

VITOR LEANDRO DA SILVA PROFETA

**Nível de estabilização na resposta a perturbações imprevisíveis: efeitos
sobre o *feedback* corrente e o *feedforward***

**Belo Horizonte
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional - EEFFTO
Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG
2009**

VITOR LEANDRO DA SILVA PROFETA

Nível de estabilização na resposta a perturbações imprevisíveis: efeitos sobre o *feedback* corrente e o *feedforward*

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Esporte da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências do Esporte.

Orientador: Dr. Herbert Ugrinowitsch

Belo Horizonte
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional - EEFFTO
Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG
2009

P965n Profeta, Vitor Leandro da Silva
2010

Nível de estabilização na resposta a perturbações imprevisíveis: efeitos sobre o feedback corrente e o feedforward. [manuscrito] /Vitor Leandro da Silva Profeta . – 2010.

71 f., enc.:il.

Orientador: Herbert Ugrinowitsch

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional.

Bibliografia: f. 61-63

1. Realimentação (Psicologia). 2. Aprendizagem motora. 3.. I. Ugrinowitsch, Herbert. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional. III. Título.

CDU: 159.943



Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional.
Programa de Pós-Graduação em Ciências do Esporte



Dissertação intitulada “Nível de Estabilização na Resposta às Perturbações Imprevisíveis: Efeitos Sobre o Feedback Corrente no Feedforward”, de autoria do mestrando **Vitor Leandro da Silva Profeta**, defendida em 21 de agosto de 2009, na Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais e submetida à banca examinadora composta pelos professores:

Prof. Dr. Herbert Ugrinowitsch
Departamento de Esportes
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
Universidade Federal de Minas Gerais

Prof. Dr. Sérgio Teixeira da Fonseca
Departamento de Fisioterapia
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
Universidade Federal de Minas Gerais

Prof. Dr. Rodolfo Novellino Benda
Departamento de Educação Física
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
Universidade Federal de Minas Gerais

Belo Horizonte, 21 de agosto de 2009.

Agradecimentos

“Ciência não se faz sozinho”. Este ensinamento me foi transmitido inúmeras vezes dentro do Grupo de Estudos em Desenvolvimento e Aprendizagem Motora (GEDAM) e cada vez mais tenho a compreensão de que ele avança para além dos limites acadêmicos e adentra os demais domínios da minha vida. Hoje, vejo claramente que sou o que sou por causa daqueles que conheci. Pessoas, as mais variadas, que, até hoje não sei por que, acreditam tanto em mim! Pessoas que sem pedir nada em troca me ajudaram e me ajudam! Deixo aqui expresso o meu agradecimento a algumas destas pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram com o meu processo de mestrado.

Aos meus pais, Adão e Helena, que tanto me deram. Talvez, o maior dos presentes tenha sido me ensinar a sonhar!

Aos meus irmãos Angélica, Valéria e Venício, pessoas cujas críticas tanto me fazem crescer!

À tia Baixinha, uma pessoa sensacional e que sempre me incentivou!

Ao meu orientador, Prof. Dr. Herbert Ugrinowitsch, por ser a pessoa dentro da EEEFTO que acreditou em mim e oportunizou caminhos! Você não sabe o quanto sou grato por isto!

Ao Prof. Dr. Rodolfo Novellino Benda, a pessoa que despertou em mim o interesse pelo estudo em controle motor e com quem aprendi muito sobre amizade e profissionalismo.

Ao Prof. Dr. Sérgio Teixeira da Fonseca, por quem tenho grande admiração profissional.

Ao João Fialho, que foi a pessoa que me instigou a estudar e nunca me limitar a visão de um livro-texto.

Ao Mauro Lacerda, que me ajudou ao longo deste processo sem exigir nada em troca. Uma pessoa fantástica com um coração do tamanho do mundo!

Ao Luciano “Ninja”, que foi fundamental neste trabalho, ajudando muito mais do que “apenas” construindo o equipamento utilizado.

Ao Gustavo Moraes, que no meio do processo do mestrado ingressou à equipe e acrescentou bastante. Uma pessoa com a determinação de um guerreiro!

Ao Marcus René e ao Robledo Coelho, pelo auxílio prestado no trabalho com SIMI *motion*.

Ao Fabiano Fonseca, que além de ser o grande amigo, foi um grande professor. Posso dizer que suas idéias mudaram algumas das minhas concepções de vida!

À Nádia Marinho e à Thábata Gomes, que ingressaram no mestrado e me ajudaram a construir esta história, além de sempre terem muito carinho comigo!

À Maria Flávia Carvalho e ao Maicon Albuquerque, pelas conversas extremamente produtivas, não só acadêmicas. Grandes amigos que a EEFFTO me proporcionou!

À Aline Miguel e ao Lucas Figueiredo, que me ajudaram no trabalho. Dois grandes talentos do GEDAM!

Aos demais integrantes do GEDAM, que com suas particularidades me influenciaram: Alessandra Ugrinowitsch, Cláudio Leite, Fabrícia Loschiavo-Alvares, Fernanda Oliveira, Guilherme Lage, Leandro Palhares, Leonardo Portes, Lívia Gallo, Marcelo Januário, Márcio Vieira e Marluce Fonseca.

Aos amigos de graduação que nunca me deixaram: Cinara Costa, Lucas Leite Lima, Luciana Paro, Luiz Gustavo Nicácio, Michele Atalla, Victor Hugo de Jesus.

Aos amigos de Estadual Central: Edson “Tom” (Baiano) e João Vitor Esteves Gomes da Silva. Nossa amizade desbravará a eternidade!

Aos funcionários da EEFFTO, em especial à secretária da pós-graduação Karen e à estagiária Eli, que me aturaram tantas vezes no colegiado de pós-graduação.

À Luciene Baranowski, ao Mauro Pinto, ao Lucas Baranowski Pinto, à dona Célia, à Lílian Baranowski, ao Hamilton “Peludinho”, à Luiza Baranowski e ao Odon “Barão”, que me acolheram como um membro da família!

Aos voluntários desta pesquisa, pois sem eles ela não existiria.

À Gabi, a pessoa mais fantástica que já conheci e que transformou a minha vida! Você não faz idéia do quanto te amo lindinha!

À CAPES por ter me concedido um ano de bolsa de estudos.

À Fundação Universitária Mendes Pimentel (FUMP) e seus assistentes sociais, por nunca terem me ajudado nas vezes em que precisei. Tornei-me mais forte quando vocês me viraram as costas!

A todas as pessoas que contribuíram para meu ingresso e minha saída do mestrado!

Epígrafe

Sobre os ombros de quais gigantes me apoiarei agora?

Resumo

Nível de estabilização na resposta à perturbações imprevisíveis: efeitos sobre o *feedback* corrente e o *feedforward*.

Autor: Vitor Leandro da Silva Profeta

Orientador: Dr. Herbert Ugrinowitsch

O objetivo do estudo foi investigar se sujeitos com diferentes níveis de estabilização do desempenho se adaptam de forma diferente à perturbações imprevisíveis introduzidas após o início do movimento. Vinte e quatro voluntários foram divididos em três grupos experimentais: grupo pré-estabilização (GP), grupo estabilização (GE) e grupo superestabilização (GS). O experimento foi conduzido em duas fases: pré-exposição e exposição. Na fase de pré-exposição, somente o GE e o GS praticaram a tarefa de lançamento de dardo de salão, realizando um movimento pendular do braço em sentido pôstero-anterior, a um alvo com centro posicionado a 2,5m da área de lançamento. Os grupos foram diferenciados quanto ao critério de desempenho para terminarem a prática nesta fase: para o GE foi realizar um bloco de três tentativas consecutivas com pontuação do alvo variando de 28 a 40; para o GS o critério foi realizar seis blocos de três tentativas consecutivas com pontuação do alvo variando de 28 a 40. A fase de exposição teve participação dos três grupos, GE, GS e GP e todos realizaram 158 tentativas das quais 18 eram com perturbações imprevisíveis inseridas após o movimento ter iniciado. Um par de diodos acesos indicava qual alvo deveria ser atingido. Em algumas tentativas pré-estabelecidas, mas sem conhecimento dos sujeitos, após o movimento ter iniciado os diodos do alvo a 2,5m apagavam e os de um dos outros dois alvos, um com centro a 2,0m e outro a 3,0m da área de lançamento, acendiam. Foi analisado o desempenho (escore) e de utilização de *feedforward* e *feedback* corrente (medidas cinemáticas). Os resultados indicaram que nenhum dos grupos conseguiu adaptar às perturbações e que o GS utilizou mais *feedforward* do que o GP.

Palavras-chave: estabilização, perturbação imprevisível, *feedforward*, *feedback* corrente, adaptação.

Abstract

Stabilization level in the response to unpredictable perturbations: effects on the feedback online and the feedforward.

Author: Vitor Leandro da Silva Profeta

Adviser: Dr. Herbert Ugrinowitsch

The objective of this study was to investigate if subjects with three different levels of stabilization of the performance adapt in different way to unpredictable perturbations introduced after the movement on set. Twenty-four volunteers were divided into three experimental groups: pre-stabilization group (GP), stabilization group (GE) and super-stabilization group (GS). The experiment was conducted in two phases: pre-exposure and exposure. During the pre-exposure phase, only GE and GS practiced the task of throwing the dart, doing an arm swinging movement in back-front direction, to a target with the center positioned at 2.5m far from the throwing area. The groups were differentiated on the criterion of performance to finish the practice at this phase: for GE it was doing a block of three trials in a row with the scores of the target ranging from 28 to 40; for GS the criterion of performance was six blocks of three trials in a row with the score of the target ranging from 28 to 40. The exposure phase had the participation of three groups, GE, GS and GP and all the volunteers made 158 trials of which 18 were inserted unpredictable perturbations after the beginning of the movement. A pair of turned on diodes indicated which target should be reached. In some pre-established trials, but without knowledge of the subjects, after the movement on set, the diodes of the target positioned 2.5 m far from the throwing area turned off and the diodes from the one of the other two targets, with the center 2.0 m and 3.0 m far from the throw area, turned on. It was analyzed measures of performance (score) and of feedforward and current feedback (kinematic measures). The results indicated that none of the groups managed to adapt to the perturbations and that GS used more feedforward than GP.

