta a  $60^\circ$ . Estes autores associaram uma possível deficiência cerebelar com a capacidade de detectar e processar o sinal de erro. A dificuldade de processamento desse erro impediu que a adaptação ocorresse, o que indica que há uma associação

entre o erro experimentado durante a exposição e o mecanismo de controle empregado.

Uma evidência para esta afirmação vem dos resultados encontrados por Gritsenko e Kalaska (2010), que encontraram uma supressão do mecanismo de *feedback* corrente em função da exposição a distorções da informação visual. Contudo, um resultado interessante encontrado por estes autores foi que a supressão do mecanismo de *feedback* corrente aconteceu mais fortemente quando havia maior dissociação entre a informação visual e o movimento executado. Em outras palavras, quando a magnitude da distorção foi maior que 30°, a supressão do mecanismo de *feedback* corrente foi mais forte. Este achado aponta para uma possível interferência da magnitude da perturbação nos mecanismos de controle utilizados na adaptação.

Levando-se em consideração que a magnitude da perturbação leva a diferentes tamanhos de erro durante a exposição e que esses erros podem levar a mudanças no controle motor, influenciando a adaptação, surge a seguinte questão: qual o efeito da magnitude da perturbação na adaptação?

### 3 OBJETIVO

#### 3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do presente estudo foi investigar qual o efeito da magnitude da perturbação na adaptação em uma tarefa de apontamento.

#### 3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do presente estudo foram:

- Investigar se diferentes magnitudes de perturbação levam a diferentes processos de adaptação.
- Investigar quais os mecanismos de controle, *feedforward* ou *feedback* corrente serão empregados na adaptação em função da magnitude da perturbação.

#### 4 HIPÓTESES DE ESTUDO

A partir dos objetivos propostos, duas hipóteses foram testadas:

Hipótese 1: A adaptação acontecerá mais rapidamente para a magnitude de  $30^\circ$  em comparação à magnitude de distorção de  $60^\circ$ .

Hipótese 2: Na adaptação à maior magnitude, o mecanismo de controle que predominará será o *feedforward*.

## 5 MÉTODO

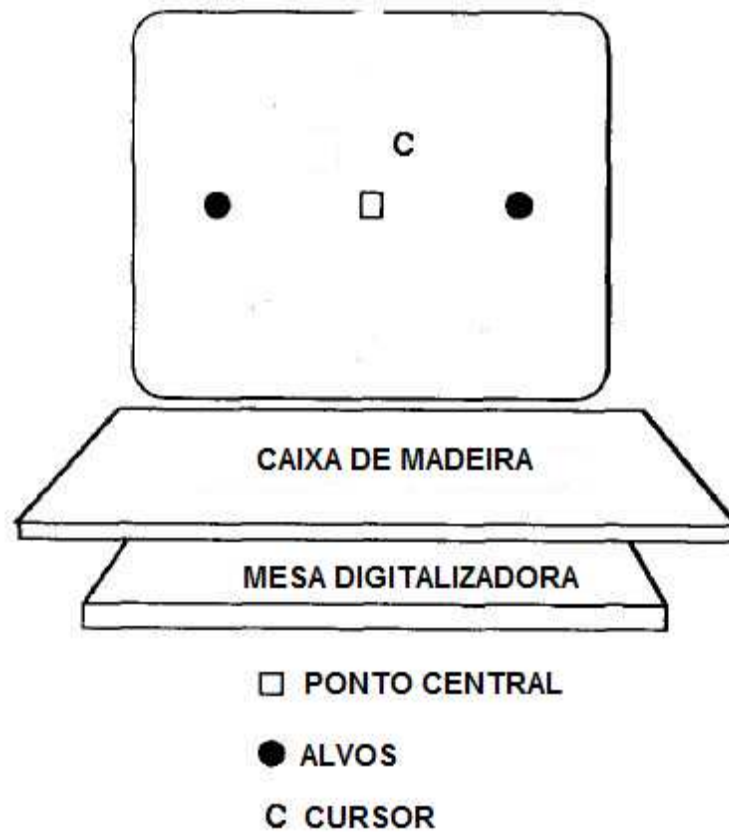
### 5.1 Amostra

O presente estudo obteve a aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa (COEP) da Universidade Federal de Minas Gerais sob o parecer ETIC 0397.0.203.000-10. Participaram deste estudo 27 indivíduos de ambos os sexos (12 homens e 15 mulheres), destros, inexperientes na tarefa. Todos os indivíduos apresentavam visão normal ou corrigida. Devido a problemas técnicos no momento da coleta de dados, sete sujeitos não puderam ter seus dados analisados e não foram discutidos neste estudo. Portanto, foram analisados os dados de 20 sujeitos. Todos os indivíduos assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) apresentado no APÊNDICE A.

### 5.2 Instrumentos

Os instrumentos utilizados foram um computador Intel Pentium Dual Core E2220-2,40 GHz, um monitor 22" (Samsung 60Hz, 1280X800'), uma mesa digitalizadora com dispositivo *wireless* e sensível à pressão (WACON-INTUOS 3 - 9 x 12) com frequência de captura de 200Hz, uma caneta digital (INTUOS 3) compatível com a mesa digitalizadora, uma caixa de madeira, uma mesa de madeira e uma cadeira com regulagem de altura. A mesa digitalizadora foi colocada sobre a mesa de madeira, conectada ao computador e controlada pelo *software* MovAlyzer da Neuroscript versão 6.1. Acima da mesa de madeira foi colocada a mesa digitalizadora. A caixa de madeira foi envolta com um tecido, que encobria a mesa digitalizadora de forma que os voluntários não visualizassem a movimentação de sua mão durante a execução da tarefa. Este procedimento foi adotado para garantir o efeito da perturbação, uma vez que as informações sobre a execução estavam representadas somente na tela do computador (INGRAM *et al.*, 2000; PROTEAU; ROUJOULA; MESSIER, 2009). Apesar de privar a visão do membro, o tecido não limitou seu deslocamento. O monitor do computador foi posicionado em cima da

caixa de madeira, perpendicular à mesa digitalizadora, de frente para os sujeitos (FIGURA 3).



**FIGURA 3:** Vista frontal dos instrumentos. Adaptado de Cunningham, 1989

### 5.3 Tarefa

A tarefa utilizada consistiu em deslocar a caneta sobre a mesa digitalizadora partindo de um ponto fixo denominado “INÍCIO” em direção a um dos dois alvos equidistantes do centro e posicionados a  $0^\circ$  e  $180^\circ$  em relação ao ponto central. A posição dos alvos adotada foi baseada no referencial teórico que postula que o controle motor é diferente quando o movimento é realizado no lado ipsilateral ou contralateral do corpo (ISHIHARA; IMANAKA, 2007). Mais especificamente, o processamento visual parece ser influenciado pela posição do alvo. Como no presente estudo a variável manipulada (distorção da informação visual) está relacionada ao processamento visual, optou-se por utilizar um alvo em cada lado do corpo. Para garantir que a



execução do movimento para um lado não gerasse interferência na execução para o outro lado, os alvos foram posicionados a uma maior distância possível, mas com a mesma distância do centro. Isto porque quanto maior a distância entre os alvos, menor a possibilidade de interferência de um em relação ao outro (KRAKAUER *et al.*, 2000; WANG; SAINBURG, 2005). Portanto, a localização do alvo determinou duas condições no presente experimento: condição direita (alvo à direita do ponto central) e condição esquerda (alvo à esquerda do ponto central).

O ponto central (INÍCIO) que determinava o início da tarefa foi posicionado no centro da tela do computador tanto no plano vertical quanto no horizontal. A distância do ponto central (INÍCIO) para cada um dos dois alvos foi de 5 cm e o diâmetro dos alvos foi de 0,5 cm (variáveis definidas por estudo piloto: APÊNDICE B), o que conferiu um índice de dificuldade (ID) mediano de 3.45 bits, visto que  $ID = \log_2(2D/A)$  de acordo com o cálculo proposto por Fitt's e Peterson (1964). Nesta fórmula, D representa a distância entre os alvos e A representa a largura do alvo.

No presente estudo foi utilizado um ID intermediário constante, pois Seidler, Noll e Thiers (2004) encontraram que o índice de dificuldade da tarefa gera modificações de locais de ativação neural. Mais especificamente, estes autores demonstraram que áreas relacionadas ao mecanismo de *feedforward* e *feedback* corrente modificavam a ativação dependendo da dificuldade da tarefa. Além disso, quando o ID era pequeno (abaixo de 2), havia maior ativação neural de áreas relacionadas ao mecanismo de *feedback* corrente. Contudo, quando o ID era grande (acima de 4), havia maior ativação neural de áreas relacionadas ao mecanismo de *feedforward*.

Quando os sujeitos realizavam os movimentos em direção aos alvos na mesa digitalizadora, utilizando a caneta, eles apareciam na tela do computador em tempo real através de um cursor em cor vermelha em todas as tentativas. Antes do início de cada tentativa, os voluntários deveriam posicionar o cursor no ponto INÍCIO. Este permaneceu na tela por um tempo de aproximadamente 3 segundos, tempo em que o sujeito deveria posicionar a caneta neste alvo para iniciar a tarefa. Quando os voluntários atingiam o ponto INÍCIO, este modificava de cor, passando de azul para

verde indicando que uma nova tentativa teria início. Após tocar o ponto INÍCIO em um intervalo de 1,5 segundos, um dos dois alvos (direito ou esquerdo) aparecia acompanhado por um estímulo sonoro que indicava que o sujeito deveria iniciar o movimento. O estímulo sonoro e a alteração da cor dos alvos contribuíram para que os indivíduos mantivessem a atenção na tarefa.

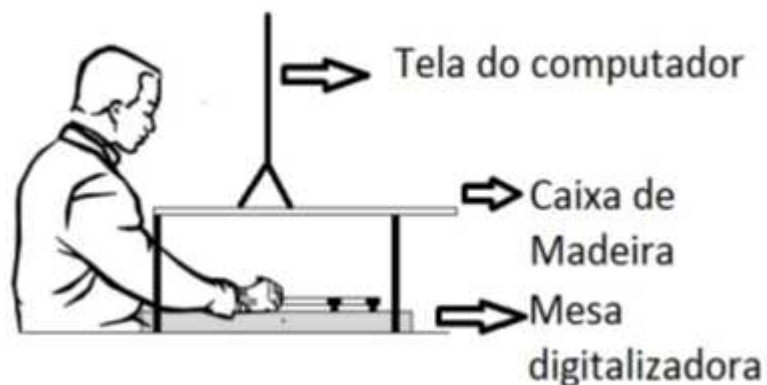
Quando o alvo era atingido, sua cor passava de azul para verde. Neste momento, o sujeito deveria retornar a caneta ao ponto INÍCIO e outro alvo aparecia. A ordem de aparecimento dos alvos foi pseudo-aleatória para todos os sujeitos. A duração de cada tentativa variou de acordo como sujeito, com um tempo máximo de 1,5 segundos na fase de pré-exposição e 3 segundos na fase de exposição (definido em estudo piloto dados apresentados no APÊNDICE D ). Os sujeitos foram instruídos a utilizar sua mão dominante e executar o movimento de forma rápida e precisa possível em direção ao alvo. Foram instruídos também a manter seu olhar na tela do computador. Os critérios que determinaram o início do movimento foram valores de pressão diferente de zero, indicando que a caneta tocou a mesa e a saída do cursor (caneta) do diâmetro do ponto central (0,5cm), dado pela resultante das coordenadas nos eixos X e Y. O final do movimento foi determinado pelo momento em que a resultante das coordenadas (X,Y) tivesse um valor inferior ao diâmetro do alvo e quando a aceleração atingisse valores abaixo de  $5 \text{ cm/s}^2$ .

#### **5.4 Procedimentos**

Todos os voluntários foram abordados na Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG, sendo encaminhados para uma sala do Grupo de Estudos em Desenvolvimento e Aprendizagem Motora (GEDAM), onde ocorreu a coleta de dados. Ao chegarem ao local da coleta, os sujeitos leram e assinaram o TCLE. Posteriormente, receberam as instruções da tarefa por escrito e suas dúvidas foram esclarecidas. Quando não havia mais dúvidas, os sujeitos eram convidados a se sentarem na cadeira. Neste momento, o experimentador realizava a regulagem da altura da cadeira, posicionava o sujeito centralizado em relação à mesa e à tela,

sendo que esta posição era mantida até o final do experimento. Uma vez finalizados estes procedimentos, tinha início a primeira fase.

A altura da mesa de madeira manteve-se fixa durante todo o experimento (0,75m). A altura da cadeira foi regulada de acordo com a altura dos voluntários de modo que a posição do tronco fosse a mais confortável possível para a execução dos movimentos. A posição da mesa em relação ao corpo do voluntário foi padronizada para que o centro da mesa coincidisse com a linha média do corpo dos sujeitos. Os voluntários sentavam na cadeira com os pés apoiados no chão, com braço direito posicionado dentro da caixa de madeira (FIGURA 4). Os mesmos foram orientados a segurar a caneta de modo que lhe parecesse mais confortável para a execução da tarefa.

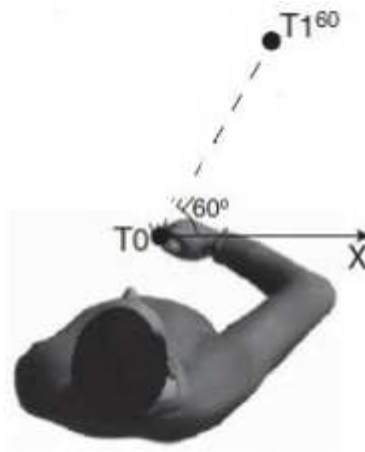


**FIGURA 4:** Vista lateral dos instrumentos. Adaptado de Proteau, Roujoula, Messier, 2009

### 5.5 Delineamento

A variável independente do estudo é a magnitude da perturbação, que foi inserida na forma de distorção da informação visual, ou seja, a informação referente à trajetória da caneta sofreu uma rotação em graus, fazendo com que o movimento do cursor na

tela fosse diferente (distorcido) do executado pelo sujeito. Foram empregadas duas magnitudes baseadas nos ângulos de distorção da informação visual:  $30^\circ$  e  $60^\circ$ , formando assim dois grupos, G30 e G60, respectivamente (estas magnitudes foram definidas por estudo piloto: APÊNDICE B e C) . A representação esquemática do efeito da distorção de  $60^\circ$  encontra-se na Figura 5.



**FIGURA 5:** Efeito da distorção da informação visual de  $60^\circ$ . O movimento executado para a direita representado pelo X aparece na tela com uma rotação de  $60^\circ$  no sentido anti-horário. Adaptado de Gritsenko, Kalaska., (2010).

O experimento constou de duas fases: pré-exposição e exposição. Na fase de pré-exposição, os sujeitos executaram os movimentos de apontamento em direção aos alvos em um total de 40 tentativas, divididas em 20 tentativas para a direita e 20 tentativas para a esquerda (em ordem pseudo-aleatória). Este número de tentativas foi definido por estudo piloto e os dados estão apresentados no APÊNDICE E. Nessa fase, não houve a manipulação da magnitude da perturbação; portanto, os movimentos do cursor na tela correspondiam aos movimentos da caneta.

Na fase de exposição houve a manipulação da magnitude da perturbação. Os dois grupos realizaram 80 tentativas para cada alvo na mesma tarefa da primeira fase, porém, a informação visual sobre o movimento realizado poderia ser em duas magnitudes. As perturbações foram previsíveis durante toda a fase de exposição, ou seja, em todas as tentativas da fase de exposição era apresentada a perturbação.