Key words: stabilization, unpredictable perturbation, feedforward, feedback online, adaptation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: Ilustração da tarefa lançamento do dardo de salão por meio de movimento póstero-anterior a alvos estacionários. O alvo do centro caracteriza a situação sem perturbação. O alvo mais afastado da área de lançamento caracteriza a perturbação 01 (pert01), enquanto o alvo mais próximo da área de lançamento caracteriza a perturbação 02 (pert02)	27
QUADRO 1: Distribuição das tentativas com perturbação durante a fase de exposição. Mudança do alvo para mais distante da área de lançamento (P01), para mais próximo (P02) e tentativas sem mudança (TSM)	30
GRÁFICO 1: Média \pm erro padrão dos escores no primeiro e no último bloco da fase de pré-exposição do GE e do GS	34
GRÁFICO 2: Média \pm erro padrão da distPV (m) no primeiro e no último bloco da fase de pré-exposição do GE e do GS	35
GRÁFICO 3: Média \pm erro padrão do TPV (s) no primeiro e no último bloco da fase de pré-exposição do GE e do GS	36
GRÁFICO 4: Média \pm erro padrão da distSOLT (m) no primeiro e no último bloco da fase de pré-exposição do GE e do GS	37
GRÁFICO 5: Média \pm erro padrão do TSolt (s) no primeiro e no último bloco da fase de pré-exposição do GE e do GS	38
GRÁFICO 6: Média \pm erro padrão do escore nos blocos antes, durante e após exposição às perturbações 01 e 02 do GP, do GE e do GS	40
GRÁFICO 7: Média \pm erro padrão da distPV (m) nos blocos antes, após e durante a exposição às perturbações 01 e 02 do GP, do GE e do GS	41
GRÁFICO 8: Média \pm erro padrão da TPV (s) nos blocos antes, durante e após a exposição às perturbações 01 e 02 do GP, do GE e do GS	42
GRÁFICO 9: Média \pm erro padrão da distSOLT (m) nos blocos antes, durante e após a exposição às perturbações 01 e 02 do GP, do GE e do GS	43
GRÁFICO 10: Média \pm erro padrão da TSolt (s) nos blocos antes, durante e após a exposição às perturbações 01 e 02 do GP, do GE e do GS	44
GRÁFICO 11: Média \pm erro padrão da distPV (m) nos blocos antes, durante e após a exposição às perturbações 01 e 02 do GP, do GE e do GS, em que o alvo correto foi atingido	46

GRÁFICO 12: Média \pm erro padrão da TPV (s) nos blocos antes, após e durante a exposição às perturbações 01 e 02 do GP, do GE e do GS, em que o alvo correto foi atingido.....47

GRÁFICO 13: Média \pm erro padrão da distSOLT (m) nos blocos antes, após e durante a exposição às perturbações 01 e 02 do GP, do GE e do GS, em que o alvo correto foi atingido.....48

GRÁFICO 14: Média \pm erro padrão da TSolt (s) nos blocos antes, após e durante a exposição às perturbações 01 e 02 do GP, do GE e do GS, em que o alvo correto foi atingido.....49

LISTA DE ABREVIATÖES

distPV: distância do início do movimento até alcançar o pico de velocidade.

distSolt: distância do início do movimento até a soltura do dardo.

FM: *forward model*.

GE: grupo estabilização.

GP: grupo pré-estabilização.

GS: grupo superestabilização.

IDM: *inverse dynamic model*.

MI: modelo interno.

PA: pico de aceleração.

PAN: pico de aceleração negativa.

PV: pico de velocidade.

TPV: tempo do início do movimento até atingir o pico de velocidade.

TSolt: tempo do início do movimento até a soltura do dardo.

LISTA DE SÍMBOLOS

h_0 : altura de soltura do dardo.

x_0 : ponto de soltura do dardo no eixo x.

v_0 : velocidade de soltura do dardo.

z_0 : ponto de soltura do dardo no eixo z.

δ_{ar} : resistência do ar.

φ : ângulo de desvio da direção do lançamento no plano "xz".

θ : ângulo de soltura no plano "xy".

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	Controle de habilidades motoras discretas.....	15
1.2	Adaptação motora em função do tipo de perturbação.....	19
1.3	Nível de estabilização do desempenho e adaptação.....	21
2	DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA.....	24
3	OBJETIVO.....	25
4	HIPÓTESE.....	26
5	MÉTODO.....	27
5.1	Amostra.....	27
5.2	Tarefa.....	27
5.3	Instrumentos.....	28
5.4	Procedimentos.....	29
5.5	Delineamento.....	30
5.6	Medidas.....	32
5.7	Tratamento dos dados.....	34
5	RESULTADOS.....	35
5.1	Fase de pré-exposição.....	36
5.2	Fase de exposição.....	40
5.3	Fase de exposição: compensação às perturbações.....	46
6	DISCUSSÃO.....	51
7	CONCLUSÃO.....	60
	REFERÊNCIAS.....	61
	APÊNDICE.....	67
	ANEXOS.....	70

1 INTRODUÇÃO

1.1 Controle de habilidades motoras discretas

Recentemente, os processos computacionais para o controle de movimentos têm sido descritos por meio de modelos internos (MI), que podem ser definidos como a representação dos processos neurais que mimetizam características das informações de entrada e saída do sistema neuromotor (KAWATO, 1999). Ou seja, um MI integra um conjunto de informações relevantes à tarefa a ser realizada, simulando a relação do sujeito com o ambiente, e depois gera um comando motor para desempenhar a habilidade (WOLPERT; FLANAGAN, 2009).

Os modelos de controle motor podem ser divididos em dois tipos de MI: *forward models* (FMs) e *inverse dynamics models* (IDMs), sendo que estes dois tipos podem se relacionar conforme as demandas da tarefa. Anteriormente ao início do movimento, as condições ambientais e do efector (o que efetivamente realiza o movimento, ex: membros superiores) são percebidas e consideradas para a computação do movimento que permitirá alcançar a meta. A partir deste momento, um IDM é selecionado de forma a gerar um comando motor para se obter o resultado desejado (KAWATO, 1999; SHADMEHR; MUSSA-IVALDI, 1994).

Paralelamente, a cópia eferente do movimento idealizado é enviada a um FM, que a relaciona com as informações sensoriais prévias, e caso haja uma discrepância entre o idealizado e o realizado, são feitas correções no movimento (DESMURGET; GRAFTON, 2000). Os FMs são modelos preditivos, antecipam as conseqüências do comando motor (WOLPERT; FLANAGAN, 2009). Portanto, são capazes de antecipar o estado futuro do movimento e corrigir antes mesmo que o *feedback* sensorial possa atuar (DESMURGET; GRAFTON, 2000), tornando o processo de correção mais eficiente. No presente estudo não serão discutidos os tipos de modelos internos especificamente, adotando-se a partir de então somente MI para se referir à representação interna responsável pelo controle do movimento.

A existência de MI se apóia em dois mecanismos de controle do movimento: *feedforward* e *feedback*. O *feedforward* é o mecanismo utilizado para a organização

do movimento, que antecede à realização do mesmo (SHADMEHR; MUSSA-IVALDI, 1994). O *feedback* é o mecanismo de controle que ocorre durante a realização do movimento que faz uso da informação produzida durante a sua realização para regular a ação com base na meta previamente estabelecida (SCHMIDT, 1988).

É de interesse da comunidade científica compreender qual destes dois mecanismos contribui de forma mais efetiva para a produção de uma habilidade (ELLIOT; HELSEN; CHUA, 2001). O estudo de como o *feedforward* e o *feedback* se relacionam no controle¹ de habilidades motoras têm sido através de medidas cinemáticas. Em geral, a análise cinemática destes dois mecanismos de controle se dá por meio de pontos representativos das curvas de velocidade x tempo e de aceleração x tempo (ELLIOT; HELSEN; CHUA, 2001). Pontos que ocorrem em partes iniciais do movimento, como aqueles referentes ao pico de velocidade (PV) e ao pico de aceleração (PA), são identificados como medidas de *feedforward*, ou seja, representam a parte do movimento que é estruturada antes de seu início. Pontos que ocorrem em partes finais, como aqueles referentes ao pico de aceleração negativa (PAN), são identificados como medidas de *feedback* (KHAN *et al.*, 2002; uma discussão a respeito do emprego destas medidas é apresentada por KHAN *et al.*, 2006). Logo, é representativo da prioridade dada a um dos mecanismos pela estrutura interna de controle do movimento, o MI, as modificações que venham a ocorrer nestas medidas.

Os estudos com a perspectiva de MI e que comparam os mecanismos de *feedforward* e *feedback* no controle de habilidades motoras, normalmente fazem uso de habilidades motoras discretas. Habilidades motoras podem ser entendidas como movimentos voluntários direcionados a uma meta (SCHMIDT; WRISBERG, 2001), que requerem prática e informação (MAGILL, 2000; SINGER, 1980; STALLING, 1982) e permitem inferências sobre o nível de aprendizagem em função da observação do desempenho (MAGILL, 2000; SCHMIDT; WRISBERG, 2001). Elas apresentam diversas classificações, por exemplo: as habilidades motoras que apresentam início e fim bem definidos e curta duração são classificadas como

¹ Controle também tem sido definido como a parametrização do movimento, em complementaridade à coordenação, que seria a organização dos aspectos invariantes da habilidade (NEWELL, 1996).

habilidades motoras discretas (outros exemplos de classificações podem ser obtidos em MAGILL, 2000; SCHMIDT; WRISBERG, 2001; e uma discussão sobre classificação de habilidades motoras discretas em HOGAN; STERNAD, 2007), sendo que suas características influenciam os processos computacionais realizados para o seu controle.

Apesar de a classificação de habilidades discretas ser bem aceita na literatura, ela considera somente as características da organização espaço-temporal do movimento. Habilidades discretas com metas diferentes ou realizadas em condições ambientais distintas têm mostrado variação do comportamento, incluindo o peso de contribuição dos mecanismos de *feedforward* e *feedback* para o seu controle. Por exemplo, para a tarefa de interceptação (atingir um objeto em deslocamento) com um grau de liberdade (ver TRESILIAN; LONERGAN, 2002), as seguintes restrições definem a ação que tem uma demanda basicamente temporal: velocidade e largura do objeto a ser atingido e largura do implemento utilizado para realização da interceptação (aspectos que definem a janela temporal²), distância do ponto de início do movimento ao local de contato com o objeto e tempo de visualização do objeto (TRESILIAN; LONERGAN, 2002; TRESILIAN; PLOOY, 2006). O sucesso da ação é dado pela combinação do tempo de início do movimento após a visualização do objeto e tempo de movimento (TM), portanto, pelos parâmetros temporais da habilidade. Os resultados dos estudos têm indicado que, em ambiente previsível (sem alterações das condições ambientais após o início do movimento de forma inesperada para o sujeito), o sucesso na tarefa é resultante do controle por *feedforward*, pois o tempo para atingir o pico de velocidade (TPV) tende a estar próximo ao ponto de contato com o objeto (TRESILIAN; PLOOY; CARROL, 2004). Mas, à medida que a distância do ponto de início do movimento ao local de contato com o objeto aumenta, o TM também aumenta e, quando ultrapassa 240ms, para a precisão ser mantida parece ser necessária uma integração do *feedback* ao *feedforward*, mesmo em um ambiente previsível (TRESILIAN; PLOOY, 2006).

² Janela temporal é tradução sugerida pelos autores para o termo em inglês *time window*. Representa o intervalo de tempo disponível para que a tentativa de interceptação seja realizada com sucesso (TRESILIAN; LONERGAN, 2002).

Modificações na forma de controle são observadas quando outros elementos são adicionados à tarefa de interceptação, por exemplo, a tarefa de interceptar e direcionar um objeto a alvos estacionários colocados a diferentes distâncias, por meio de um movimento bi-fásico (uma fase de preparação e uma fase de contato com o objeto em deslocamento). Neste caso, a tarefa continua tendo uma demanda de acurácia temporal, com os mesmos fatores de restrição da tarefa anterior, mas tem a adição de uma demanda de acurácia espacial, pois além de atingir o objeto em deslocamento é necessário direcioná-lo para um ponto de queda específico, o qual pode variar em distância do ponto em que o objeto é lançado. A distância em que o objeto é projetado depende da sua velocidade de saída, ou seja, a velocidade de impacto do implemento com o objeto (VI). Nesta tarefa, tanto o *feedforward* (ex. TPV na fase preparatória; distância percorrida na fase preparatória) como o *feedback* (ex. TPV na fase de contato; início da fase de contato) agem sobre parâmetros espaciais e temporais da habilidade (CALJOUW; van der KAMP; SALVESBERG, 2005; 2006), mostrando uma relação destes mecanismos às exigências da tarefa.

O acoplamento da forma de controle às exigências da tarefa também pode ser observado em uma tarefa sem restrições temporais ao sujeito. Por exemplo, a habilidade de *putting* do golfe, que consiste em direcionar bolas paradas a alvos estacionários por meio de um movimento pendular, utilizando um taco. As modificações na tarefa são dadas, principalmente, pela distância que a bola está do ponto para o qual deve ser direcionada, exigindo maior ou menor velocidade de saída da bola. O sucesso nesta tarefa está ligado à VI do taco com a bola e à orientação do taco em relação à bola no instante de impacto, o que define o quanto da energia obtida no impacto será aproveitada para impulsionar a bola para o local correto (DELAY, *et al.*, 1997). Quando exigido que a bola fosse direcionada para alvos estacionários a diferentes distâncias, o TPV foi mantido constante, cerca de 50% do TM e dentro deste período estava o instante de contato com a bola, ou seja, o momento crítico da habilidade ocorria sob ação de *feedforward* (DELAY, *et al.*, 1997). Além disto, o TM foi mantido constante e somente a distância percorrida pelo taco variou de acordo com as distâncias dos alvos (CRAIG, *et al.*, 2000), indicando que os parâmetros espaciais são modificados para alcançar as exigências da tarefa.

No geral, os resultados mostram que o *feedforward* e o *feedback* atuam sobre parâmetros específicos às demandas da tarefa: temporal (TRESILIAN; PLOOY; CARROL, 2004; TRESILIAN; PLOOY, 2006), espacial (CRAIG, et al., 2000; DELAY, et al., 1997) ou os dois (CALJOUW; van der KAMP; SALVESBERG, 2005; 2006). Contudo, além das demandas da tarefa, outro fator que influencia no MI e, conseqüentemente, nos mecanismos de *feedforward* e *feedback* é o processo de adaptação. A adaptação a uma situação de prática pode alterar a relação entre estes mecanismos tornando um mais influente sobre o resultado final do que o outro, principalmente porque a adaptação é influenciada pelo tipo de perturbação a qual o sujeito é submetido (LACKNER; DIZIO, 2005).

1.2 Adaptação motora em função do tipo de perturbação

Adaptação pode ser entendida como o processo de mudança que recoloca o organismo em uma condição favorável em relação ao meio (DORON; PAROT, 2001), ou seja, é a realização de processos computacionais adequados por um MI em uma nova condição de prática. Estudos sobre adaptação motora têm mostrado que ela pode ocorrer sob ação de *feedforward* (ex. KAREGER; CONTRERAS-VIDAL; STELMACH, 1997; SHADMEHR; MUSSA-IVALDI, 1994; WITNEY; WOLPERT, 2003; WOOLEY et al., 2008). Estes estudos têm sido realizados com efeito posterior³, que é uma compensação às perturbações considerando condições às quais o sujeito foi exposto, que diferem da condição em que ele está atuando. Por exemplo, uma ação que era realizada sob a presença de uma perturbação passa a ser realizada em um contexto em que a perturbação é retirada, porém, o sujeito organiza a ação como se a perturbação ainda estivesse presente, antecipando de forma errônea as interferências do ambiente.

Para conseguir entender como acontece a adaptação é necessário manipular perturbações. Uma perturbação pode ser definida como uma fonte de informação que compete com as condições atuais do organismo (ZANONE; KELSO, 1992), e que leva a mudanças. Portanto, perturbações com características distintas podem levar à adaptações do MI de forma distinta (KAGERER; CONTRERAS-VIDAL;

³ Efeito posterior é a tradução para o português sugerida por Leite (2008) para o termo em inglês *aftereffect*.

STELMACH, 1997). Kagerer, Contreras-Vidal e Stelmach (1997) investigaram como ocorre a adaptação a perturbações visuais (modificação da relação informação percebida-ação do efector, por meio de rotações), classificando-as em mudanças abruptas e mudanças gradativas. Os resultados indicaram que a adaptação foi diferente nas duas condições, tendo um efeito posterior maior na condição de perturbação visual gradativa.

Outra forma de classificar o tipo de perturbação pode ser de acordo com a sua previsibilidade. As perturbações previsíveis são aquelas em que o sujeito conhece o instante e as características da modificação que será introduzida, enquanto perturbações imprevisíveis são aquelas em que a modificação ocorrerá sem que o sujeito tenha conhecimento prévio do instante e/ou das características da modificação (FONSECA, 2009; RICHTER *et al.*, 2004). Nos estudos em que se tem investigado adaptação por meio de efeito posterior, a perturbação tem sido manipulada de forma a ser previsível para o sujeito, mesmo sendo introduzida após o início do movimento. Em outras palavras, apesar de haver uma modificação na tarefa após o início do movimento, essa modificação já é conhecida *a priori*, permitindo antecipação e, portanto, privilegiando o mecanismo de *feedforward*.

Contudo, se a perturbação é inserida após o início do movimento e de maneira imprevisível, ou seja, de uma forma que não permite antecipação, pode levar à necessidade de modificações no decorrer do movimento. Isto se dá porque a perturbação introduzida inesperadamente durante o movimento pode anular qualquer benefício advindo da utilização do que antecede ao início do movimento, alterando a relação espaço-temporal e, conseqüentemente, a solução organizada por mecanismo de *feedforward* deve levar ao erro (ELLIOT; HELSEN; CHUA, 2001). Resultados favoráveis a esta proposição foram encontrados por RICHTER *et al.* (2004), que mostraram que diante da impossibilidade de antecipar a ação, os sujeitos não conseguiram se adaptar por meio de *feedforward*. Logo, para ocorrer adaptação em situações imprevisíveis o *feedback* é essencial, pois age como elemento modificador da organização previamente gerada por meio de *feedforward*. Assim, os dois modos de controle podem ser vistos como complementares para a produção de ações habilidosas em ambientes em que há perturbações imprevisíveis (ELLIOT; HELSEN; CHUA, 2001).