## 5.6 Variáveis Dependentes

As variáveis dependentes analisadas neste estudo foram: tempo de movimento (TM), raiz quadrada do erro médio (RMSE), erro direcional inicial (IDE) até 100 ms e número de vezes que aceleração passa pelo zero (Nacel). O TM representa o tempo gasto em segundos (seg) para deixar o ponto inicial e alcançar o alvo ou finalizar a tentativa. A RMSE representa a diferença em centímetros (cm) e ponto a ponto entre a trajetória executada e a trajetória ideal (linha reta do ponto inicial até o alvo). O IDE representa a diferença em graus (°) entre a trajetória executada e a trajetória ideal em 100ms. A Nacel representa o número de vezes que há passagem da curva de aceleração pelo zero, indicando se houve correção durante a execução do movimento (KHAN *et al.*, 2006).

## 5.7 Procedimento Estatístico

Os dados de deslocamento no eixo x, que é o eixo principal do movimento (KHAN *et al.*, 2006), foram filtrados por meio do filtro Butterworth passa-baixa, segunda ordem, com frequência de corte de 10Hz. Após suavização da curva de deslocamento no eixo x pelo processo de filtragem, a primeira (velocidade) e segunda (aceleração) derivadas foram calculadas. Os dados foram analisados em blocos de cinco tentativas separadamente para as condições direita e esquerda, sendo previamente avaliados quanto à sua normalidade e, após serem alcançados os critérios, optou-se pela realização de testes estatísticos paramétricos. Os testes estatísticos empregados na análise dos dados variaram de acordo com o tipo de comparação realizada. O índice de significância adotado para todas as medidas foi  $p < 0,05$ .

Conforme citado anteriormente (pagina 22) um pré-requisito para estudar a adaptação é a perturbação realmente perturbar o sujeito, o que é observado na queda do desempenho. Para testar este efeito foi realizada a comparação da RMSE do último bloco da pré-exposição com o primeiro bloco da exposição. Para esta análise o teste estatístico utilizado foi a ANOVA *two way* com post hoc de Duncan. Para verificar se os grupos adaptaram foi realizada a comparação do desempenho

(RMSE) do último bloco da pré-exposição com o último da exposição, considerando dois desvios padrão da média. Quando houve interação significativa entre fator grupo vs blocos, foi realizada a análise de desdobramento em que as comparações são feitas fixando um fator e desdobrando os níveis do outro fator.

Caso a perturbação manipulada tenha perturbado os sujeitos, seguirá a testagem das hipóteses. Para testar a primeira hipótese foi realizada a comparação do desempenho (RMSE) dos grupos ao longo das tentativas. Esta comparação foi realizada separadamente para os alvos à direita e à esquerda. O teste estatístico utilizado foi a ANOVA *two way*, com post hoc de Duncan. Para melhor compreender o processo de adaptação (hipótese 1), foi realizado um ajuste da curva de erro por meio de um modelo exponencial, sendo a função que modela dada por:

$$Y_i = a \exp(bX_i) + \varepsilon_i \quad (1)$$

Nesta função tem-se que  $a$  e  $b$  são os parâmetros do modelo;  $X_i$  são constantes conhecidas (variável preditora) e  $\varepsilon_i$  são os termos do erro, independentes, com distribuição normal de média 0 (zero) e variância  $\sigma^2$ . Esta análise foi realizada no Matlab 7.5.

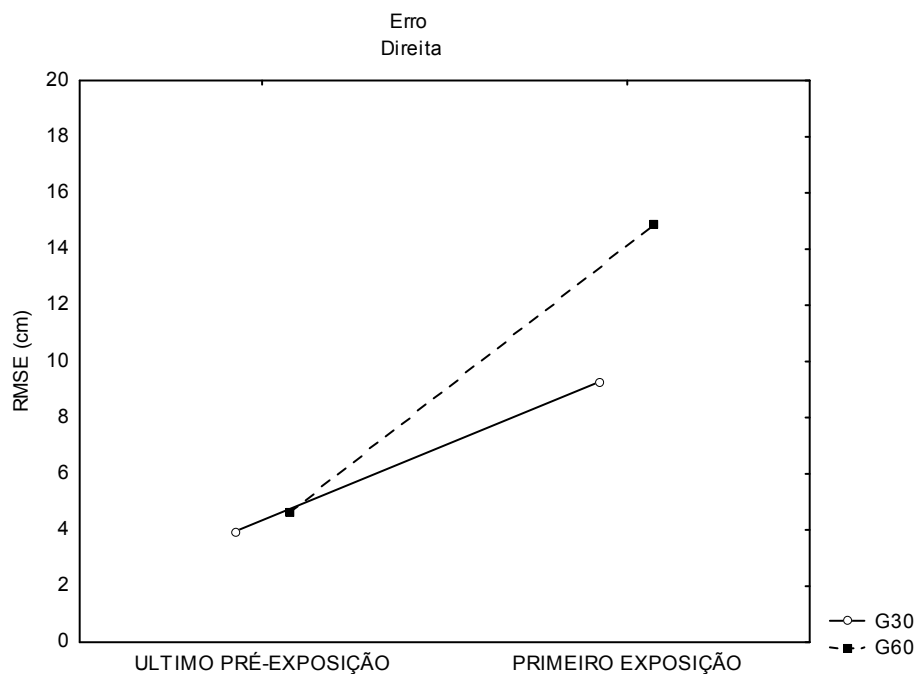
Para testar a segunda hipótese foi realizada a comparação do TM, IDE e Nacel dos grupos ao longo das tentativas. Esta comparação foi realizada separadamente para os alvos à direita e à esquerda. O teste estatístico utilizado foi a ANOVA *two way*, com post hoc de Duncan. Todas as análises, exceto o ajuste da curva de erro por meio da função exponencial, foram realizadas por meio do pacote Statistica for Windows 10.0.

## 6 RESULTADOS

### 6.1 Teste para verificar se os sujeitos foram perturbados: Pré-exposição vs Exposição

DIREITA:

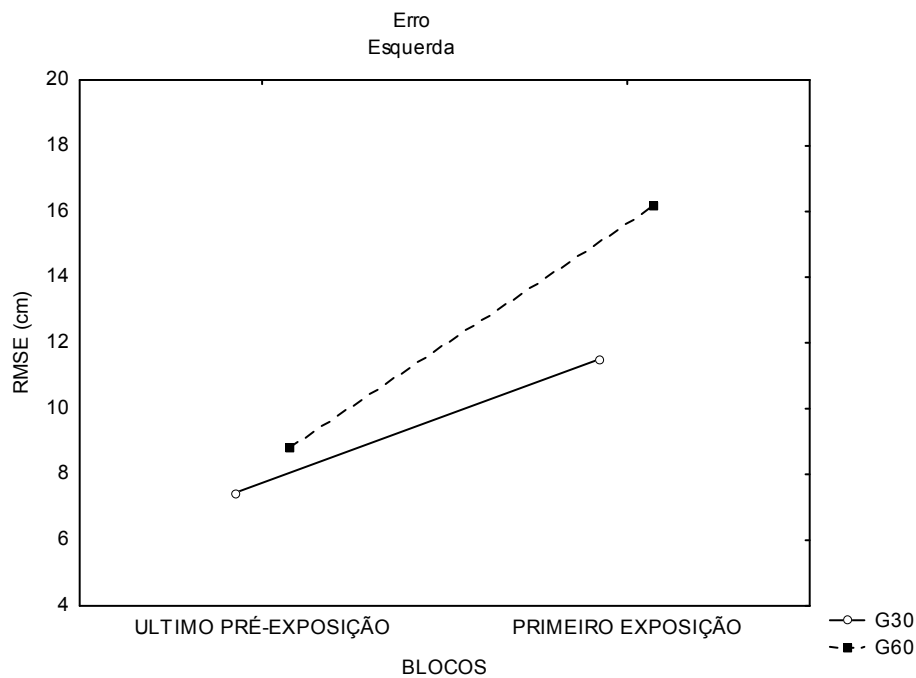
A análise do RMSE do último bloco da pré-exposição em relação ao primeiro bloco da exposição indicou diferença significativa no fator blocos  $F(1, 18) = 164,735$ ,  $p = 0,0001$ , grupos  $F(1, 18) = 16,71$ ,  $p = 0,0006$  e interação  $F(1, 18) = 16,27$ ,  $p = 0,0007$ . A análise de desdobramento fixando o fator grupos detectou que a RMSE aumentou do último bloco da pré-exposição para o primeiro bloco da exposição para os dois grupos ( $p = 0,0001$ ) (GRÁFICO 1). Além disso, quando o fator blocos foi fixado, o G30 apresentou menor erro que o G60 no primeiro bloco da fase de exposição ( $p = 0,0001$ ).



**GRÁFICO 1:** Média da RMSE no último bloco da fase de pré-exposição e no primeiro bloco da fase de exposição para os grupos G30 e G60, para a condição direita.

ESQUERDA:

A análise do RMSE do último bloco da pré-exposição em relação ao primeiro bloco da exposição indicou diferença significativa no fator blocos  $F(1, 18) = 84,40$ ,  $p = 0,0001$ , grupos  $F(1, 18) = 12,87$ ,  $p = 0,002$  e interação  $F(1, 18) = 7,06$ ,  $p = 0,015$ . A análise de desdobramento fixando o fator grupos detectou que a RMSE aumentou do último bloco da fase pré-exposição para o primeiro bloco da fase exposição para os dois grupos ( $p = 0,001$ ) (GRÁFICO 2). Além disso, quando o fator blocos foi fixado, o G30 apresentou menor erro que o G60 no primeiro bloco da fase exposição ( $p = 0,0001$ ).



**GRÁFICO 2:** Média da RMSE no último bloco da fase de pré-exposição e no primeiro bloco da fase de exposição para os grupos G30 e G60, para a condição esquerda.

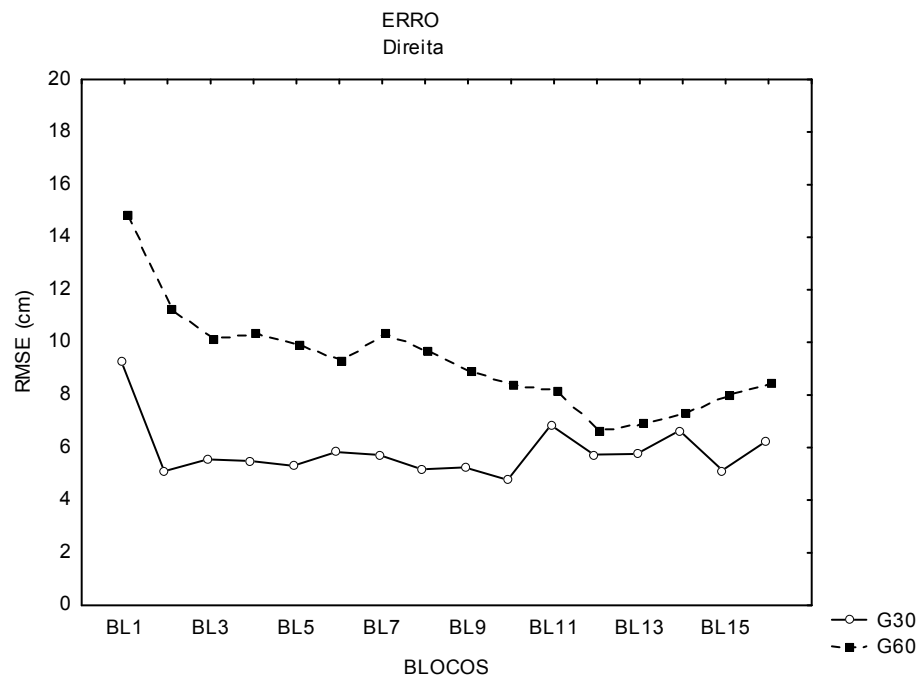
Como os dois grupos pioraram o desempenho sob perturbação, a partir de agora serão testadas as duas hipóteses.



## 6.2 Teste da hipótese 1: Fase de exposição

DIREITA:

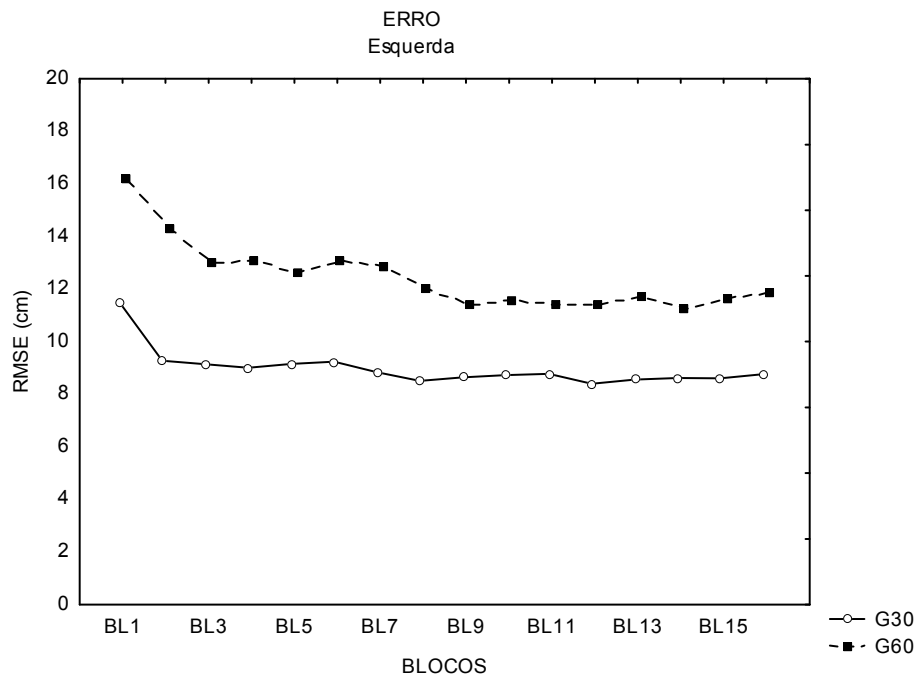
A análise do RMSE durante a fase de exposição indicou diferença significativa no fator blocos  $F(15, 270) = 9,94$ ,  $p = 0,0001$ , grupos  $F(1, 18) = 7,98$ ,  $p = 0,01$  e interação  $F(15, 270) = 4,12$ ,  $p = 0,0001$ . A análise de desdobramento fixando o fator grupos detectou que o erro diminuiu do primeiro para os demais blocos da exposição para os dois grupos (GRÁFICO 3), G30 ( $p = 0,01$ ) e G60 ( $p = 0,0002$ ). Além disso, quando o fator blocos foi fixado os blocos de 1 a 9 do G30 apresentaram menor erro que os blocos 1 a 9 do G60 ( $p = 0,0005$ ).



**GRÁFICO 3:** Média da RMSE para todos os blocos da fase de exposição dos grupos G30 e G60, para a condição direita.

ESQUERDA:

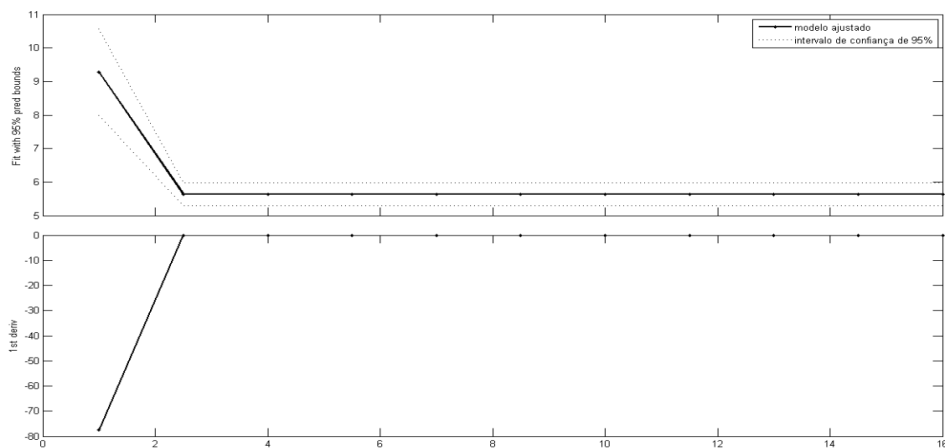
A análise do RMSE durante a fase de exposição indicou diferença significativa no fator blocos  $F(15, 270) = 17,33$ ,  $p = 0,0001$ , grupos  $F(1, 18) = 13,92$ ,  $p = 0,0015$ , e interação  $F(15, 270) = 2,18$ ,  $p = 0,007$ . A análise de desdobramento fixando o fator grupos detectou que o erro diminuiu do primeiro para os demais blocos da exposição para o G30 ( $p < 0,0001$ ) e para o G60 ( $p < 0,006$ ). Além disso, quando o fator blocos foi fixado o G30 apresentou menor erro que o G60 durante toda a fase de exposição. (GRÁFICO 4).