Por exemplo, em tarefas discretas de apontamento, a introdução de perturbação (alteração da posição do alvo) de forma inesperada, após o início do movimento, o valor do PV diminui, enquanto o TPV e o TM aumentam (HANSEN *et al.*, 2009). O mesmo acontece nas tarefas de alcançar e agarrar alvos estacionários, pois a exposição à perturbação diminui o TPV da fase de deslocamento e aumenta o TM (PAULIGNAN *et al.*, 1991). Isto pode ser entendido como consequência de uso de *feedback* em relação às tentativas sem perturbação, que têm o tempo de utilização de comando motor por *feedforward* maior. A influência do *feedback* em medidas de *feedforward* (alteração dos valores de TPV) tem sido justificada por estes autores pela continuidade da utilização dos dois tipos de informação para o controle das habilidades, o que dificulta uma clara distinção, se é que existe, do instante de divisão para a utilização de comando motores enviados por mecanismos distintos (para uma discussão sobre o tema KHAN *et al.*, 2006). De qualquer modo, é importante ressaltar que ambas as habilidades, de apontamento e de alcançar e agarrar alvos estacionários, são habilidades que demandam basicamente aspectos espaciais e, apesar disto, os aspectos temporais destas habilidades foram alterados em função da perturbação, evidenciando a dinamicidade do controle motor. Sobre esta questão os autores pouco têm discutido.

A revisão apresentada indica que a manipulação da perturbação é um importante fator para a adaptação, podendo modificar a influência dos mecanismos de controle de habilidades motoras e os parâmetros sobre os quais eles atuam, sejam eles espaciais ou temporais. Entretanto, as respostas às perturbações também dependem do estado da habilidade que é perturbada (UGRINOWITSCH; TANI, 2005), comumente inferido pela estabilidade do desempenho (UGRINOWITSCH, 2003), pois níveis diferentes de estabilidade podem responder de forma diferente a uma mesma perturbação (UGRINOWITSCH, *et al.*, *in press*).

1.3 Nível de estabilização do desempenho e adaptação

A estabilidade do desempenho ou estabilização funcional pode ser definida como a capacidade do sistema motor de enfrentar perturbações (LI; HADDAD; HAMILL, 2005), sendo que em habilidades contínuas ela é inferida pelo tempo necessário à

retomada da estabilidade após uma perturbação (SCHMIDT; FITZPATRICK, 1996; ZANONE; KELSO, 1991). Nestas habilidades, o padrão de movimento normalmente já se encontra consistente no início da prática e, por isso, este conceito não tem sido empregado em tarefas discretas. Normalmente, estas apresentam grande variabilidade e necessitam de prática para alcançar a capacidade de reproduzir um padrão. Deste modo, a estabilidade do desempenho para habilidades discretas pode ser definida como a capacidade de reproduzir um padrão de ações (persistência) que alcance a meta da tarefa (CATUZZO, 2007).

Esta estabilização do desempenho tem sido descrita como um aspecto fundamental para a adaptação à perturbações (FONSECA, 2009; UGRINOWITSCH, 2003). Uma medida de estabilização do desempenho deve refletir sua propriedade essencial: reprodutibilidade do alcance da meta ambiental. Em alguns estudos sobre estabilização motora têm sido adotados critérios de desempenho em situações experimentais estáveis, ou seja, sem perturbações (ex. FIALHO, 2007; FONSECA, 2009; UGRINOWITSCH, 2003). Estes critérios são estabelecidos previamente ao estudo, normalmente são definidos por meio de estudos-piloto. O critério de desempenho representa uma meta a ser alcançada pelo sujeito que indica sucesso na tarefa de forma repetida [(ex. três tentativas consecutivas em uma faixa de erro de até 50ms em uma tarefa de *timing* coincidente (FIALHO, 2007)]. Fazendo uso desta estratégia, a estabilização deixa de ser definida somente pela quantidade de prática como em outros estudos (ex. BENDA, 2001; FREUDENHEIM; MANOEL, 1999), reduzindo a variabilidade entre indivíduos.

Ao estabelecer um critério de desempenho para caracterizar a estabilização é possível diferenciar níveis de estabilização. Além da estabilização dois outros níveis têm sido comumente investigados na literatura: pré-estabilização e superestabilização. Pré-estabilização é definido como um estado de desempenho da habilidade que não alcançou a estabilidade, por ausência de prática (FONSECA, 2009; UGRINOWITSCH, 2003) ou por prática insuficiente (BENDA, 2001; UGRINOWITSCH, 2003). Superestabilização tem sido definido como um estado de desempenho da habilidade que, em meio a flutuações comportamentais, alcança a condição de estabilidade diversas vezes (FONSECA, 2009; UGRINOWITSCH, 2003), pois variações do comportamento acontecem mesmo após a estabilização do

desempenho (BENDA, 2001; NEWELL, 1996). Resultados de estudos anteriores têm apontado que diante de uma perturbação de mesma natureza (ex. visual) e magnitude absoluta, o nível de estabilização do desempenho é um importante fator para a adaptação de habilidades motoras (ex. FONSECA, 2009; UGRINOWITSCH, 2003; UGRINOWITSCH *et al.*, *in press*), com o nível de superestabilização apresentando melhor desempenho.

Como tem sido descrito na literatura, a estabilização do desempenho em uma tarefa motora está relacionada à estabilização da estrutura que a controla (FREUDEINHEIN; MANOEL, 1999; UGRINOWITSCH, 2003; TALLET; KOSTRUBIEC; ZANONE, 2008) e a adaptação de um MI é mais rápida quando este é mais estável (TAKAHASHI *et al.*, 2001). Ugrinowitsch (2003) realizou três experimentos com uma tarefa de *timing* coincidente, mantendo em cada um deles a natureza da perturbação (denominadas: perceptiva, motora e perceptivo-motora) e alterando o nível de estabilização (experimento I, pré-estabilização; experimento II, estabilização; experimento III, superestabilização). Os resultados mostraram que as perturbações diferem quanto às exigências que impõem ao sistema perceptivo-motor e que somente o alcance do nível de superestabilização permitiu a adaptação a todas as três perturbações. Neste estudo, as perturbações foram inseridas de maneira constante e previsível. Fonseca (2009) investigou como o nível de estabilização influencia a adaptação à perturbações perceptivas imprevisíveis. Neste estudo, após cada grupo atingir seu critério de desempenho em uma tarefa de *timing* coincidente, numa segunda fase era praticada a mesma tarefa, sendo que em instantes desconhecidos pelos sujeitos eram introduzidas perturbações. Os resultados novamente foram favoráveis à superioridade da superestabilização sobre as demais condições de prática. Contudo, um aspecto pouco discutido neste trabalho refere-se ao fato da tarefa ter uma restrição temporal externa, e os resultados poderiam ser diferentes em uma tarefa sem esta restrição.

2 DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA

A adaptação é o processo de mudança que visa recolocar o organismo em uma condição vantajosa em relação ao meio (DORON; PAROT, 2001). Este processo depende basicamente de dois fatores: a perturbação inserida, que é uma fonte de informação que compete com os recursos atuais do sistema perceptivo-motor (ZANONE; KELSO, 1992), e o nível de estabilização da habilidade, que representa o estado atual deste sistema (TANI, 1995).

Segundo Jordan (1990) e Witney e Wolpert (2003), as estratégias adotadas pelo sistema perceptivo-motor dependem da história de exposição do sistema às perturbações. Em acordo com estes autores, Fialho (2007) encontrou que a adaptação parece estar associada às fontes de variação das informações às quais o sujeito foi exposto durante a estabilização. Portanto, a exposição a um ambiente estável e previsível deve levar à estabilização do desempenho por meio do desenvolvimento de mecanismos de *feedforward* em detrimento dos mecanismos de *feedback* (ex. WOOLEY *et al.*, 2008).

Contudo, a adaptação às perturbações imprevisíveis inseridas após o início do movimento necessita combinação de *feedforward* e *feedback* (ex. HINDER *et al.*, 2008). Tendo como base que a estratégia empregada durante o planejamento (*feedforward*) influencia na capacidade de correção (*feedback*), uma pergunta que surge é: um MI fortalecido por meio de prática extensiva em um ambiente previsível que garante atingir diferentes níveis de estabilização do desempenho (estabilização e suprestabilização), e que favorece o fortalecimento do *feedforward*, possibilita a adaptação às perturbações imprevisíveis inseridas após o início do movimento, quando se torna necessário utilizar *feedback* para atingir a nova meta, em uma tarefa discreta que não possui restrições temporais externas?

3 OBJETIVO

O objetivo do estudo foi investigar se sujeitos com diferentes níveis de estabilização do desempenho se adaptam de forma diferente à perturbações imprevisíveis introduzidas após o início do movimento.

4 HIPÓTESE

Sendo a tarefa em questão essencialmente espacial e uma vez que a flexibilidade de um MI em uma tarefa sem restrições temporais externas está ligada à exploração espacial a qual é submetido (GANDOLFO; MUSSA-IVALDI; BIZZI, 1996), espera-se que o grupo que praticar mais a habilidade (superestabilização) tenha um maior mapeamento de suas possibilidades, o que facilitaria o emprego de estratégias de planejamento mais facilmente corrigíveis após a introdução de perturbações.

5 MÉTODO

O projeto desta Dissertação foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa – COEP – da Universidade Federal de Minas Gerais, parecer ETIC 386/08 (ANEXO I).

5.1 Amostra

A amostra da pesquisa foi obtida por conveniência e a designação dos sujeitos entre três grupos foi de maneira aleatória. Participaram do estudo 29 sujeitos universitários (20 homens e 9 mulheres) com idade média de 23,6 anos (DP= 2,6 anos) e foram aleatoriamente distribuídos em três grupos. Mas, somente 24 tiveram (15 homens e 9 mulheres) seus dados utilizados. Dos cinco sujeitos excluídos da amostra, dois foram por falha no equipamento, um por não alcançar o desempenho critério, um por não seguir as instruções dos experimentadores e um por demonstrar um nível de proficiência muito acima dos demais. Todos os sujeitos eram inexperientes na tarefa e auto-reportaram destros, além de não apresentarem distúrbios visuais ou possuírem corretores de visão. Todos os sujeitos assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido.

Foi adotado o critério de participação de somente sujeitos destros devido às condições do local de realização da coleta de dados que possibilitava a filmagem de somente um lado do corpo. Pelo fato da população de destros ser maior do que a população de canhotos optou-se por uma amostragem desta população.

5.2 Tarefa

A tarefa consistiu em lançar um dardo de salão, por meio de movimento pendular no sentido póstero-anterior, com o objetivo de acertar o centro do alvo estacionários iluminado no instante de soltura do dardo. O alvo ficava disposto no chão com as faixas de pontuação voltadas para cima (adaptado de AL-ABOOD; DAVIDS; BENNETT, 2001; AL-ABOOD; DAVIDS; BENNETT; ASHFORD; MARIN, 2001; BRUZI, 2006) (FIGURA 1).

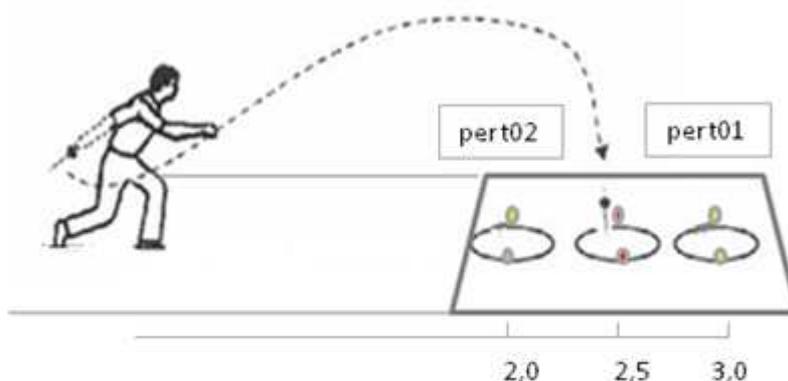


FIGURA 1: Ilustração da tarefa lançamento do dardo de salão por meio de movimento pendular no sentido pósterio-anterior a alvos estacionários. O alvo do centro caracteriza a situação sem perturbação. O alvo mais afastado da área de lançamento caracteriza a perturbação 1 (pert01), enquanto o alvo mais próximo da área de lançamento caracteriza a perturbação 2 (pert02).

5.3 Instrumentos

Três alvos circulares de 44 cm diâmetro foram dispostos de maneira alinhada sobre uma esteira de borracha, com o centro dos alvos posicionados a 2.0, 2.5 e 3.0m da área limite de lançamento dos dardos (FIGURA 1). Com isso, o espaço entre os limites dos alvos foi de seis cm. Os alvos foram divididos em 40 faixas de pontuação de 0,550cm, com o valores de escores variando entre 1, para o mais externo, e 40, o mais interno. Os números que indicavam o escore de cada faixa foram colocados somente nas faixas de valor ímpar, portanto, a faixa entre dois números correspondia a uma pontuação par. Quando a aterrissagem do dardo foi em um local fora do alvo foi atribuída a pontuação zero.

Pares de diodos foram colocados ao lado dos alvos, um diodo de cada lado do alvo na região de maior diâmetro, os quais, quando acesos, indicavam que o lançamento do dardo deveria ser direcionado para o alvo que estava entre eles. Para controlar a relação de acendimento e apagamento dos diodos foi utilizado um acelerômetro preso ao punho dos sujeitos com uma fita de velcro e conectado por meio de fios a um circuito elétrico construído especificamente para esse estudo. O circuito elétrico captava a tensão do acelerômetro e em tentativas pré-estabelecidas, quando o sinal emitido pelo acelerômetro atingia um limiar, enviava um comando para o apagamento dos diodos centrais e o acendimento de um dos dois pares de diodos

das extremidades, caracterizando a perturbação do movimento. A perturbação era introduzida logo após o início do movimento, permitindo tempo suficiente para a realização dos ajustes necessários [os estudos pilotos indicaram que a soltura do dardo ocorria após 250ms, tempo superior ao tempo de reação visual, que normalmente é inferior a 200ms (KATELAARS; KHAN; FRANKS, 1999)].

Para a realização do lançamento foi utilizado um dardo de salão com seu centro de massa (CM) assinalado por um marcador reflexivo esférico. Para a captação do deslocamento do membro superior foram utilizadas duas filmadoras (sendo uma no plano sagital do sujeito e a outra a 45° deste plano e à frente do sujeito) com frequência de captura de 100Hz.

5.4 Procedimentos

No local de coleta de dados, os voluntários foram informados sobre os objetivos da pesquisa e que poderiam retirar o consentimento de participação quando desejassem, sem qualquer ônus para os mesmos (ver ANEXO II – Termo de consentimento livre e esclarecido).

Instruções quanto à forma de pegar o dardo foram fornecidas em conjunto à demonstração por vídeo. O objetivo da tarefa (acertar o centro do alvo iluminado no instante de soltura do dardo) e a pontuação das faixas dos alvos também foram fornecidos previamente ao início da prática. Foram colocados, sobre a pele dos sujeitos, com fita adesiva dupla-face, marcadores articulares esféricos (2cm de diâmetro) que refletiam em exposição à luz nas articulações do ombro (acrômio), cotovelo (epicôndilo lateral), punho (cabeça do rádio), mão (segundo metacarpo com falange proximal do dedo indicador).

Os sujeitos eram posicionados em uma área retangular com limite anterior a 2,5m do centro do alvo central, de onde realizaram o lançamento do dardo. Os sujeitos eram informados que podiam se posicionar livremente dentro desta área. Cada tentativa foi precedida por um sinal verbal “prepara” para permitir ao experimentador iniciar a gravação e um segundo sinal verbal “vai” que indicava a permissão para executar a

tarefa. Os intervalos entre as tentativas de prática foram mantidos em aproximadamente 15s ao longo de todo o experimento.

5.5 Delineamento

Três grupos experimentais foram formados. Na primeira fase do estudo o número de tentativas foi definido pelo alcance dos sujeitos do critério de desempenho definido para cada grupo. Portanto, com base no critério de desempenho foram definidos os grupos estabilização (GE) e superestabilização (GS). O critério para o grupo estabilização foi atingir três vezes consecutivas uma faixa de pontuação do alvo central de 28 a 40 (foi dado um limite de 200 tentativas). Já a superestabilização foi definida como atingir seis blocos de três tentativas consecutivas a faixa de pontuação do alvo central de 28 a 40 (ver ANEXO III – Estudo-piloto) (também foi dado um limite de 200 tentativas para atingir a estabilização e 350 para atingir a superestabilização). Este estudo-piloto mostrou grande flutuação do desempenho, mas em meio a isto a maioria dos sujeitos conseguia obter uma sequência de três acertos consecutivos. Foi observado que mesmo quando dentro de uma quantidade extensiva de prática (1000 tentativas distribuídas em cinco dias de prática) os sujeitos demonstravam este comportamento.

A segunda fase do presente estudo contou com todos os grupos GE, GS e o grupo pré-estabilização (GP), o qual iniciou esta fase sem prática prévia. A tarefa realizada foi semelhante a da fase anterior, exceto que foram introduzidas perturbações a partir da oitava tentativa, com intervalo entre elas de 8 tentativas. O número de tentativas nesta fase foi fixo, 158, divididas em dois blocos de 79 tentativas, com nove perturbações em cada bloco e 18 no total. As perturbações poderiam ocorrer no sentido dos sujeitos terem que lançar o dardo para o alvo mais afastado (perturbação 01) ou de terem que lançar para o alvo mais próximo (perturbação 02). A distribuição das perturbações da fase de exposição foi pseudoaleatória e está apresentada no quadro I.

QUADRO I

Distribuição das tentativas com perturbação durante a fase de exposição.
Mudança do alvo para mais distante da área de lançamento (P01),
para mais próximo (P02) e tentativas sem mudança (TSM).

1	TSM	41	TSM	80	TSM	120	TSM
2	TSM	42	TSM	81	TSM	121	TSM
3	TSM	43	TSM	82	TSM	122	TSM
4	TSM	44	TSM	83	TSM	123	TSM
5	TSM	45	TSM	84	TSM	124	TSM
6	TSM	46	TSM	85	TSM	125	TSM
7	TSM	47	TSM	86	TSM	126	TSM
8	P01	48	P02	87	P01	127	P02
9	TSM	49	TSM	88	TSM	128	TSM
10	TSM	50	TSM	89	TSM	129	TSM
11	TSM	51	TSM	90	TSM	130	TSM
12	TSM	52	TSM	91	TSM	131	TSM
13	TSM	53	TSM	92	TSM	132	TSM
14	TSM	54	TSM	93	TSM	133	TSM
15	TSM	55	TSM	94	TSM	134	TSM
16	P01	56	P01	95	P02	135	P01
17	TSM	57	TSM	96	TSM	136	TSM
18	TSM	58	TSM	97	TSM	137	TSM
19	TSM	59	TSM	98	TSM	138	TSM
20	TSM	60	TSM	99	TSM	139	TSM
21	TSM	61	TSM	100	TSM	140	TSM
22	TSM	62	TSM	101	TSM	141	TSM
23	TSM	63	TSM	102	TSM	142	TSM
24	P02	64	P02	103	P02	143	P01
25	TSM	65	TSM	104	TSM	144	TSM
26	TSM	66	TSM	105	TSM	145	TSM
27	TSM	67	TSM	106	TSM	146	TSM
28	TSM	68	TSM	107	TSM	147	TSM
29	TSM	69	TSM	108	TSM	148	TSM
30	TSM	70	TSM	109	TSM	149	TSM
31	TSM	71	TSM	110	TSM	150	TSM
32	P01	72	P01	111	P01	151	P02
33	TSM	73	TSM	112	TSM	152	TSM
34	TSM	74	TSM	113	TSM	153	TSM
35	TSM	75	TSM	114	TSM	154	TSM
36	TSM	76	TSM	115	TSM	155	TSM
37	TSM	77	TSM	116	TSM	156	TSM
38	TSM	78	TSM	117	TSM	157	TSM
39	TSM	79	TSM	118	TSM	158	TSM
40	P02			119	P02		

5.6 Medidas

Para o presente estudo foram obtidas medidas de desempenho e padrão de movimento. As medidas de desempenho foram os escores obtidos com as faixas de pontuação dos alvos. As medidas de padrão foram extraídas dos dados cinemáticos. Estas medidas foram divididas em medidas de *feedforward* de *feedback*, sendo utilizadas distância para o pico de velocidade (distPV) e o tempo para o pico de velocidade (TPV) para análise de *feedforward*, distância para a soltura do dardo (distSolt) e tempo para a soltura do dardo (TSolt) para análise do *feedback*.