**GRÁFICO 4:** Média da RMSE para todos os blocos da fase de exposição dos grupos G30 e G60, para a condição esquerda.

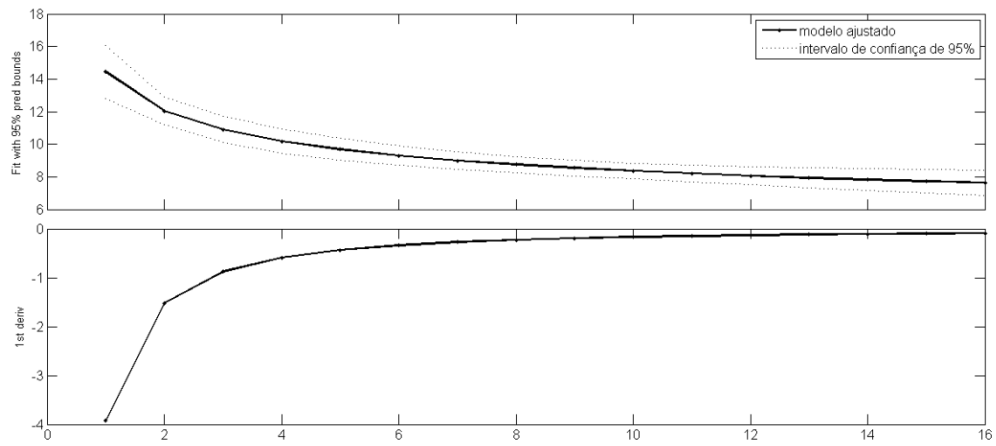
DIREITA:

A análise do ajuste da curva de erro por meio da função exponencial para o G30 indicou que para a condição direita, a derivada reduziu para valores próximos a zero na décima tentativa. O que indica que, para este grupo, a adaptação ocorreu próximo a décima tentativa. Os parâmetros da análise foram :a = 3.642 (2.299, 4.984) e b = -21.3 (-23.69, -1.243). A qualidade do ajuste foi R ajustdo = 0.917.



**GRÁFICO 5:** Ajuste para a curva de erro por meio de função exponencial para o G30 para a condição direita.

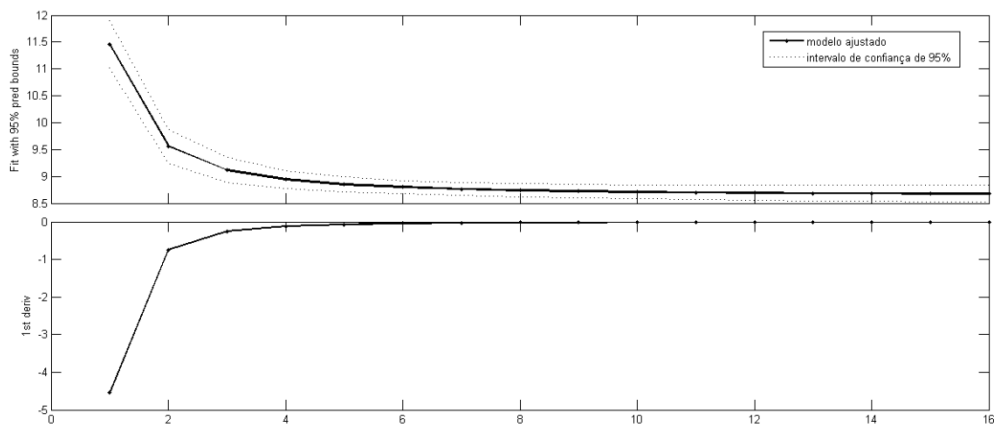
A análise do ajuste da curva de erro por meio da função exponencial para o G60 indicou que para a condição direita a derivada reduziu para valores próximos a zero na quadragésima tentativa. O que indica que para este grupo a adaptação ocorreu próximo à trigésima tentativa. Os parâmetros da análise foram :a 10.64 (1.63, 19.66) e b = -0.369 (-0.9333, -0.1953). A qualidade do ajuste foi R ajustdo = 0.8424.



**GRÁFICO 6:** Ajuste para a curva de erro por meio de função exponencial para o G60 para a condição direita.

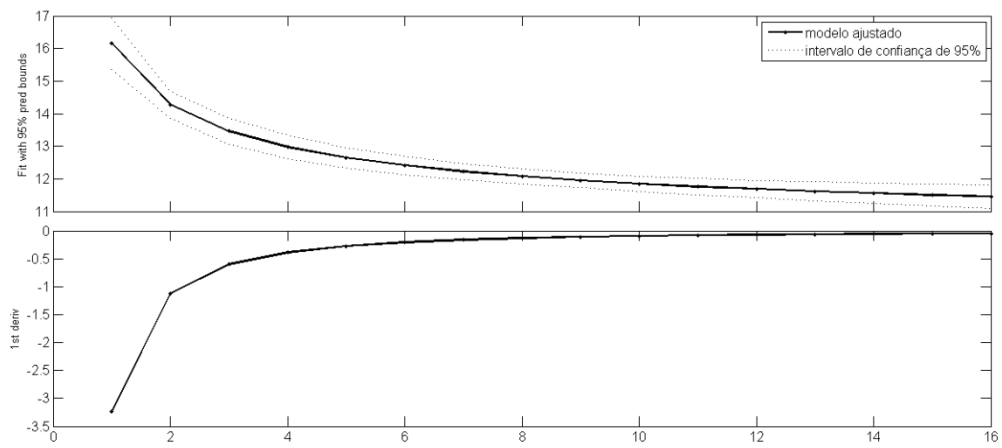
### ESQUERDA:

A análise do ajuste da curva de erro por meio da função exponencial para o G30 indicou que para a condição esquerda, a derivada reduziu para valores próximos a zero na décima quinta tentativa. O que indica que para este grupo a adaptação ocorreu próximo a décima quinta tentativa. Os parâmetros da análise foram :a = 2.814 (2.347, 3.282) e b = -1.617 (-2.289, -0.9459). A qualidade do ajuste foi  $R_{ajustado} = 0.9179$ .



**GRÁFICO 7:** Ajuste para a curva de erro por meio de função exponencial para o G30 para a condição esquerda

A análise do ajuste da curva de erro por meio da função exponencial para o G60 indicou que para a condição esquerda, a derivada reduziu para valores próximos a zero na quadragésima tentativa. O que indica que para este grupo a adaptação ocorreu próximo a trigésima tentativa. Os parâmetros da análise foram :a = 6.1(4.007, 8.193) e b = - 0.5293(-0.9395, -0.1192). A qualidade do ajuste foi  $R_{ajustado} = 0.7144$ .



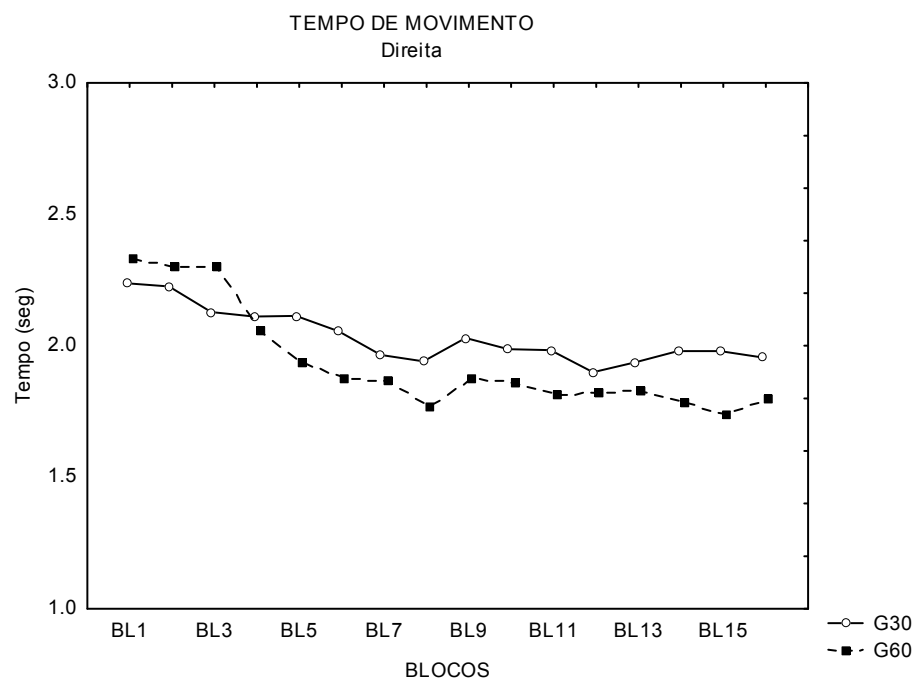
**GRÁFICO 8:** Ajuste para a curva de erro por meio de função exponencial para o G60 para a condição esquerda

### 6.3 Teste da hipótese 2: Fase de Exposição

#### TEMPO DE MOVIMENTO (TM)

#### DIREITA:

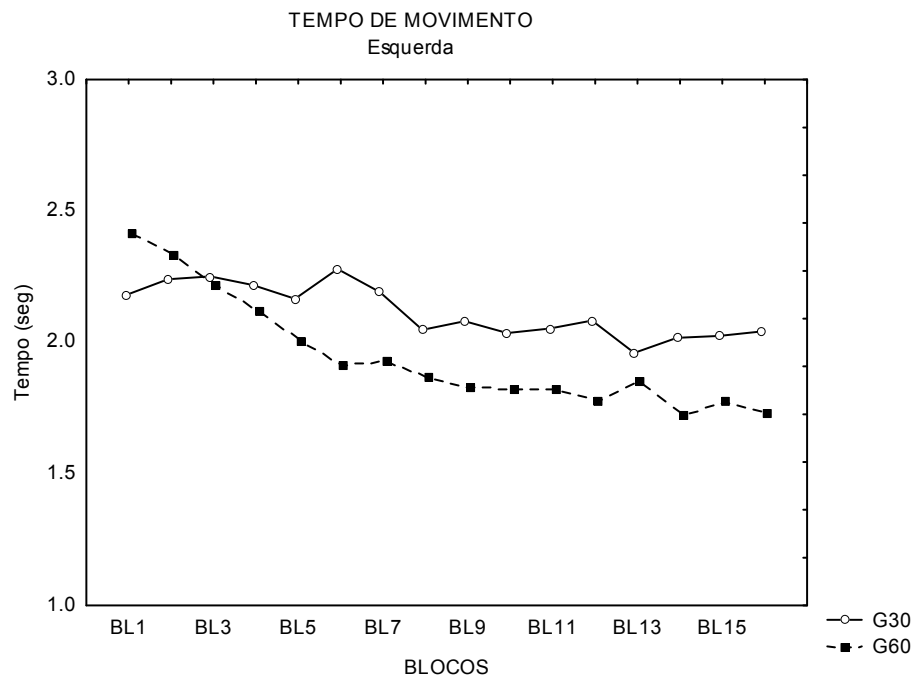
A análise do TM durante a fase de exposição não identificou diferença significativa no fator grupos  $F(1, 18) = 0,09$ ,  $p = 0,75$  e nem interação  $F(15, 270) = 1,22$ ,  $p = 0,24$ . Contudo, indicou diferença significativa no fator blocos  $F(15, 270) = 8,00$ ,  $p = 0,0001$ . O post-hoc de Duncan detectou que o movimento foi mais lento do primeiro para o último bloco da exposição, tanto para o G30 como para o G60 (GRÁFICO 9). Mais especificamente, os blocos 1, 2 e 3 apresentaram maior TM quando comparados com os blocos 4 a 16 ( $p = 0,05$ ).



**GRÁFICO 9:** Média do tempo de movimento (TM) em todos os blocos da fase de exposição para os grupos G30 e G60, na condição direita.

ESQUERDA:

A análise do TM durante a fase de exposição não identificou diferença significativa no fator grupos  $F(1, 18) = 0,30$ ,  $p = 0,58$ . Contudo, indicou diferença significativa no fator blocos  $F(15, 270) = 7,90$ ,  $p = 0,0001$  e também interação  $F(15, 270) = 2,30$ ,  $p = 0,004$ . O post-hoc de Duncan detectou que o TM do G60 diminuiu dos blocos 1 a 3 quando comparados com os blocos 6 a 16 ( $p = 0,001$ ). O TM do G30 diminuiu dos blocos 2, 3, 4 e 6 para o bloco 13 ( $p = 0,04$ ). Além disso, o TM também diminuiu do bloco 6 para os blocos 13, 14 e 15 ( $p = 0,04$ ) (GRÁFICO 10).



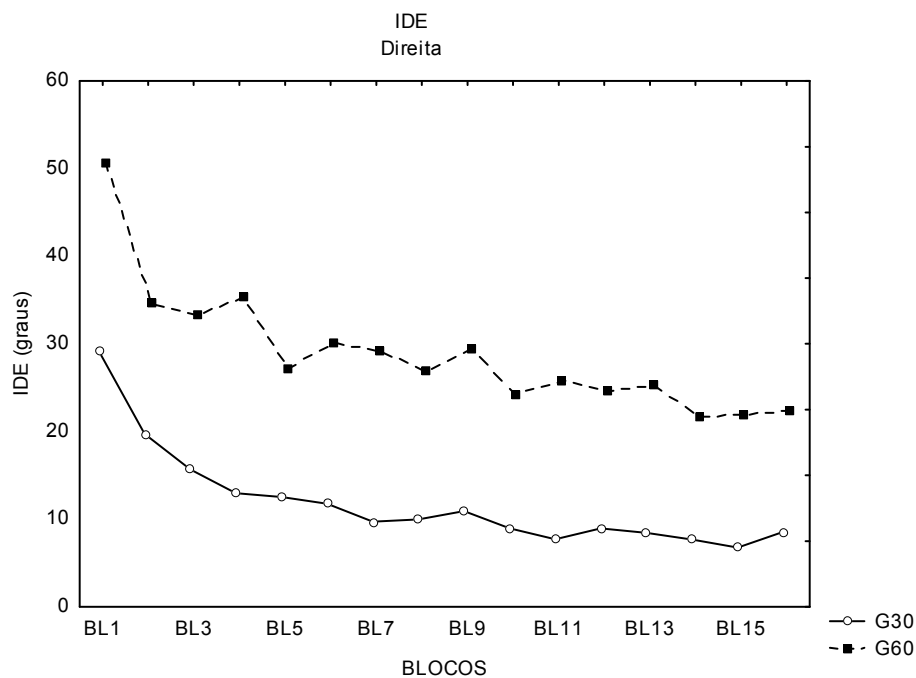
**GRÁFICO 10:** Média do tempo de movimento (TM) em todos os blocos da fase de exposição para os grupos G30 e G60, na condição esquerda.