5.7 Tratamento dos dados

Após coletados, os dados de padrão de movimento foram armazenados em vídeo (formato .avi). Os vídeos foram processados no *software SIMI motion* (versão 7.0), no qual foram obtidos dados de posição e tempo. Um algoritmo no *software MatLab* (versão 7.0) foi desenvolvido para que os dados de posicionamento nos eixos x, y e z para todos os marcadores reflexivos membro superior (ombro, cotovelo, punho, mão) fossem filtrados em filtro Butterworth passa-baixa de segunda ordem com frequência de corte a 5Hz.

O início do movimento foi definido como o instante em que o valor da curva velocidade x tempo ultrapassou 2,5% do pico de velocidade. Pelo fato de não terem sido observados movimentos com descontinuidades que indicassem dois possíveis picos de velocidade em 100% das tentativas, o pico de velocidade foi definido como o valor mais alto na curva velocidade x tempo. O instante de soltura foi definido como o instante em que o marcador reflexivo do dardo aumentasse sua distância do marcador reflexivo da mão em 0,8cm. O final do movimento foi definido como o instante de soltura do dardo, já que é somente até este momento que as ações realizadas pelo sujeito podem promover alguma mudança no resultado.

Os dados foram analisados quanto à normalidade (teste de Shapiro-Wilk), à homogeneidade de variâncias (teste de Levene) e à esfericidade (teste de Mauchly). Quando a esfericidade apresentou desvio significativo foi realizada a correção de

Greenhouse-Geisser (HO, 2006; TOUTENBERG, 2002). Atendendo a estes pressupostos, os dados foram submetidos à ANOVA *two way* (grupos x blocos) com medidas repetidas no segundo fator. Como *post-hoc* foi utilizado o teste de Tukey.

6 RESULTADOS

Os resultados estão divididos em três partes. Na primeira parte são apresentados os resultados de escore e medidas cinemáticas na fase de pré-exposição em blocos com as três primeiras e as três últimas tentativas. Na segunda parte são apresentados os resultados de escore e medidas cinemáticas antes (bloco de três tentativas), durante (blocos de nove tentativas de cada tipo de perturbação) e após a exposição às tentativas com perturbação (bloco de três tentativas). Na terceira parte são apresentados os resultados de medidas cinemáticas antes e após a exposição às perturbações em comparação com as tentativas com perturbação em que os sujeitos conseguiram atingir o alvo correto. Neste caso, o valor da média dos sujeitos dependeu da quantidade de vezes que responderam adequadamente às perturbações.

6.1 Fase de pré-exposição

Na medida de escore, a ANOVA indicou diferença significativa no fator blocos [$F_{(1, 14)}=186,42$, $p<0,001$], sendo que no último bloco da pré-exposição o escore foi maior do que no primeiro. O fator grupos não apresentou diferença significativa [$F_{(1, 14)}=0,006$, $p=0,93$] e não houve efeito significativo na interação grupos e blocos [$F_{(1, 14)}=0,50$, $p=0,49$]. As médias dos escores do GE e do GS estão apresentadas no gráfico 1.

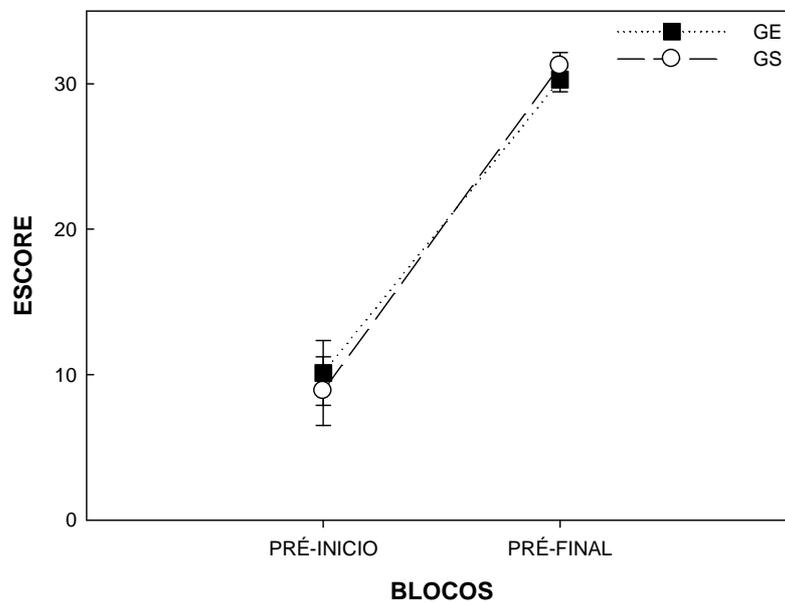


GRÁFICO 1: Média ± erro padrão dos escores no primeiro e no último bloco da fase de pré-exposição do GE e do GS.

Na medida de distPV, a ANOVA indicou diferença significativa no fator blocos [$F_{(1, 14)}=5,88$, $p<0,05$], sendo que no último bloco da pré-exposição a distPV foi maior do que no primeiro. O fator grupos não apresentou diferença significativa [$F_{(1, 14)}=0,99$, $p=0,33$] e não houve efeito significativo na interação grupos e blocos [$F_{(1, 14)}=1,90$, $p=0,18$]. A média da distPV do GE e GS está apresentada no gráfico 2.

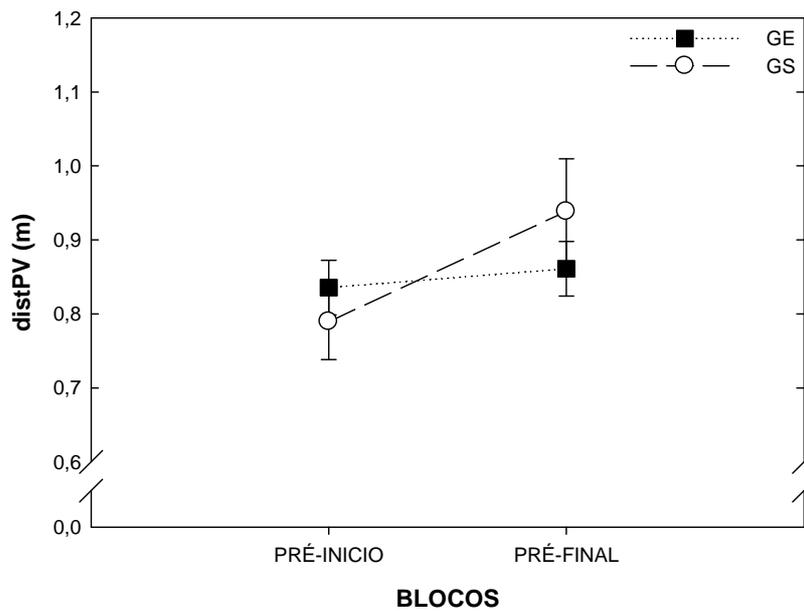


GRÁFICO 2: Média \pm erro padrão da distPV (m) no primeiro e no último bloco da fase de pré-exposição do GE e do GS.

Na medida de TPV, a ANOVA indicou diferença significativa no fator blocos [$F_{(1, 14)}=5,14$, $p<0,05$], sendo que no último bloco da pré-exposição o TPV foi maior do que no primeiro. No fator grupos não foi encontrada diferença significativa [$F_{(1, 14)}=0,18$, $p=0,67$] e não houve efeito significativo na interação grupos e blocos [$F_{(1, 14)}=1,33$, $p=0,26$]. A média do TPV do GE e GS está apresentada no gráfico 3.

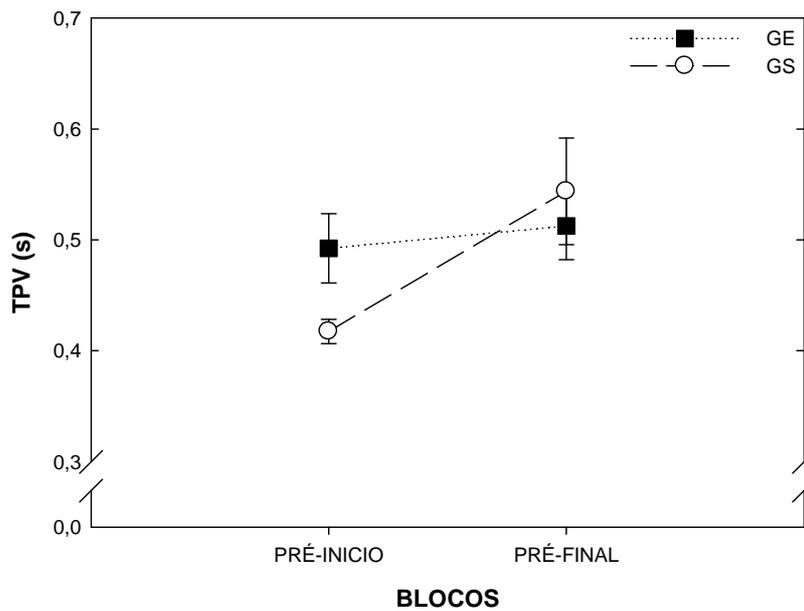


GRÁFICO 3: Média \pm erro padrão do TPV (s) no primeiro e no último bloco da fase de pré-exposição do GE e do GS.

Na medida de distSOLT, a ANOVA indicou diferença significativa no fator blocos [$F_{(1,14)}=7,80$, $p<0,05$], sendo que o último bloco da pré-exposição a distSOLT foi maior do que no primeiro. No fator grupos não foi encontrada diferença significativa [$F_{(1,14)}=0,01$, $p=0,91$] e não houve efeito significativo na interação grupos e blocos [$F_{(1,14)}=1,68$, $p=0,21$]. A média da distSOLT do GE e do GS está apresentada no gráfico 4.

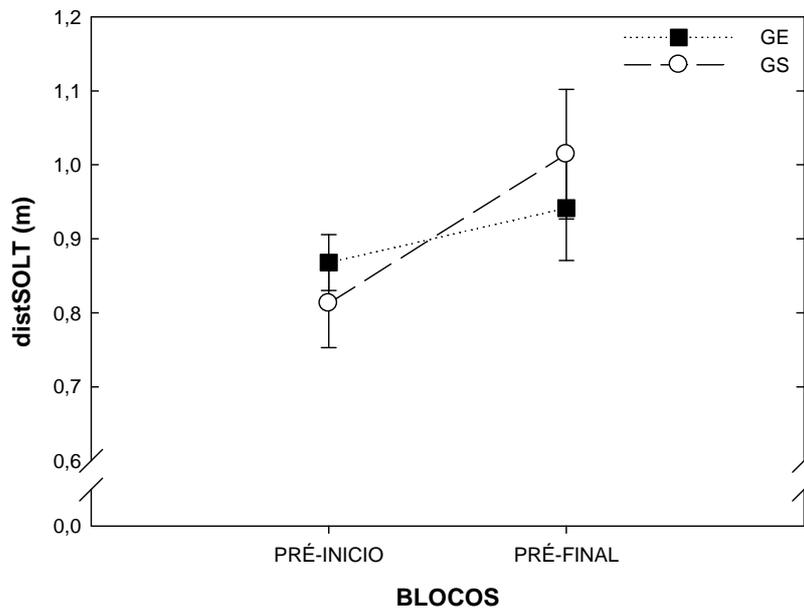


GRÁFICO 4: Média \pm erro padrão da distSOLT (m) no primeiro e no último bloco da fase de pré-exposição do GE e do GS.

Na medida de TSolt, a ANOVA indicou diferença significativa no fator blocos [$F_{(1, 14)}=7,48$, $p<0,01$], sendo que o TSolt do último bloco da pré-exposição foi maior do que o primeiro. O fator grupos não apresentou diferença significativa [$F_{(1, 14)}=0,58$, $p=0,45$] e não houve efeito significativo na interação grupos e blocos [$F_{(1, 14)}=0,49$, $p=0,49$]. A média do TSolt do GE e GS está apresentada no gráfico 5.

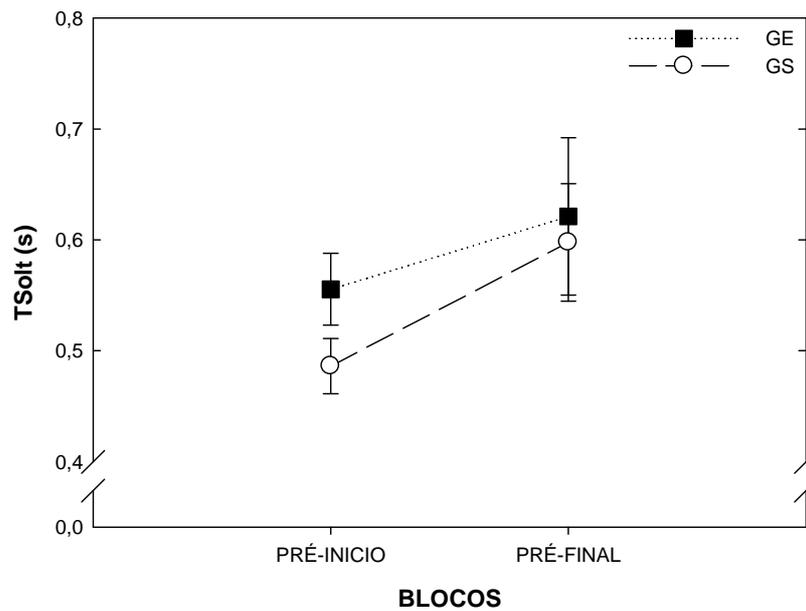


GRÁFICO 5: Média \pm erro padrão do TSolt (s) no primeiro e no último bloco da fase de pré-exposição do GE e do GS.

6.2 Fase de exposição

Na medida de escore, a ANOVA indicou diferença significativa para o fator grupos [$F_{(2, 21)}=22,38, p<0,001$]. O teste de *post hoc* indicou que o GP teve escore menor do que o GE ($p<0,001$) e do que o GS ($p<0,001$), no entanto, GE e GS não apresentaram diferenças significantes ($p=0,10$). No fator blocos também foi indicada diferença significativa [$F_{(3, 63)}=80,98, p<0,001$]. O teste de *post hoc* indicou que antes da exposição, o escore foi maior do que durante a exposição à perturbação 01 ($p<0,001$), à perturbação 02 ($p<0,001$) e após a exposição ($p<0,05$). Além disto, o *post hoc* indicou que o bloco após a perturbação teve um escore maior do que os blocos de perturbação 01 ($p<0,001$) e perturbação 02 ($p<0,001$). O teste também indicou efeito significativo na interação grupos e blocos [$F_{(3, 63)}=17,16, p<0,001$]. No bloco antes da exposição, o GP obteve escore menor do que GE ($p<0,001$) e GS ($p<0,001$), não sendo observada diferenças entre GE e GS ($p=0,99$). O GP ainda apresentou escore maior no bloco após a exposição em relação aos demais: antes da exposição ($p<0,001$), perturbação 01 ($p<0,001$) e perturbação 02 ($p<0,001$). O GE apresentou escore maior no bloco antes da exposição em relação aos demais, perturbação 01 ($p<0,001$), perturbação 02 ($p<0,001$), após a exposição ($p<0,001$) e o bloco após a exposição teve escore maior do que perturbação 01 ($p<0,01$) e perturbação 02 ($p<0,05$). Estes resultados foram replicados pelo GS: o escore do bloco antes da exposição foi maior do que dos blocos após a exposição ($p<0,001$), perturbação 01 ($p<0,001$) e perturbação 02 ($p<0,001$); o escore do bloco após a exposição teve escore maior do que os blocos de perturbação 01 ($p<0,001$) e perturbação 02 ($p<0,001$). A média dos escores do GP, GE e GS está apresentada no gráfico 6.

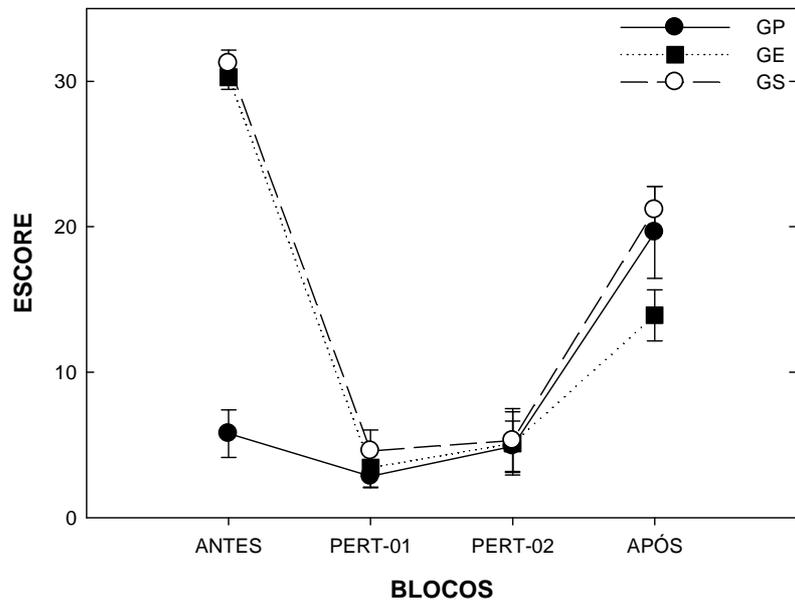


GRÁFICO 6: Média \pm erro padrão do escore nos blocos antes, durante a e após exposição às perturbações 01 e 02 do GP, do GE e do GS.

Na medida de distPV, a ANOVA indicou diferença significativa no fator grupos [$F_{(2, 21)}=4,14$, $p<0,05$]. O teste de *post hoc* para o fator grupos indicou que a distPV do GS foi maior do que a do GP ($p<0,05$). O fator blocos não apresentou diferença significativa [$F_{(3, 63)}=1,11$, $p=0,35$] e não houve efeito significativo na interação grupos e blocos [$F_{(6, 63)}=1,58$, $p=0,16$]. A média da distPV do GP, GE e GS está apresentada no gráfico 7.