IDE

DIREITA

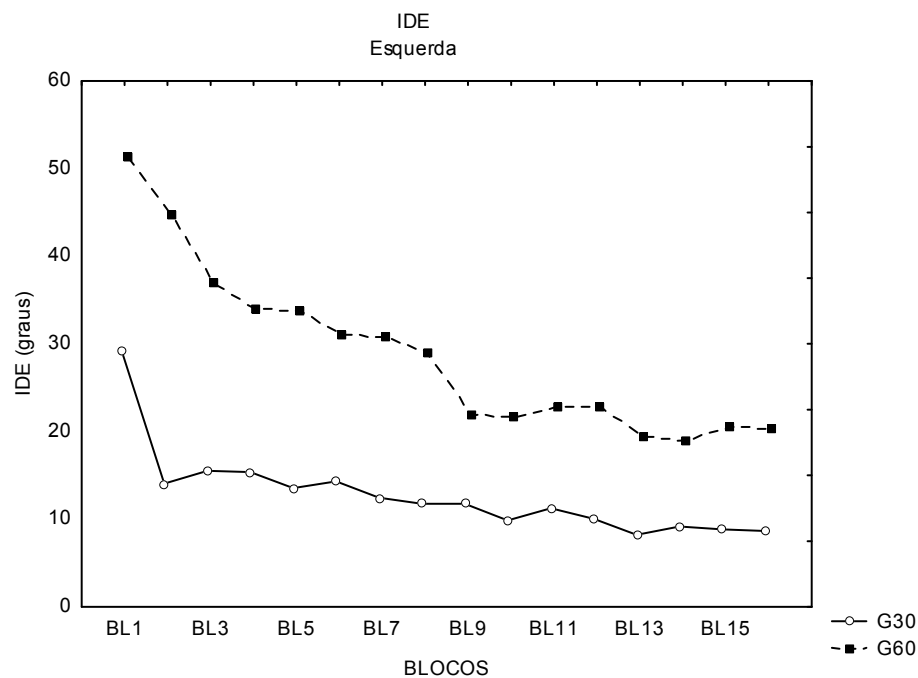
A análise do IDE durante a fase de exposição não identificou interação significativa F (15, 270) = 0,56,  $p = 0,89$ . Contudo, indicou diferença significativa no fator blocos F (15, 270) = 14,15,  $p = 0,0001$  e grupos F (1, 18) = 12,89,  $p = 0,002$ . O post-hoc de Duncan detectou, para o fator blocos, que o IDE diminuiu do primeiro para o último bloco da exposição ( $p = 0,0001$ ). Mais especificamente, os blocos 1, 2, 3 e 4 apresentaram maior IDE que os blocos 5 a 16 ( $p = 0,01$ ) (GRÁFICO 11). Na comparação dos grupos, o G30 teve menor IDE que o G60 ( $p = 0,04$ ).



**GRÁFICO 11:** Média do erro direcional (IDE) em todos os blocos da fase de exposição para os grupos G30 e G60, na condição direita.

## ESQUERDA:

A análise do IDE durante a fase de exposição indicou diferença significativa no fator blocos  $F(15, 270) = 21,77$ ,  $p > 0,0001$ , grupos  $F(1, 18) = 9,80$ ,  $p = 0,005$  e interação  $F(15, 270) = 3,54$ ,  $p = 0,0001$ . A análise de desdobramento fixando o fator grupos detectou que o IDE diminuiu do primeiro para o último bloco da exposição, tanto para o G30 ( $p = 0,00001$ ) como para o G60 ( $p = 0,00002$ ) (GRÁFICO 12). Além disso, o primeiro bloco do G30 apresentou maior IDE que os demais blocos da exposição ( $p = 0,00001$ ). O IDE do G60 diminuiu dos blocos 1 a 8 quando comparados com os blocos de 9 a 16. Quando o fator blocos foi fixado o G30 teve menor IDE que o G60 nos blocos 2 a 8 ( $p = 0,04$ ).

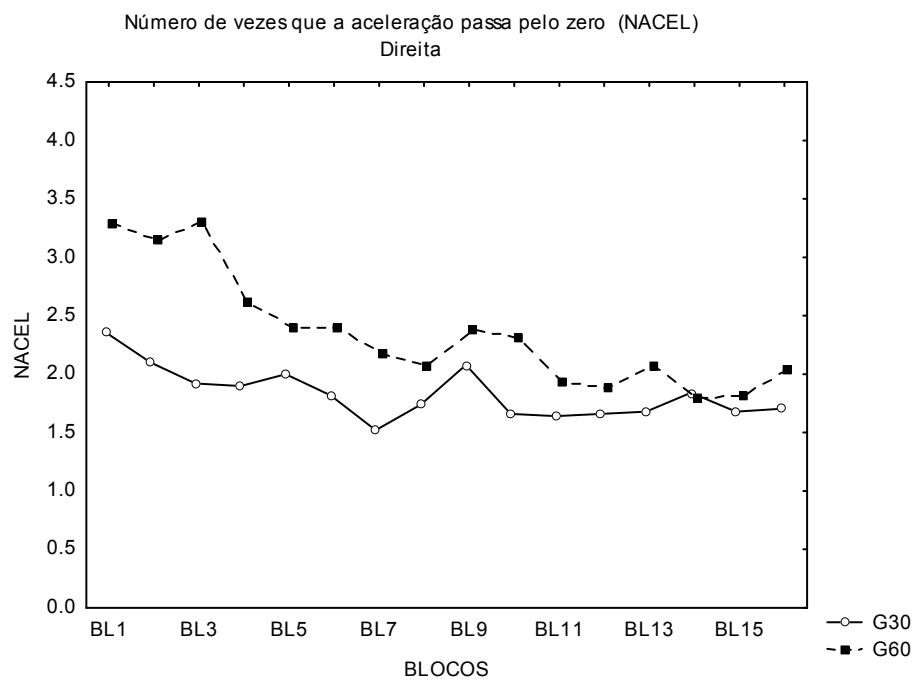


**GRÁFICO 12:** Média do erro direcional (IDE) em todos os blocos da fase de exposição para os grupos G30 e G60, na condição esquerda.

Nacel

DIREITA:

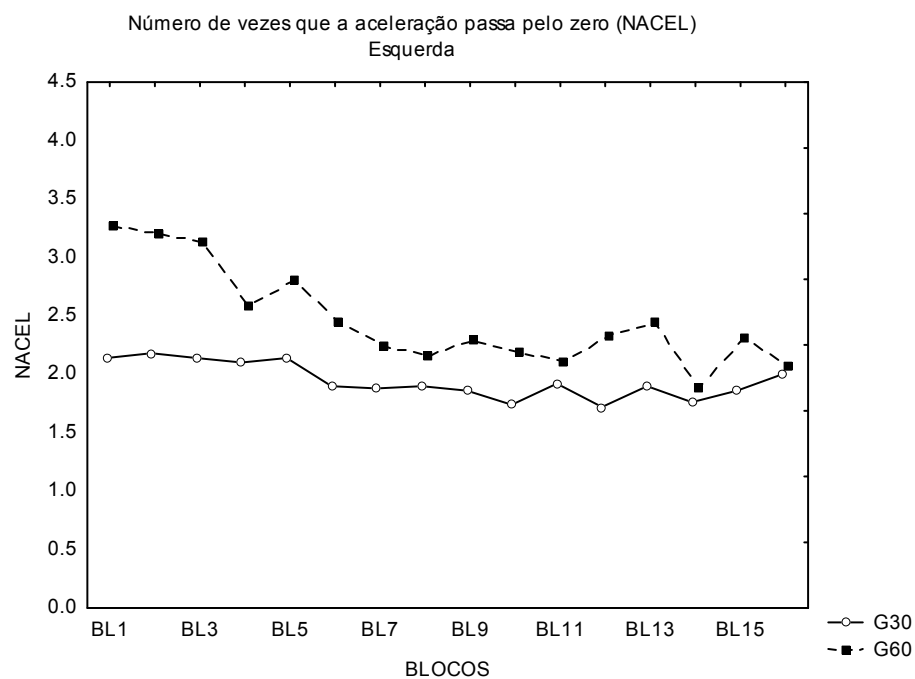
A análise do Nacel durante a fase de exposição indicou diferença significativa no fator blocos  $F(15, 270) = 7,49$ ,  $p = 0,0001$  e interação  $F(15, 270) = 2,19$ ,  $p = 0,0077$ . Não identificou diferença significativa no fator grupos  $F(1, 18) = 1,38$ ,  $p = 0,25$ . O post-hoc de Duncan detectou que o Nacel diminuiu do primeiro para o último bloco da exposição, tanto para o G30 ( $p = 0,03$ ) como para o G60 ( $p = 0,00005$ ) (GRÁFICO 13). Mais especificamente, o Nacel do G30 diminuiu do primeiro para os blocos 7, 8, 10 a 13 e 15, 16 ( $p = 0,04$ ). Além disso, o Nacel do G60 diminuiu dos blocos 1, 2 e 3 para os blocos 4 a 16 ( $p = 0,03$ ).



**GRÁFICO 13:** Média do número de vezes que a aceleração passa pelo zero (Nacel) em todos os blocos da fase de exposição para os grupos G30 e G60, na condição direita.

ESQUERDA:

A análise do Nacel durante a fase de exposição não identificou diferença significativa no fator grupos  $F(1, 18) = 1,53$ ,  $p = 0,23$ . Contudo, indicou diferença significativa no fator blocos  $F(15, 270) = 6,19$ ,  $p = 0,0001$  e interação  $F(15, 270) = 1,96$ ,  $p = 0,018$ . O post-hoc de Duncan detectou que o Nacel diminuiu dos blocos 1, 2 e 3 da fase de exposição quando comparados aos blocos 4 a 16 ( $p = 0,01$ ) (GRÁFICO 14).



**GRÁFICO 14:** Média do número de vezes que a aceleração passa pelo zero (Nacel) em todos os blocos da fase de exposição para os grupos G30 e G60, na condição esquerda.

## 7 DISCUSSÃO

O presente estudo foi realizado com o objetivo de investigar qual o efeito da magnitude da perturbação na adaptação. A manipulação desta variável se deu por meio da imposição de dois ângulos de distorção da informação visual: 30° e 60°. Isto porque o erro gerado pela imposição de diferentes perturbações provoca mudanças no controle motor (KARNIEL, 2008), as quais podem levar a processos de adaptação (ABEELE; BOCK, 2001b) e/ou mecanismos de controle (GRITSENKO; KALASKA, 2010) distintos. Os resultados indicaram que a adaptação é diferente em função da magnitude da perturbação.

A imposição de distorções da informação visual levaram a um aumento do erro no início da fase de exposição em comparação com os últimos blocos da fase de pré-exposição. Apesar da análise da RMSE mostrar que os grupos terminaram a fase de pré-exposição com desempenho semelhante, o erro do grupo G60 foi maior que o erro do grupo G30 no início da exposição à perturbação. Este resultado indica que a imposição da distorção da informação visual com uma nova relação entre o espaço visual e o espaço motor (CUNNINGHAM, 1989) modificou o padrão de correspondência entre o espaço visual e motor previamente existente. Esta modificação no espaço visual e motor existente parece ser resultante das diferentes magnitudes de perturbação impostas, o que resultou em um desempenho diferente entre os grupos. Além disso, as maiores discrepâncias entre o movimento executado e sua consequência sensorial levaram a um erro maior (GRITSENKO; KALASKA, 2010). Esta é uma análise pontual do primeiro bloco sob perturbação, mas também é preciso analisar a fase de exposição como um todo.

A análise do processo de adaptação, aqui entendido como as modificações do desempenho (erro) ao longo da fase de exposição à perturbação, foi realizada através da RMSE e do ajuste da curva de erro por meio de uma função exponencial. A análise da RMSE permitiu identificar que houve redução do erro para níveis próximos ao da fase de pré-exposição, pois estatisticamente, o valor de erro ao final da fase de exposição ficou dentro do limite de dois desvios padrão em relação aos

valores de erro da fase de pré-exposição (GRITSENKO; KALASKA, 2010). Esta redução também pode ser identificada com base na análise do ajuste da curva de erro. Em conjunto, os resultados mostraram que durante a fase de exposição o erro diminuiu e estabilizou em níveis próximos ao da fase anterior, indicando que os grupos conseguiram se adaptar à perturbação (DOYON *et al.*, 2009; GALEA *et al.*, 2010).

De acordo com a primeira hipótese do estudo, o processo de adaptação seria diferente em função da magnitude da perturbação. De fato, os resultados do presente estudo permitiram identificar que as modificações ocorridas no desempenho ao longo da fase de exposição foram diferentes para os dois grupos. O G30 reduziu o erro mais rapidamente que o G60, alcançando um estado estável em um menor número de tentativas, resultado semelhante ao encontrado por Bock e Schmitz (2011). A análise do processo de adaptação através da função exponencial suporta o argumento de que ele foi diferenciado para os dois grupos. A análise da curva para o G30 permite verificar que a adaptação ocorre por volta da décima tentativa tanto para a direita quanto para esquerda. Já para o G60 a adaptação ocorre por volta da quadragésima tentativa. Esta hipótese da diferença entre os grupos no processo de adaptação foi postulada baseada no papel do erro na adaptação, em que o erro experimentado em uma determinada tentativa leva a modificações no controle motor das tentativas subsequentes (ELLIOTT; CHUA; HELSEN, 2001; XIVRY; CRISCIMAGNA-HEMMINGER; SHADMEHR, 2010). Nesta linha de raciocínio, o tamanho do erro vivenciado durante a exposição causou diferenças no processo de adaptação. O menor RMSE do G30 suporta esta proposta.

Krakauer *et al.* (2000), ao analisarem o processo de adaptação através da modelagem em uma função exponencial dupla, identificaram que parece haver dois processos operando durante o curso da adaptação. Primeiramente, há uma redução brusca do erro nas tentativas iniciais de prática; depois há a manutenção do erro em valores próximos à fase de pré-exposição. Estes autores propuseram que a primeira estratégia dos sujeitos frente à exposição a uma perturbação visuomotora seria diminuir o erro visual de uma tentativa para a tentativa subsequente. Esta estratégia

estaria refletida na redução brusca do erro. A segunda estratégia seria um processo de manutenção gradual do erro, em que as mudanças na trajetória dependeriam da avaliação dos erros experimentados em mais de uma tentativa. O comportamento dos grupos no presente estudo (identificado por meio do ajuste da curva de erro através da função exponencial) foi semelhante ao proposto por Krakauer *et al.* (2000), em que houve uma primeira redução do erro, que aconteceu nas tentativas iniciais de prática e posteriormente, manutenção do comportamento. Portanto, parece haver um padrão para a ocorrência de adaptação.

Entretanto, os resultados encontrados permitem avançar em relação à conclusão desses autores: apesar de verificar o mesmo padrão de diminuição brusca e manutenção do erro, este processo foi distinto em função da magnitude da perturbação imposta. Mais especificamente, quando o erro experimentado possui maior magnitude, o tempo para a ocorrência do primeiro processo (redução brusca do erro) é maior, o que pode ser observado na RMSE e na função exponencial durante a fase de exposição. Em conjunto, a menor RMSE e a redução do erro observado no ajuste da curva de erro, ambos menores para o G30, confirmam a primeira hipótese.

A segunda hipótese postulou que na adaptação à maior magnitude, o mecanismo de controle que predominaria seria o *feedforward*. Esta análise foi realizada utilizando as medidas de erro direcional (IDE), número de vezes que a aceleração passa pelo zero (Nacel) e o tempo de movimento (TM). Todas as medidas reduziram nos dois grupos ao longo da prática. A redução do IDE indica que houve modificação no planejamento do movimento devido à imposição da distorção (TSENG *et al.*, 2007; KAREGER; CONTREAS-VIDAL; STELMACH, 1997). Este resultado mostra que os sujeitos iniciavam o movimento buscando anular os efeitos da distorção da informação visual. Esta afirmação tem suporte na redução do número de correções (Nacel), visto que, a compensação da perturbação no início do movimento minimiza a necessidade de correções (KAREGER; CONTREAS-VIDAL; STELMACH, 1997; HINDER *et al.*, 2008; 2010). Apesar de não ser testado o efeito, é possível dizer que a redução do TM acontece quando o número de correções diminui, visto que realizar correções aumenta o TM (HINDER *et al.*, 2008; 2010). A combinação dessas

medidas permite inferir que o mecanismo de controle empregado para compensar a perturbação, nos dois grupos, foi o *feedforward*. Portanto, a segunda hipótese foi confirmada.

A testagem das duas hipóteses mostrou que a imposição de duas magnitudes de perturbação distintas gerou diferença no processo de adaptação, mas não gerou diferença no mecanismo de controle empregado na adaptação. Mediante este resultado surge a seguinte pergunta: Se a adaptação é alcançada por meio de modificações no controle motor, e estas modificações ocorrem sob a influência do erro experimentado tentativa a tentativa, (e sob magnitudes de perturbação diferentes o erro gerado é diferente), por que o mesmo mecanismo de controle (*feedforward*) utilizado pelos grupos levou a processos distintos de adaptação?

Para responder a esta pergunta deve-se considerar que o conceito de processo de adaptação refere-se à modificação do erro ao longo da exposição (KARNIEL, 2008). Isso implica que a diferença no processo de adaptação entre os grupos são diferenças no erro ao longo do tempo. Conforme exposto anteriormente, o erro experimentado durante a exposição irá “dirigir” a adaptação (KARNIEL, 2008). Contudo, é necessário considerar também que o erro apresentado pelo sujeito em cada tentativa é fruto do mecanismo de controle que foi empregado naquela tentativa (HINDER *et al.*, 2008). Esta relação entre erro e mecanismo de controle empregado em cada tentativa é importante para compreendermos os resultados do presente estudo. Isto porque a modificação (redução) do erro ao longo da exposição à perturbação é um reflexo da melhora do mecanismo de controle empregado (HINDER *et al.*, 2010). À medida que o sujeito pratica, seu mecanismo de controle se torna mais eficiente para compensar as perturbações. Consequentemente, a diferença de desempenho entre os grupos que utilizaram o mesmo mecanismo de controle indica que o mecanismo de controle foi modificado ao longo da prática. A diferença no processo de adaptação indica que a magnitude da perturbação imprimiu demandas, que geraram efeitos diferentes no mecanismo de controle. Mais especificamente, quando a perturbação foi pequena, a eficiência desse mecanismo em relação à sua capacidade de compensar pela perturbação imposta foi maior.



Três evidências para esta afirmação podem ser extraídas dos resultados do presente estudo. A primeira delas refere-se ao aumento do tempo para a ocorrência do processo de redução brusca do erro, proposto por Krakauer *et al.*, (2000), para a distorção de 60°. Este aumento do tempo pode estar associado a uma menor eficiência do mecanismo de controle.

A segunda evidência refere-se à diferença dos grupos na medida de planejamento, IDE. A análise dessa medida indicou que o G30 apresentou menor IDE que o G60 durante toda a fase de exposição, independentemente da posição do alvo. O IDE representa os erros de planejamento do movimento; portanto, quando a direção do movimento não é planejada corretamente, o IDE é maior (KAGERER; CONTREAS-VIDAL; CLARK, 2006). A diferença entre os dois grupos para esta medida indica que a eficiência do planejamento do G30 foi maior que do G60 durante toda a exposição.

A terceira evidência está relacionada à posição do alvo durante a execução da tarefa. Na condição para a direita, o movimento era realizado no lado ipsilateral do corpo, em outras palavras, no mesmo lado da mão que o executa; enquanto que, para a esquerda, o movimento era executado no lado contralateral do corpo, ou seja, o membro cruzou a linha média do corpo ao executar o movimento. Sabe-se que há uma diferença no controle dos movimentos relacionados a este cruzamento da linha média do corpo. Mais especificamente, o tempo de processamento anterior ao início do movimento (medido pelo TR) é menor para alvos localizados no lado ipsilateral do corpo do que para alvos localizados no lado contralateral (ISHIHARA; IMANAKA, 2007).

Os resultados indicaram um efeito da combinação da posição do alvo com a magnitude da perturbação, pois para os movimentos realizados no lado contralateral o desempenho do G60 foi pior que o do G30 durante toda a fase de exposição. No lado ipsilateral esta diferença não foi observada. Este resultado indica que em situações que envolvam a adaptação a perturbações visuomotoras, a demanda da tarefa pode variar em função da associação da posição do alvo com a magnitude da perturbação. Isto reforça o argumento de que o mecanismo de controle sofre os

efeitos da demanda da tarefa, visto que, para a condição de maior demanda (esquerda - 60°), o desempenho foi pior em comparação às outras situações.

Apesar de a magnitude da distorção da informação visual ter causado diferenças no processo de adaptação e na eficiência do mecanismo de controle, não houve diferença entre os grupos no que se refere ao mecanismo empregado para compensar a perturbação. Algumas características da tarefa podem ter influenciado a utilização do *feedforward* em detrimento ao *feedback* corrente. Estes serão abordados a seguir.

O tipo de perturbação pode ter favorecido o emprego do mecanismo de *feedforward* Isto porque a imposição de distorções da informação visual possui maior efeito na trajetória do movimento do que no alcance da meta (WANG; SAINBURG, 2005). No presente estudo, a avaliação da RMSE indicou que a imposição da distorção da informação visual gerou uma perturbação na trajetória observada no aumento do erro nas tentativas iniciais de prática em comparação com a pré-exposição (LIU *et al.*, 2011). A imposição de distorções da informação visual utilizada no presente estudo também gerou maior efeito na trajetória do movimento do que no alcance da meta, uma vez que o percentual de acerto dos grupos durante a exposição não foi significativamente diferente (ver APÊNDICE F)

Diante do exposto, é possível especular que, sob distorção da informação visual, os sujeitos tenham optado por iniciar seus movimentos compensando a perturbação. Em outras palavras, a distorção da informação visual modificou o padrão de correspondência entre o movimento executado e sua consequência sensorial (CUNNINGHAM, 1989). Sendo assim, os sujeitos podem ter optado por minimizar as correções durante a execução do movimento por não saberem qual era o padrão de correspondência entre o movimento executado e a posição do cursor na tela. Em outras palavras, devido à incerteza se o movimento realizado levaria o cursor até o alvo ou aumentaria ainda mais o erro, os sujeitos podem ter optado por iniciar o movimento compensando a perturbação. Uma vez que o movimento é planejado visando a maior eficiência possível (ELLIOTT *et al.*, 2004), reduzir a incerteza em relação ao resultado das correções pode ter sido uma estratégia adotada pelos

sujeitos no presente estudo. Esta estratégia é refletida no emprego do mecanismo de *feedforward* ao longo de toda a exposição.

Este argumento tem suporte nos estudos que investigaram a influência do fornecimento de *feedback* contínuo ou terminal durante a exposição nos mecanismos de controle (.e.g. HINDER *et al.*, 2008, 2010). Apesar do grupo que recebeu *feedback* contínuo poder fazer um maior número de correções, por ter acesso ao resultado de sua ação, o mecanismo utilizado foi o mesmo do grupo que recebeu *feedback* terminal: ambos suprimiram as correções. Os resultados dos estudos mostraram que não houve diferença no mecanismo de controle empregado em função do tipo de informação recebida durante a execução (HINDER *et al.*, 2008, 2010). Isso reforça o argumento de que os sujeitos buscam reduzir a incerteza em relação ao resultado da correção, iniciando o movimento compensando a perturbação. Mesmo com a possibilidade de executar correções e verificar seu efeito, os sujeitos que receberam informação continuamente optaram por não corrigir durante a execução.

Ainda em relação à incerteza relacionada ao contexto de prática, outro fator que pode ter favorecido a utilização do *feedforward* é o caráter previsível da perturbação empregada no presente estudo. Ou seja, durante a fase de exposição, todas as tentativas apresentavam a distorção da informação visual com a mesma magnitude. De acordo com Profeta (2009), a exposição a um ambiente estável e previsível pode favorecer a utilização do mecanismo de *feedforward* em detrimento ao mecanismo de *feedback* corrente. Isto porque o contexto anterior de prática irá determinar como será a organização da próxima tentativa (XIVRY; CRISCIMAGNA-HEMMINGER; SHADMEHR, 2010). Apesar da possibilidade de a previsibilidade ter favorecido a utilização de *feedforward*, os resultados de Gritsenko e Kalaska (2010) fornecem suporte para o fato de a previsibilidade não ser o fator determinante na escolha do mecanismo de controle. Este autor modificou a posição do alvo após o início do movimento, mas encontrou uma supressão do mecanismo de *feedback* corrente. Portanto, em situação com perturbações visuomotoras parece que a previsibilidade da perturbação não é um fator determinante para a escolha do mecanismo de controle que será empregado para compensar a perturbação.

Outro fator que se manteve constante foi o ID da tarefa. Seidler, Noll, Thiers (2004) modificaram o ID em uma tarefa de apontamento e mediram a ativação encefálica durante a execução. Eles verificaram que quando o ID aumentava de uma tentativa para outra, as estruturas relacionadas ao mecanismo de *feedforward* diminuía a ativação, enquanto que as estruturas relacionados ao mecanismo de *feedback* corrente aumentavam. Isso indica que há uma relação entre a dificuldade da tarefa e o mecanismo de controle empregado. Seidler, Noll, Thiers (2004) encontraram que para ID igual a quatro, os sujeitos eram capazes de acertar o alvo realizando um único movimento, utilizando o mecanismo de *feedforward*. O ID utilizado no presente estudo foi abaixo desse valor (3.45 bits), mas pode ter favorecido a utilização do *feedforward*. Contudo, é importante ressaltar que no presente estudo houve a inserção de perturbação, o que não ocorreu no estudo de Seidler, Noll, Thiers (2004). As relações entre a exposição a perturbações visuomotoras com o índice de dificuldade da tarefa e suas implicações para os mecanismos de controle ainda não foram estudadas.

Outro fator que pode influenciar o emprego de um mecanismo de controle em detrimento a outro é o tempo de movimento, pois se não houver tempo suficiente para o processamento das informações sensoriais e geração do comando motor de correção, não ocorrerá a utilização do mecanismo de *feedback* corrente (MEYER *et al.*, 1988). Nos estudos que concluíram que o *feedforward* foi o mecanismo empregado na adaptação, o tempo de movimento variou de 400 milissegundos a 3 segundos (incluindo o presente estudo). Estes resultados permitem concluir que o emprego do *feedforward* nos estudos que impuseram distorções da informação visual e utilizaram tarefas discretas não está associado ao tempo de movimento.

A magnitude da perturbação empregada no presente estudo também pode ter sido um fator que influenciou nos resultados encontrados. Os valores das magnitudes de perturbação utilizados nos estudos que concluíram que o *feedforward* foi o mecanismo de controle empregado para compensar a perturbação foram diversos. De acordo com Abeele e Bock (2001 a,b), dependendo da magnitude da perturbação haveria ou não mudança no mecanismo de controle associado à adaptação. Estes autores propuseram a existência de um valor limite de magnitude de perturbação em

que ocorrerá uma mudança de estratégia no controle motor, com implicações não só para o processo de adaptação, mas também para os mecanismos de controle. Este valor variou de 90° a 120° de distorção da informação visual. Contudo, dos estudos que assumiram que *feedforward* foi o mecanismo de controle empregado para compensar a perturbação, nenhum deles utilizou magnitude acima de 90°. Portanto, esta pode ser uma explicação para os resultados aqui encontrados, em que as magnitudes empregadas não foram grandes o suficiente para gerar a necessidade de modificação dos mecanismos de controle empregados na adaptação, pois estavam abaixo do limiar proposto por Abeele e Bock (2001b).

A análise do comportamento dos grupos para a condição direita indicou que o G60 conseguiu atingir um desempenho semelhante ao G30 ao final da exposição. Contudo, o G60 precisou de mais tentativas para alcançar o desempenho semelhante ao G30. Estes resultados são semelhantes ao encontrado por Ugrinowitsch (2003), em que maiores demandas exigiram maior tempo de prática para que a adaptação ocorresse. Este resultado indica que o tempo de prática sob perturbação também é um fator importante para a adaptação; mais especificamente, para o aprimoramento do mecanismo de controle.

De maneira geral, os resultados do presente estudo indicaram que independentemente das características da tarefa, houve diferença no processo de adaptação em função da magnitude da distorção da informação visual. Esta diferença no processo de adaptação em função da magnitude da perturbação representa a eficiência do mecanismo de controle empregado para compensar a perturbação imposta.

## 8 CONCLUSÃO

Os resultados do presente estudo permitem concluir que houve diferença na adaptação em função da magnitude da perturbação e que o mecanismo de controle empregado na adaptação é o *feedforward*. Além disso, foi possível concluir que maiores magnitudes causaram diferenças na eficiência do mecanismo de controle empregado.

## REFERÊNCIAS

- ABEELE, S.; BOCK, O. Mechanisms for sensorimotor adaptation to rotated visual input. *Experimental Brain Research*, v. 139, p. 248-253, 2001.
- ABEELE, S.; BOCK, O. Sensorimotor adaptation to rotated visual input; different mechanisms for small versus large rotations. *Experimental Brain Research*, v. 140, p. 407-410, 2001.
- ABEELE, S.; BOCK, O. Transfer of sensorimotor adaptation between different movement categories. *Experimental Brain Research*, v. 148, p. 128-32, 2003.
- BENDA, R.N. *Variabilidade de prática e processo adaptativo na aquisição de habilidades motoras*. 2001. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo, São Paulo. 2001.
- BERNIER, P.M.; CHUA, R.; FRANKS, I.M. Is proprioception calibrated during visually guided movements? *Experimental Brain Research*, v. 167, p. 292-296, 2005.
- BERNIKER, M.; KORDING, K.. Estimating the sources of motor errors for adaptation and generalization. *Nature Neuroscience*, v. 11, p. 1454-1461, 2008.
- BOCK, O.; ABEELE, S.; EVERSHEIM, U. Human adaptation to rotated vision: interplay between a continuous and discrete process. *Experimental Brain Research*, v. 152, p. 528-532, 2003.
- BOCK, O.; SCHMITZ, G. Adaptation to rotated visual feedback depends on the number and spread of targets directions. *Experimental Brain Research*, v. 413, p. 409-413, 2011.
- BUCH, E.R.; YOUNG, S.; CONTREAS-VIDAL, J.L. Visuomotor adaptation in normal aging. *Learning & Memory*, v. 10, p. 55-63, 2003.
- CUNNINGHAM, H.A. Aiming error under transformed spatial mappings suggest a structure for visual motor maps. *Journal of Experimental Psychology*, v. 15, p. 492-506, 1989.
- DESMURGET, M.; GRAFTON, S. Forward modeling allows feedback control for fast reaching movements. *Trends in Cognitive Sciences*, v. 4, 2000.
- DOYON, J.; BELLEC, P.; AMSEL, R.; PENHUNE, V.; MONCHI, O.; CARRIER, J.; LAHÉRICY, S.; BENALI, H. Contributions of the basal ganglia and functionally related brain structures to motor learning. *Behavioral Brain Research*, v. 199, p. 61-75, 2009.

ELLIOTT, D.; BINSTED, G.; HEATH, M. The control of goal-directed limb movements: correcting errors in the trajectory. *Human Movement Science*, v. 18, p. 121-136, 1999.

ELLIOTT, D.; CHUA, R.; HELSEN, W. A Century Later - Woodworth's (1899) Two-Component Model of Goal-Directed Aiming. *Psychological Bulletin*, v. 127, p.342-357, 2001.

ELLIOTT, D.; HANSEN, S.; MENDONZA, J.; TREMBLAY, L.. Learning to optimize speed, accuracy, and energy expenditure: a framework for understanding speed - accuracy relations in goal-directed aiming. *Journal of Motor Behavior*, v. 36, p. 339-351, 2004.

ELLIOTT, D.; GRIERSON, L.; HANSEN, S.; LYONS, J.; BENNETT, S.; HAYES, S. Goal-Directed Aiming: two components but multiple processes. *Psychological Bulletin*, v, 136, p.1023-1044, 2010.

FITTS, P.M.; PETERSON, J.R. Information capacity of discrete motor responses. *Journal of Experimental Psychology*, v. 67, p.103-112, 1964.

FLANDERS, M. Voluntary Movement, In: MARC D. BINDER, NOBUTAKA HIROKAWA AND UWE WINDHORST (Eds.) *Encyclopedia of Neuroscience*, Berlin Heidelberg, p. 4371-4375, 2008.

FLASH, T.; MAOZ, U.; POLIAKOV, F. Arm Trajectory Formation. In: MARC D. BINDER, NOBUTAKA HIROKAWA AND UWE WINDHORST (Eds.) *Encyclopedia of Neuroscience*, Berlin Heidelberg, p.168-172, 2008.

FONSECA, F.S. *Os efeitos do nível de estabilização do desempenho na adaptação a perturbações perceptivas imprevisíveis*. 2009. 81 f. (Ciências do Esporte) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo horizonte, 2009.

GALEA, J.M.; SAMI, S.A.; ALBERT, N.B.; MIALL, R.C. Secondary tasks impair adaptation to step- and gradul- visual displacements. *Experimental Brain Research*, v. 202, p. 473-84, 2010.

GRITSENKO, V.; KALASKA, J.F. Rapid online correction is selectively suppressed during movement with a visuomotor transformation. *Journal of Neurophysiology*, v. 104, p. 3084-104, 2010.

HINDER, M.R.; WALK, L.;WOOLLEY. G.D.; RIEK, S.; CARSON, G.R. The interference effects of non-rotated versus counter-rotated trials in visuomotor adaptation. *Experimental Brain Research*, v. 180, p. 629-640, 2007.

HINDER, M.R.; TRESILIAN, J.R.; RIEK, S.; CARSON, R.G. The contribution of visual feedback to visuomotor adaptation: how much and when? *Brain Research*, v. 197, p. 123-134, 2008.



HINDER, M.R.; RIEK, S.; TRESILIAN, J.R.; RUGY, A.; CARSON, R.G. Real-time error detection but not error correction drives automatic visuomotor adaptation. *Experimental brain research*, v. 201, p. 191-207, 2010.

INGRAM, H.A.; VAN DONKELARR, P.; COLE, J.; VERCHER, J-L.; GAUTHIER, G.M.; MIALL, R.C.. The role of proprioception and attention in a visuomotor adaptation task. *Experimental Brain Research*, v. 132, p. 114-126, 2000.

ISHIHARA, M.; IMANAKA, K. Motor preparation of manual aiming at a visual target manipulated in size, luminance contrast, and location. *Perception*, v. 36, p. 1375-1390, 2007.

KAGERER, F. A.; CONTRERAS-VIDAL, J.L.; STELMACH, G.E. Adaptation to gradual as compared with sudden visuo-motor distortions. *Experimental Brain Research*, v. 115, p. 557-561, 1997.

KAGERER, F.A.; CONTREAS-VIDAL, J.L.; CLARK, J.E. Abrupt, but not gradual visuomotor distortion facilitates adaptation in children with developmental coordination disorder. *Human Movement Science*, v. 25, p. 622-33, 2006.

KAGERER, F. A.; CONTRERAS-VIDAL, J.L. Adaptation of sound localization induced by rotated visual feedback in reaching movements. *Experimental Brain Research*, v. 193, p. 315-21, 2009.

KARNIEL, A. Computational Motor Control. In: MARC D. BINDER, NOBUTAKA HIROKAWA AND UWE WINDHORST (Eds.) *Encyclopedia of Neuroscience*, Berlin Heidelberg, p. 832-837, 2008.

KHAN, M.A; FRANKS, I.M.; ELLIOTT, D.; LAWRENCE, G.P; CHUA, R.; BERNIER, P.M.; HANSEN, S.; WEEKS, D.J. Inferring online and offline processing of visual feedback in target-directed movements from kinematic data. *Biobehavioral Reviews*, v, 30, p. 1106-1121, 2006.

KLASSEN, J.; TONG, C.; FLANAGAN, J.R. Learning and recall of incremental kinematic and dynamic sensorimotor transformations. *Experimental Brain Research*, v. 164, p. 205-259, 2005.

KRAKAUER, J.W.; GHILARDI, M.F; GHEZ, C. Independent learning of internal models for kinematic and dynamic control of reaching. *Nature neuroscience*, v, 2, p. 126-131, 1999.

KRAKAUER, J.W.; PINE, Z.M; GHILARDI, M.F.; GHEZ, C. Learning of Visuomotor Transformations for Vectorial Planning of Reaching Trajectories. *Journal of Neuroscience*, v. 20, p. 8916-8924, 2000.

KRAKAUER, J.W.; GHEZ, C.; GHILARDI, M.F. Adaptation to visuomotor transformations: consolidation, interference, and forgetting. *The Journal of neuroscience* □: the official journal of the Society for Neuroscience, v. 25, p. 473-478, 2005.

LIU, X.; MOSIER, K.M.; MUSSA-IVALDI, F.; CASADIO, M.; SCHEIDT, R.A. Reorganization of finger coordination patterns during adaptation to rotation and scaling of a newly learned sensorimotor transformation. *Journal of Neurophysiology*, v.105, p. 454-73, 2011.

MEYER, D.E.; KORNBLUM, S.; ABRAMS, R.A.; WRIGTH, C.E.; KEITH SMITH, J.E. Optimality in Human Motor Performance: Ideal Control of Rapid Aimed Movements. *Psychological Review*, v. 95, p. 340-370, 1988.

PIPEREIT, K.; BOCK, O.; VERCHEIR, J. L. The contribution of proprioceptive feedback to sensorimotor adaptation. *Experimental Brain Research*, v. 174, p.45-52, 2006.

PROFETA, V. L. S. *Nível de estabilização do desempenho e adaptação motora: efeito do feedback e do feedforward*. 2009. 72 f. (Ciências do Esporte) - Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

PROTEAU, L.; ROUJOULA, A.; MESSIER, J. Evidence for continuous processing of visual information in a manual video-aiming task. *Journal of Motor Behavior*, v. 41, p. 219-231, 2009.

RICHTER, S.; JANSEN-OSMANN, P.; KONCZAK, J.; KALVERAM, K. Motor adaptation to different dynamic environments is facilitated by indicative context stimuli. *Psychological Research*, v. 68, p. 245-251, 2004.

ROBERTSON, E.M.; MIALL, R.C. Visuomotor adaptation during inactivation of the dentate nucleus. *NeuroReport*, v. 10, 1999.

SEIDLER, R.D.; NOLL, D.C.; THIERS, G. Feedforward and feedback processes in motor control. *NeuroImage*, v. 22, p. 1775-1783, 2004.

SHUMWAY-COOK, A.; WOOLLACOTT, M.. *Controle Motor: teoria e aplicações práticas*. São Paulo: Manole, 2003.

TANI, G. Processo adaptativo: uma concepção de aprendizagem motora além da estabilização. In: TANI, G. (Ed.). *Comportamento motor: aprendizagem e desenvolvimento*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2005. p. 60-67.

TSENG, Y.-W.; DIEDRICHSEN, J.; KRAKAUER, J.W.; SHADMEHR, R.; BASTIAN, A. Sensory prediction errors drive cerebellum-dependent adaptation of reaching. *Journal of Neurophysiology*, v. 98, p. 54-62, 2007.

UGRINOWITSCH, H. *Efeito do nível de estabilização do desempenho e do tipo de perturbação no processo adaptativo em aprendizagem motora*. 2003. 319 f. Tese (Doutorado) - Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2003.

UGRINOWITSCH, H.; TANI, G.. Efeitos do tipo de perturbação e do nível de estabilização no processo adaptativo em aprendizagem motora. In: TANI, G. (Ed.). *Comportamento motor: aprendizagem e desenvolvimento*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2005. p. 162-172.

UGRINOWITSCH, H.; CORRÊA, U. C.; TANI, G. Perturbação perceptiva e processo adaptativo na aprendizagem de uma tarefa de timing coincidente. *Revista Brasileira de Educação Física e Esporte (Impresso)*, v. 19, p. 277-284, 2005.

UGRINOWITSCH, H.; SANTOS-NAVES, S. P.; CARBINATTO, M. V.; BENDA, R. N.; TANI, G. Motor Skill Adaptation depends on the Level of Learning. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, v. 77, p. 956-960, 2011.

WANG, J. A dissociation between visual and motor workspace inhibits generalization of visuomotor adaptation across the limbs. *Experimental Brain Research*, v.187, p. 483-490, 2008.

WANG, J.; SAINBURG, R.L. Adaptation to visuomotor rotations remaps movement vectors, not final positions. *The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience*, 25, p. 4024-4030, 2005.

WOODWORTH, R. S. The accuracy of voluntary movement. *Psychological Review*, v.3, p.106, 1899.

WOOLLEY, D.G.; TRESILIAN, J.R.; CARSON, R.G.; RIEK, S. Dual adaptation to two opposing visuomotor rotations when each is associated with different regions of workspace. *Experimental Brain Research*, v. 179, p. 155-165, 2007.

XIVRY, J.J.O.D.; CRISCIMAGNA-HEMMINGER, S. E.; SHADMEHR, R. Contributions of the motor cortex to adaptive control of reaching depend on the perturbation schedule. *Cerebral Cortex*, v. 21, p. 1475-1484, 2011.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A: TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

**Pesquisa:**“EFEITO DA MAGNITUDE DA PERTURBAÇÃO NA ADAPTAÇÃO EM UMA TAREFA DE APONTAMENTO”.

#### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Via do Voluntário

#### INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA

O Grupo de Estudos em Desenvolvimento e Aprendizagem Motora (GEDAM) convida você para participar de um estudo a ser realizado pelo Programa de Pós-graduação em Ciências do Esporte da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional (EEFFTO), na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), sob a coordenação do Prof. Dr. HERBERT UGRINOWITSCH e pela mestrandia ALINE HORTA MIGUEL. O objetivo deste estudo é investigar como acontece a adaptação em função do nível de estabilização do desempenho e da magnitude da perturbação. Como participante voluntário, você tem todo direito de recusar sua participação ou retirar seu consentimento em qualquer fase da pesquisa, **caso não se sinta à vontade durante os procedimentos experimentais**, sem penalização alguma e sem prejuízo à sua pessoa.

A coleta de dados será realizada em local apropriado, com duração de aproximadamente 60 minutos, e você será sempre acompanhado por um dos responsáveis pela pesquisa. No período da coleta, você **deverá** realizar um movimento de apontamento partindo do ponto central para um dos alvos que sugerirá na tela do computador. Todos os seus dados pessoais serão confidenciais, sua identidade não será revelada publicamente em hipótese alguma e somente os pesquisadores envolvidos neste estudo terão acesso aos seus dados, sendo que essas informações só serão utilizadas para fins de pesquisa.

Você não terá qualquer forma de remuneração financeira nem despesas relacionadas ao estudo e apenas estará exposto a riscos inerentes a uma atividade do seu cotidiano.

Além disso, em qualquer momento da pesquisa, você terá total liberdade para esclarecer qualquer dúvida com o professor Dr. HERBERT UGRINOWITSCH, pelo telefone (0xx31) 3409-2393, ou com o Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (COEP-UFMG), pelo telefone (0xx31) 3409-4592 ou pelo endereço Av. Presidente Antônio Carlos, 6627, Unidade Administrativa II – 2º andar, sala: 2005 31270-901 – BH – MG.

Eu \_\_\_\_\_, voluntário, tive minhas dúvidas respondidas e aceito participar desta pesquisa. Portanto, concordo com tudo que foi acima citado e livremente dou o meu consentimento.

Belo Horizonte, de \_\_\_\_\_ de 2011.

Assinatura do voluntário

Assinatura do pesquisador

## **APÊNDICE B: PILOTO 1**

### **Objetivo:**

Verificar a possibilidade de trabalhar com diferentes magnitudes de distorção e determinar qual delas seriam utilizadas na fase de exposição.

### **Método:**

#### **Amostra:**

Participaram deste piloto três voluntários sem experiência na tarefa. Os sujeitos apresentavam visão normal ou corrigida e eram destros.

#### **Tarefa:**

Executar um movimento de apontamento em direção a um alvo fixo localizado à direita ou à esquerda do ponto central (INÍCIO). A distância entre os alvos e o tamanho do alvo foram previamente definidos baseados na literatura (ELLIOTT, BINSTED, HEATH, 1999). Foi utilizada uma combinação do tamanho e distância do alvo que conferisse um Índice de dificuldade (ID) (cálculo realizado a partir da fórmula proposta por Fitts, Perterson, 1964) intermediário a tarefa, a saber, 4 bits. Atendendo a esse objetivo, a distância entre os alvos foi de 7.5 cm e o tamanho do alvo de 0.5 cm.

#### **Instrumentos:**

Foram utilizados uma mesa digitalizadora, uma caneta digital, um computador, um monitor, uma caixa de madeira e uma cadeira.

#### **Procedimentos:**

Os sujeitos foram recrutados na EEFETO e forneceram seu consentimento em participar do estudo. Ao adentrarem na sala de coleta, eles receberam instruções sobre os objetivos da tarefa. Após os sujeitos serem posicionados, tinha início o experimento.

#### Delineamento:

O piloto consistiu de uma única fase, a exposição a três magnitudes de distorção. Baseado na literatura buscou-se os valores de magnitude mais utilizados nos estudos, os quais podem ser observados na tabela 1. Determinou-se três magnitudes de distorção da informação visual a serem testadas: 30°, 60° e 90°, que foram escolhidas por serem as mais utilizadas nos estudos (ver Quadro I, página 24). Foram realizadas 60 tentativas com a magnitude de distorção da informação visual de 30° e 60°. Para a magnitude de 90°, observou-se um problema na informação fornecida ao sujeito. Isto é, qualquer movimento executado pelo sujeito sob esta magnitude gerava um traço diagonal independentemente do deslocamento da caneta, na mesa digitalizadora. O fabricante do *software* utilizado para gerar as distorções foi contactado e informou que para a distorção de 90° havia um erro de programação que impossibilitava sua utilização. Optou-se, então, por utilizar as magnitudes de 30° e 60°.

#### Resultados e Conclusão:

Foi realizada a análise da execução dos movimentos sob as diferentes magnitudes de distorção. Observou-se que, sob distorção de 60°, os sujeitos, ao tentarem compensá-la, ultrapassavam a área ativa da mesa digitalizadora. Optou-se, então, por diminuir a distância entre os alvos, o que diminuiria as probabilidades do sujeito ultrapassar a área ativa da mesa. Assim, a nova distância entre os alvos foi 5cm e o tamanho dos alvos manteve-se o mesmo, o que conferiu um ID de 3.45 BITS à tarefa. A diminuição da distância entre os alvos possibilitou a execução da tarefa com as distorções de 30° e 60°. Isto porque os movimentos realizados para compensar a distorção não ultrapassavam a extensão da mesa.

## **APÊNDICE C: PILOTO 2**

### **Objetivo:**

Verificar se as magntiudes de distorção de 30° e 60° levariam a um comportamento diferente, durante a execução da tarefa.

### **Método:**

#### **Amostra:**

Participaram deste piloto cinco sujeitos, destros e inexperientes na tarefa. Os sujeitos apresentavam visão normal ou corrigida.

#### **Tarefa:**

Executar um movimento de apontamento em direção a um alvo fixo localizado a direita ou a esquerda do ponto central (INÍCIO). As características desta tarefa foram definidas no estudo piloto número 1.

#### **Instrumentos e Procedimentos:**

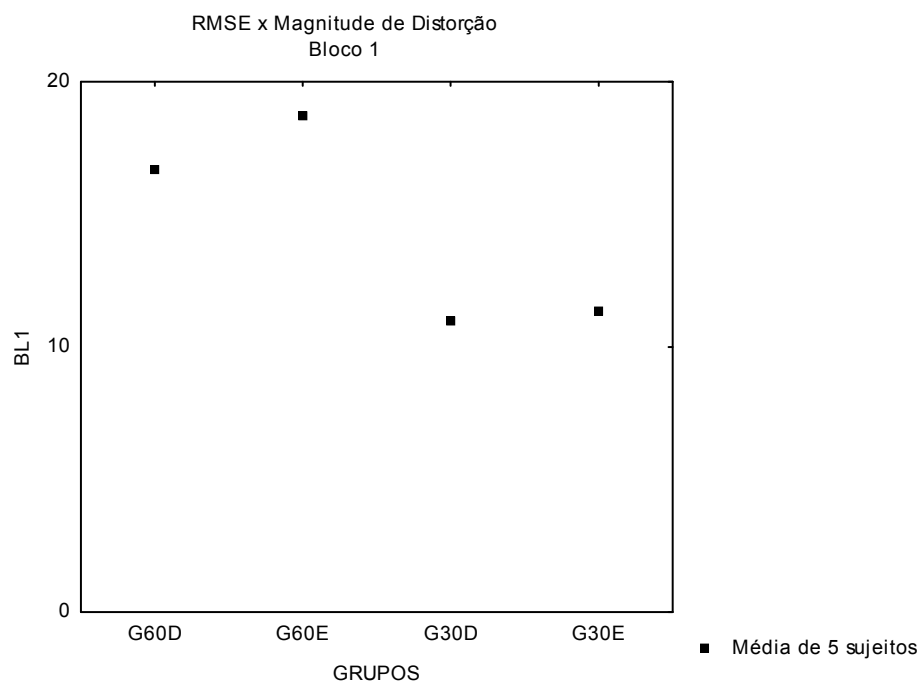
Os instrumentos e procedimentos deste piloto foram iguais aos do piloto 1.

#### **Delineamento:**

O piltoto consistiu de uma única fase com dez tentativas nas quais foram inseridas as distorções de 30° e 60°.

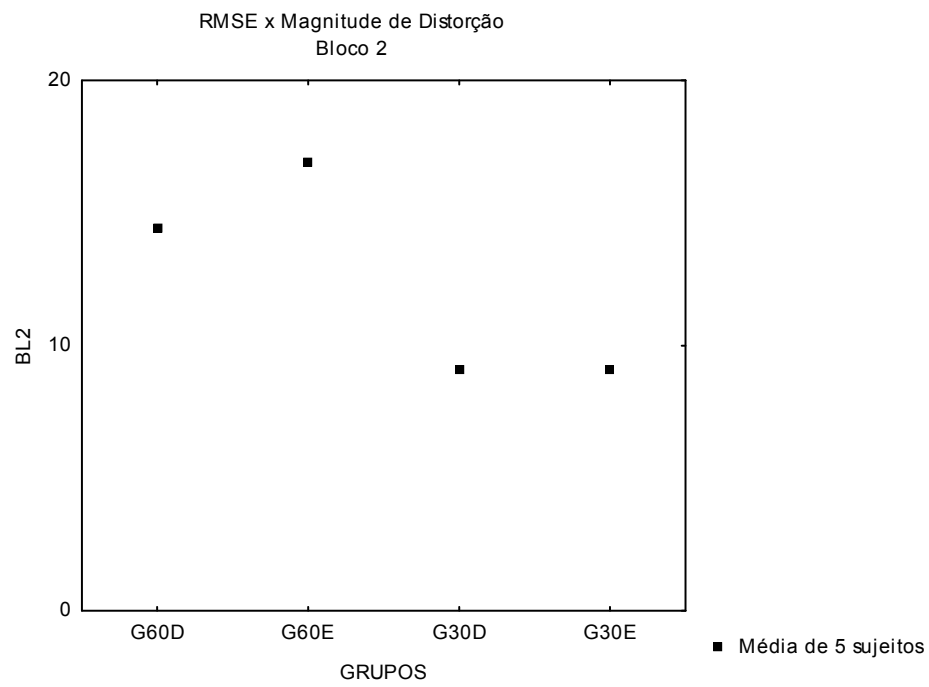
## Resultados e Conclusão:

Os dados foram agrupados em média para os cinco sujeitos, separando as condições direita e esquerda. Foi realizada análise descritiva do erro causado pelas diferentes magnitudes de distorção. Observou-se que houve diferenças no desempenho nos primeiros blocos de tentativas em função da magnitude da distorção (GRAFICOS A e B). Estes resultados permitiram concluir que os valores de distorção adotados atendem ao objetivo do estudo.



**GRÁFICO A:** Diferença na RMSE em função da magnitude da distorção para as condições direita e esquerda.





**GRÁFICO B:** Diferença na RMSE em função da magnitude da distorção para as condições direita e esquerda.

## **APÊNDICE D: PILOTO 3**

### **Objetivo:**

Determinar qual a duração da tentativa para a fase de pré-exposição (sem distorção) e exposição (com distorção).

### **Método**

#### **Amostra:**

Participaram desse estudo três sujeitos para determinação da duração da tentativa da primeira fase e três sujeitos para determinação da duração da tentativa da segunda fase. Todos eram destros e inexperientes na tarefa.

#### **Tarefa:**

Executar um movimento de apontamento em direção a um alvo fixo localizado a direita ou a esquerda do ponto central (INÍCIO). Os sujeitos foram instruídos a realizar o movimento o mais rápido possível.

#### **Instrumentos:**

Mesmos instrumentos utilizados no piloto 1.

#### **Delineamento:**

O piloto constou de uma única fase. Os sujeitos que praticaram sem distorção realizaram 30 tentativas e os sujeitos que praticaram com distorção realizaram 50

tentativas. A distorção imposta foi a de 60°. Esta distorção foi escolhida por ser, teoricamente, a que imprimiria maior demanda ao sujeito.

Procedimentos:

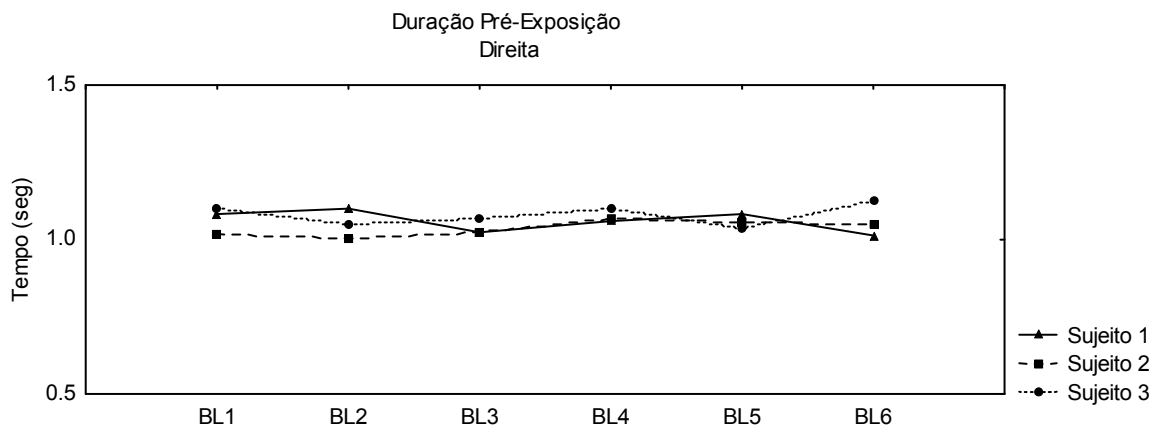
Os procedimentos adotados neste piloto foram os mesmos do piloto 1.

Medidas:

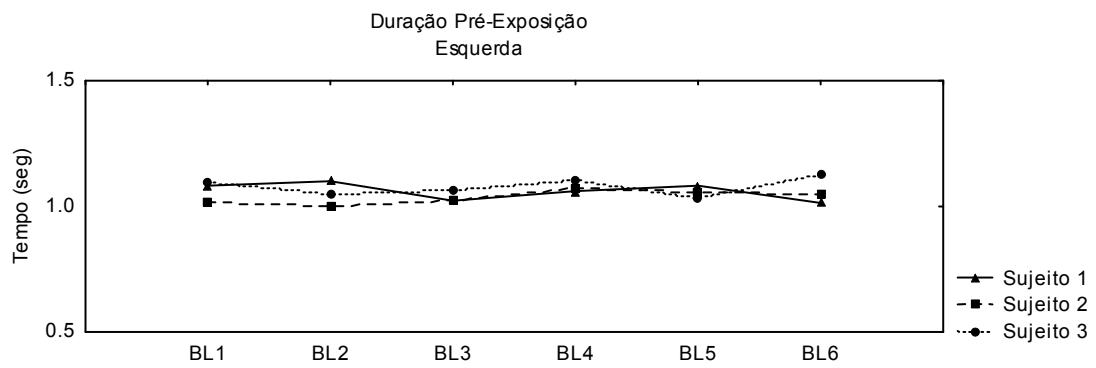
Duração da tentativas em segundos.

**Resultados:**

Os dados foram agrupados em média de cinco tentativas tanto para a primeira fase quanto para a segunda. A análise dos dados referente à primeira fase permitiu verificar que a duração das tentativas do início até o final da prática não ultrapassou 1.5 segundos para as duas condições: direita e esquerda (GRAFICOS A e B).

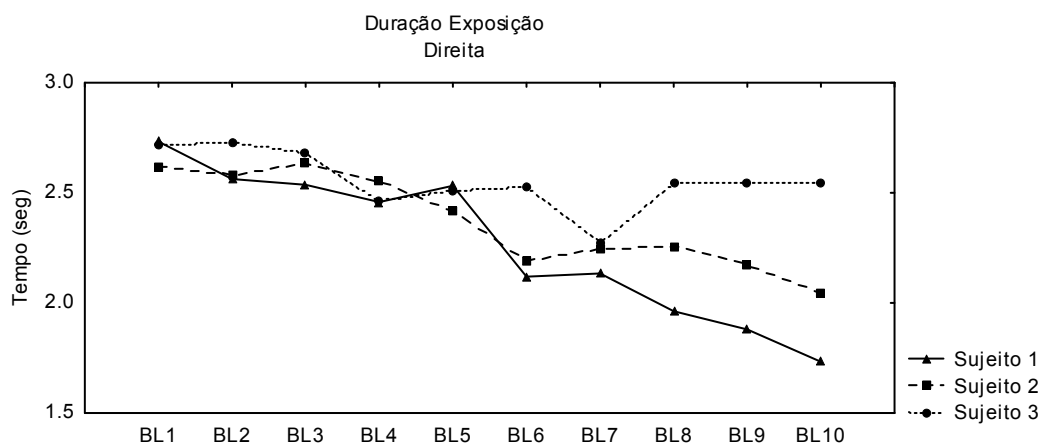


**GRÁFICO A:** Duração em blocos de 5 tentativas para cada sujeito na fase de pré-exposição, para condição direita.

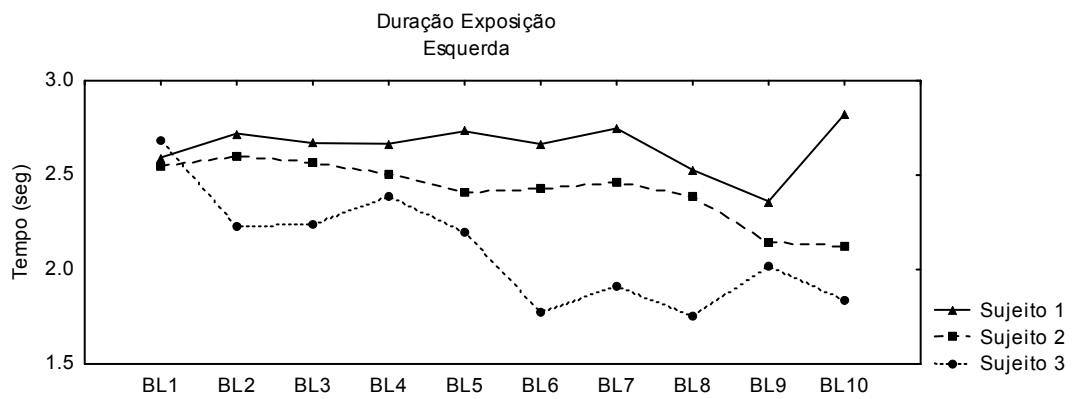


**GRÁFICO B:** Duração em blocos de 5 tentativas para cada sujeito na fase de pré-exposição, para condição esquerda.

A análise descritiva dos dados referentes à segunda fase permitiu verificar que a duração das tentativas não ultrapassou 3 segundos para as condições direita e esquerda (GRAFICOS C e D).



**GRÁFICO C:** Duração em blocos de 5 tentativas para cada sujeito na fase de exposição, para condição direita.



**GRÁFICO D:** Duração em blocos de 5 tentativas para cada sujeito na fase de exposição, para condição esquerda.

### Conclusão:

Com base nos resultados apresentados optou-se por fixar a duração da tentativa da fase de pré-exposição em 1.5 segundos e a duração da tentativa da fase de exposição em 3 segundos.

## **APÊNDICE E: PILOTO 4**

### **Objetivo:**

Determinar o número de tentativas das fases de pré-exposição (sem distorção) e de exposição (com distorção).

### **Método:**

#### **Amostra:**

Participaram desse estudo três sujeitos para determinação do número de tentativas da primeira fase e três sujeitos para determinação do número de tentativas da segunda fase. Foram utilizados sujeitos diferentes para garantir que a prática sem perturbação não influenciaria o comportamento na segunda fase (FONSECA, 2009). Todos eram destros e inexperientes na tarefa.

#### **Tarefa, instrumentos e procedimentos:**

A tarefa, os instrumentos e os procedimentos foram os mesmos adotados nos pilotos anteriores. A duração das tentativas adotada baseou-se no piloto 3.

#### **Delineamento:**

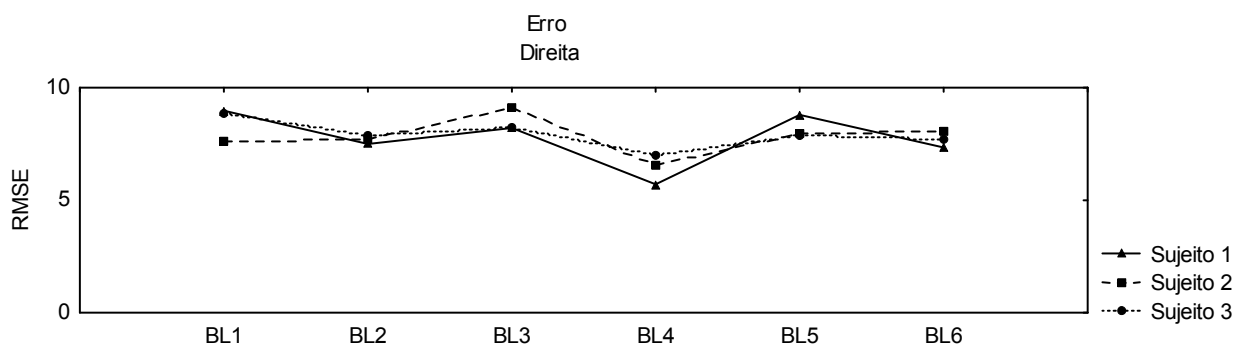
O piloto constou de uma única fase. Os sujeitos que praticaram sem distorção realizaram 30 tentativas e os sujeitos que praticaram com distorção realizaram 120 (suj.3), 200 (suj.2) e 400 (suj.1) tentativas. Estes valores foram escolhidos aleatoriamente a fim de avaliar o comportamento da medida de erro em função de número de tentativas diferentes. A distorção imposta foi a de 60°. Esta distorção foi escolhida por ser, teoricamente, a que imprimiria maior demanda ao sujeito.

Medidas:

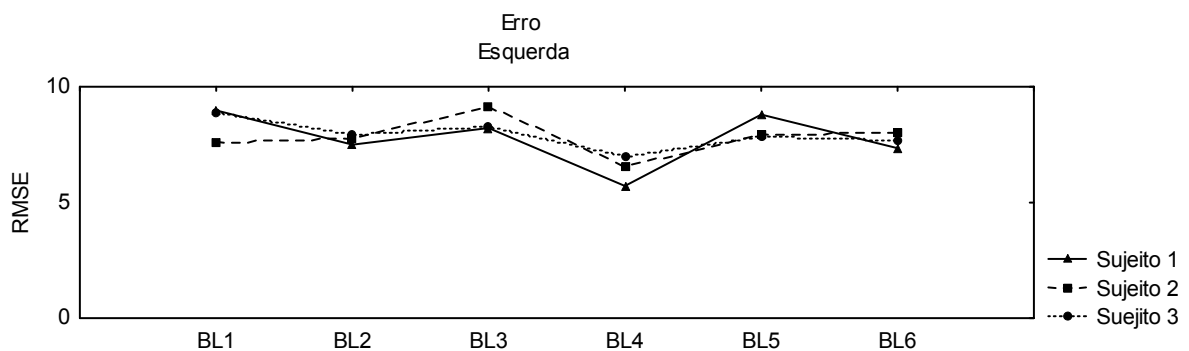
A medida utilizada neste piloto foi o RMSE, raiz quadrada do erro médio.

### Resultados:

As tentativas foram agrupadas em blocos de cinco tentativas. A análise dos dados em relação à fase de pré-exposição identificou que o desempenho dos sujeitos não variou ao longo das tentativas para as duas condições: direita e esquerda (GRAFICOS A e B).

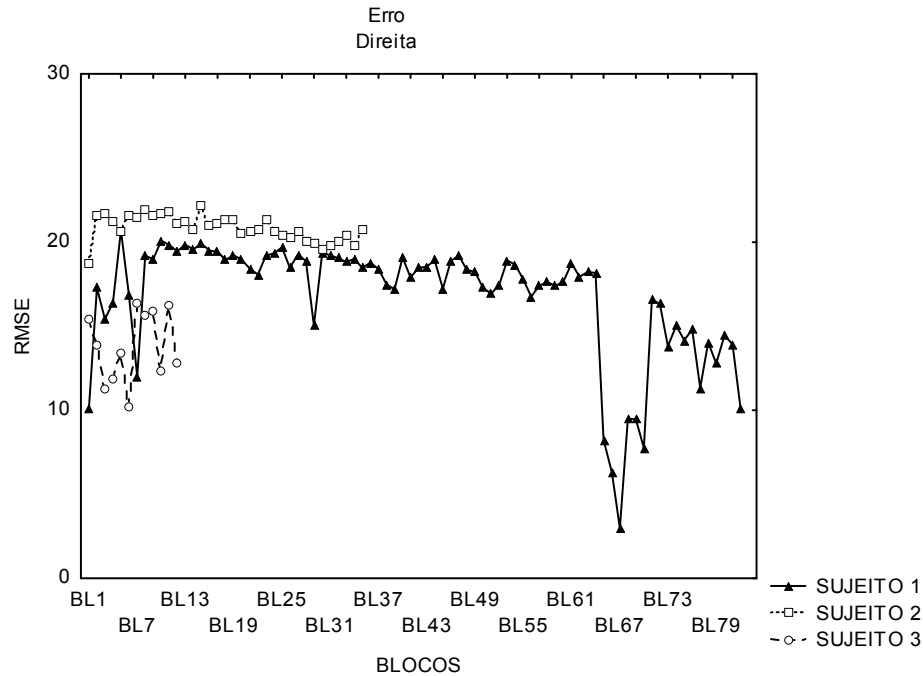


**GRÁFICO A:** RMSE dos blocos de 5 tentativas para cada sujeitos na fase de pré-exposição para a condição direita.



**GRÁFICO B:** RMSE dos blocos de 5 tentativas para cada sujeitos na fase de pré-exposição para a condição esquerda.

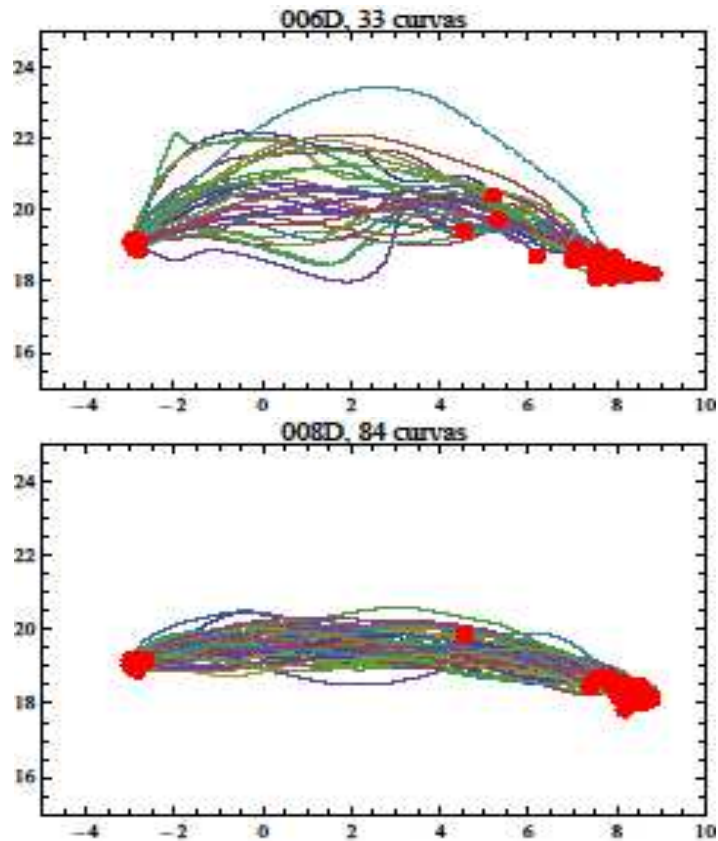
A análise descritiva para a fase de exposição identificou que, apesar da quantidade de prática diferente entre os sujeitos, eles mantiveram desempenho semelhante nas tentativas durante toda a exposição (GRAFICO C).



**GRÁFICO C:** RMSE dos blocos de 5 tentativas para cada sujeito na fase de exposição para a condição direita. É possível observar que não houve redução do erro em função da prática.

Este resultado não era esperado, uma vez que, a literatura aponta que o erro tende a ser reduzido nas tentativas iniciais de prática e continua a cair à medida que o sujeito pratica em condições de distorção (KRAKAUER, et al., 2000). No intuito de verificar a confiabilidade da medida utilizada, foi realizada a inspeção visual dos dados através da análise da trajetória do movimento executado pelo sujeito (FIGURA A).



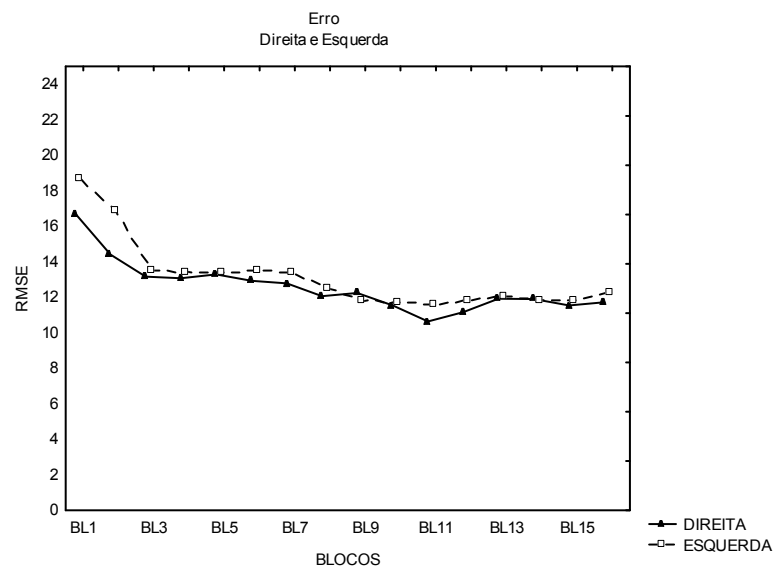


**FIGURA A:** Exemplos das trajetórias executadas durante a fase de exposição em função da quantidade de prática. Em cima, vemos as primeiras trinta e três tentativas da exposição. Em baixo, estão representadas as últimas oitenta e quatro tentativas da exposição. Os dados se referem ao sujeito 3.

A análise descritiva da trajetória permite observar que, no início da prática, os movimentos foram mais variáveis em relação à trajetória executada e ao ponto final do movimento. Ao longo da prática, a variabilidade da trajetória diminuiu e o movimento se tornou mais retilíneo, resultado semelhante ao apontado pela literatura (LIU, et al., 2010). Esta análise permitiu inferir um problema no cálculo da RMSE. Após contato com o gerenciadores do software MovAlyzer (TEULINGS) verificou-se que devido a distorção da informação visual, os dados extraídos pelo programa encontravam rodados 60 graus, valor da distorção imposta. No entanto, o cálculo do erro na rotina não estava considerando tal rotação. Após identificar e corrigir o problema, os dados foram re-analizados. Porém, o comportamento foi mantido. Após novo contato com os fabricantes foi sugerido descartá-los e realizar uma nova coleta com outros sujeitos. Assim uma nova coleta foi realizada para verificar a confiabilidade da medida. Optou-se por realizar nesta coleta 80 tentativas,

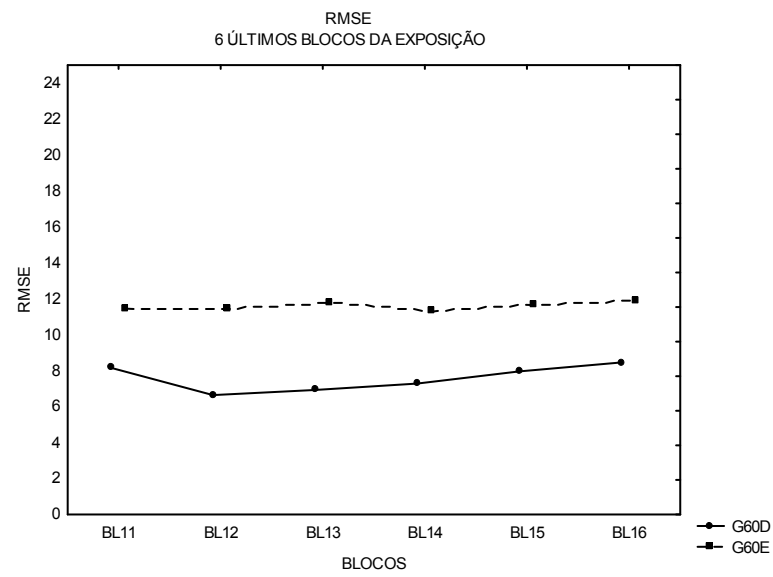
uma vez que, a análise descritiva da trajetória permitiu identificar que este número era suficiente para que o indivíduo realizasse um padrão retilíneo semelhante ao da pré-exposição.

Foram recrutados cinco sujeitos para participarem deste piloto. Foi realizada a média dos cinco sujeitos ao longo da fase de exposição. A análise descritiva dos dados indicou redução do erro ao longo das tentativas com os valores de erro próximos ao da fase de pré-exposição nos blocos finais da exposição para as duas condições: direita e esquerda (GRAFICO D e E).



**GRÁFICO D:** RMSE referente aos blocos de 5 tentativas para os 5 sujeitos durante a fase de exposição para as duas condições. É possível observar que houve redução do erro em função da prática.

Foi realizada a análise dos seis últimos blocos de tentativas para verificar se houve adaptação, critério este proposto por Wang, Sainburg (2005). A ANOVA twoway com medidas repetidas não indicou diferença para o fator blocos  $F(5,90)=1.64$ ,  $p=0.15$ . Esta análise indica que os sujeitos conseguiram se adaptar, portanto o número de tentativas foi suficiente para a ocorrência de adaptação independentemente da condição de prática.



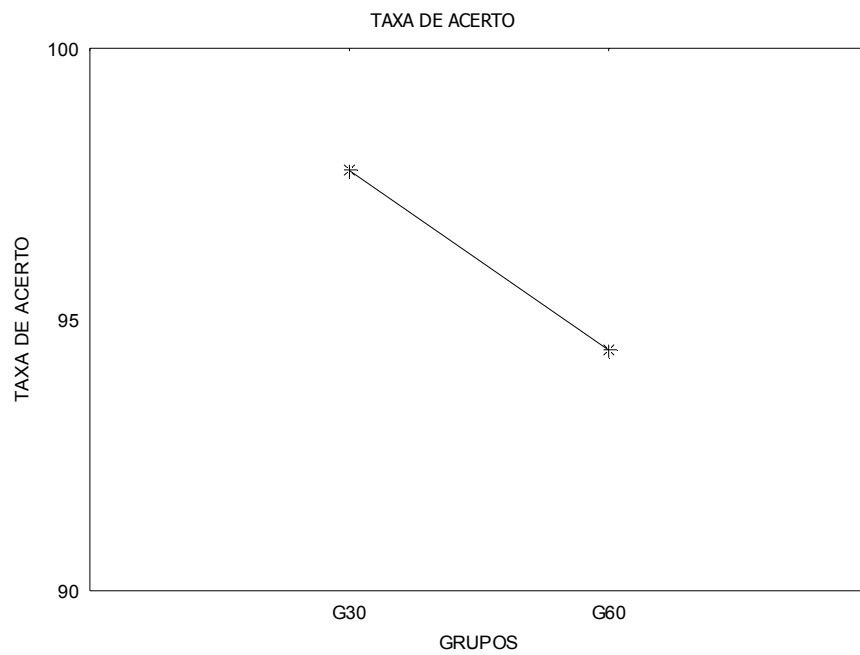
**GRÁFICO E:** RMSE referente aos seis últimos blocos de cinco tentativas para os 5 sujeitos. Esta análise foi realizada para a fase de exposição nas condições direita e esquerda.

### Conclusão:

Baseado nos resultados apresentados optou-se por fixar o número de tentativas da pré-exposição em 20 para cada alvo e o número de tentativas da exposição em 80 para cada alvo.

**APÊNDICE F:**

Taxa de acerto na fase de exposição, representa o percentual de alcance ao alvo em relação ao número total de tentativas, independente da posição do alvo. A comparação da taxa de acerto entre os grupos G30 e G60 indicou que os grupos apresentaram desempenho semelhante  $F(1,18)= 2.54$ ,  $p=0.13$ , de modo que não houve diferença significativa no percentual de acerto dos grupos. Além disso, os resultados mostraram que o percentual de acerto foi acima de 94% para os dois grupos.



## ANEXO



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA - COEP

Parecer nº. ETIC 0397.0.203.000-10

Interessado(a): Prof. Herbert Ugrinowitsch  
Departamento de Esportes  
EEFFTO - UFMG

## DECISÃO

O Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG – COEP aprovou, no dia 29 de setembro de 2010, o projeto de pesquisa intitulado **"Adaptação a diferentes magnitudes de perturbação em função do nível de estabilização do desempenho"** bem como o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

O relatório final ou parcial deverá ser encaminhado ao COEP um ano após o início do projeto.

Prof. Maria Teresa Marques Amaral  
Coordenadora do COEP-UFMG