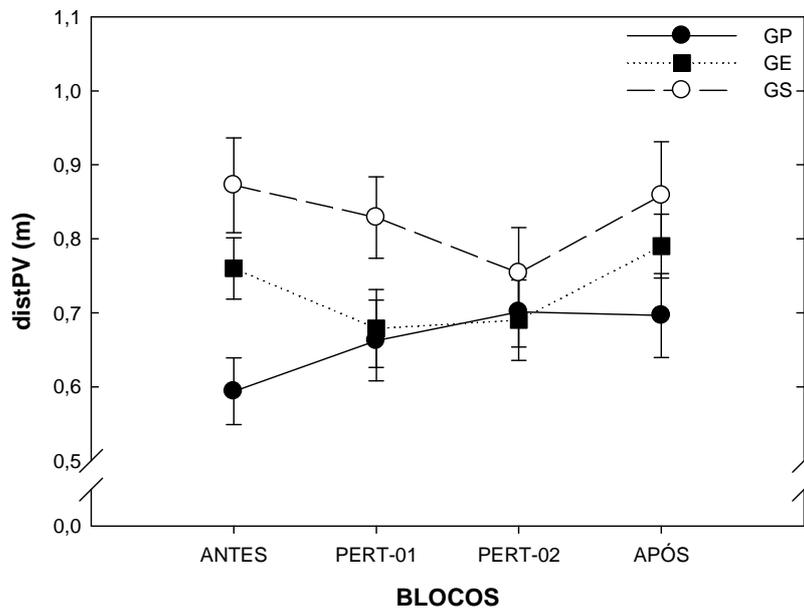


GRÁFICO 7: Média \pm erro padrão da distPV (m) nos blocos antes, após e durante a exposição às perturbações 01 e 02 do GP, do GE e do GS.

Na medida de TPV, a ANOVA não indicou diferenças significantes no fator grupos [$F_{(2, 21)}=0,07$, $p=0,93$] e no fator blocos [$F_{(3, 63)}=2,15$, $p=0,10$], mas indicou efeito significativo na interação grupos e blocos [$F_{(6, 63)}=3,28$, $p<0,01$]. O teste de *post hoc* indicou que o GP no bloco antes da exposição às perturbações apresentou TPV menor do que os blocos de perturbação 01 ($p<0,05$) e perturbação 02 ($p<0,05$). A média do TPV do GP, GE e GS está representada no gráfico 8.

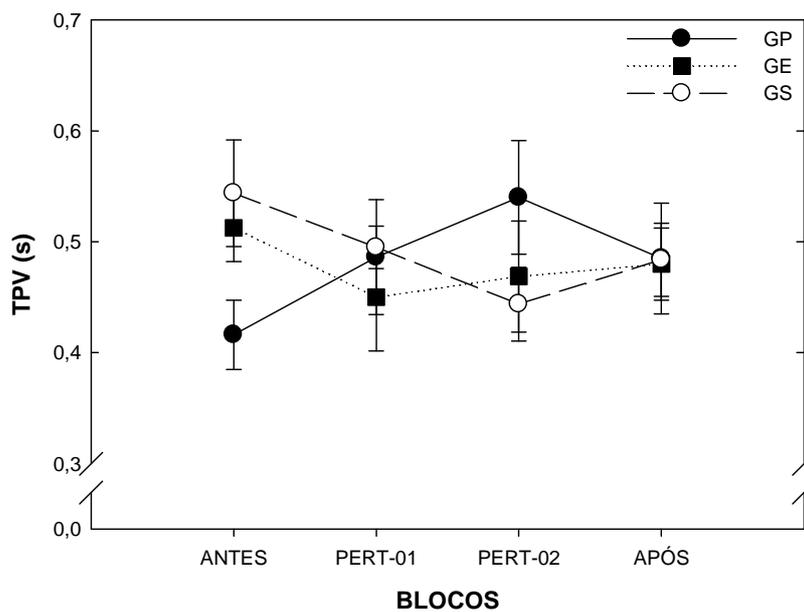


GRÁFICO 8: Média \pm erro padrão da TPV (s) nos blocos antes, durante e após a exposição às perturbações 01 e 02 do GP, do GE e do GS.

Na medida de distSOLT, a ANOVA não indicou diferenças significantes no fator grupos [$F_{(2,21)}=1,41$, $p=0,26$), no fator blocos [$F_{(3,63)}=2,22$, $p=0,09$], bem como não indicou interação significativa entre grupos e blocos [$F_{(6,63)}=0,99$, $p<0,43$]. A média da distSOLT do GP, GE e GS está apresentada no gráfico 9.

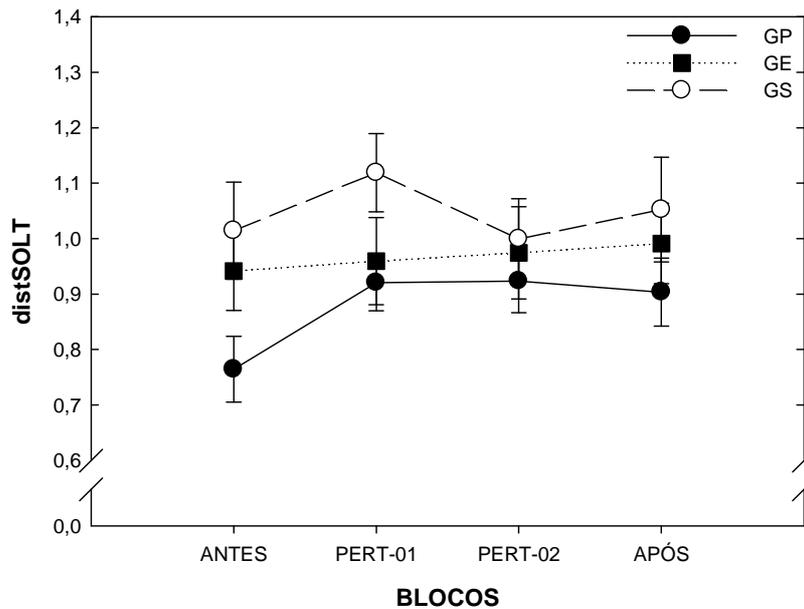


GRÁFICO 9: Média \pm erro padrão da distSOLT (m) nos blocos antes, durante e após a exposição às perturbações 01 e 02 do GP, do GE e do GS.

Na medida de TSolt, a ANOVA não indicou diferenças significantes no fator grupos [$F_{(2, 21)}=0,09$, $p=0,91$] e no fator blocos [$F_{(3, 63)}=1,99$, $p=0,12$], mas na interação grupos e blocos foi detectado efeito significativo [$F_{(6, 63)}=2,64$, $p<0,05$]. O teste de *post hoc* indicou que no GP, o bloco antes da exposição foi menor do que o bloco de perturbação 02 ($p<0,05$). A média do TSolt do GP, GE e GS está representada no gráfico 10.

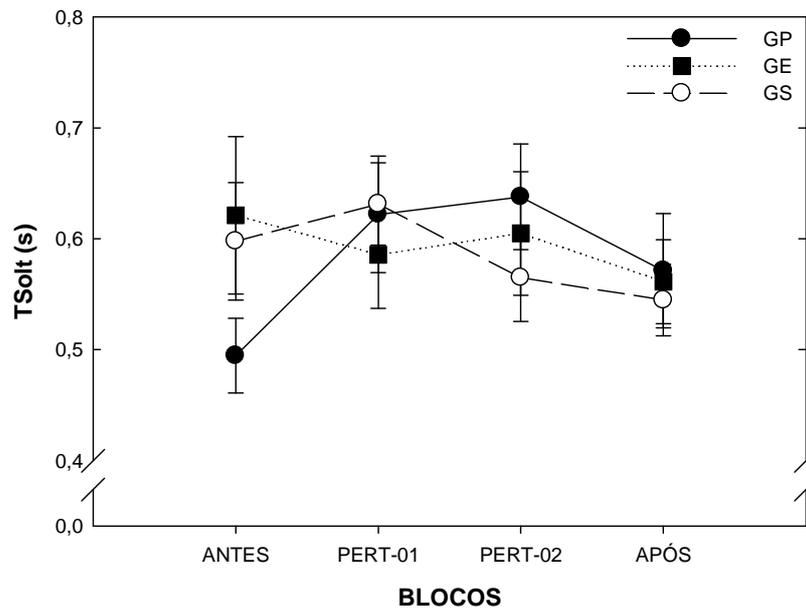


GRÁFICO 10: Média \pm erro padrão da TSolt (s) nos blocos antes, durante e após a exposição às perturbações 01 e 02 do GP, do GE e do GS.

6.3 Fase de exposição: compensação às perturbações

Como o objetivo do estudo foi investigar a adaptação e as mudanças cinemáticas necessárias para atingir a nova meta, foi realizada uma análise suplementar somente com as tentativas que atingiram o alvo correto no momento da perturbação, o que foi entendido como compensação às perturbações. Compensações são respostas adequadas às demandas da tarefa, mas que por apresentarem valores inferiores aos de ausência de perturbação e por serem inconsistentes não são consideradas adaptação (RIEGER; KNOBLICH; PRINZ, 2005). Para isso, foram tomadas as médias de cada sujeito para cada perturbação. Também foram analisados os blocos de tentativas que antecederam à exposição às perturbações, ou seja, o último bloco da fase de pré-exposição para o GE e GS, além do primeiro bloco da fase exposição do GP. Os testes estatísticos e a organização dos dados foram os mesmos apresentados anteriormente, mas sem a análise do escore. Sujeitos que não conseguiram responder a perturbação alguma foram excluídos⁴ da análise. Este procedimento foi adotado pelo fato da análise ser realizada para compreensão de como os sujeitos respondem adequadamente à perturbação.

⁴ Três sujeitos do GE e dois do GP e do GS não responderam a perturbação alguma adequadamente.

Para a medida de distPV, a ANOVA indicou diferença significativa no fator grupos [$F_{(2, 14)}=4,43$, $p<0,05$]. O *post hoc* mostrou que o GS apresentou uma distPV maior do que o GP ($p<0,05$). O fator blocos não apresentou diferenças significantes [$F_{(3, 42)}=2,37$, $p=0,08$] e não houve efeito significativo na interação grupos e blocos [$F_{(6, 42)}=0,01$, $p=0,19$]. A média da distPV do GP, GE e GS está representada no gráfico 11.

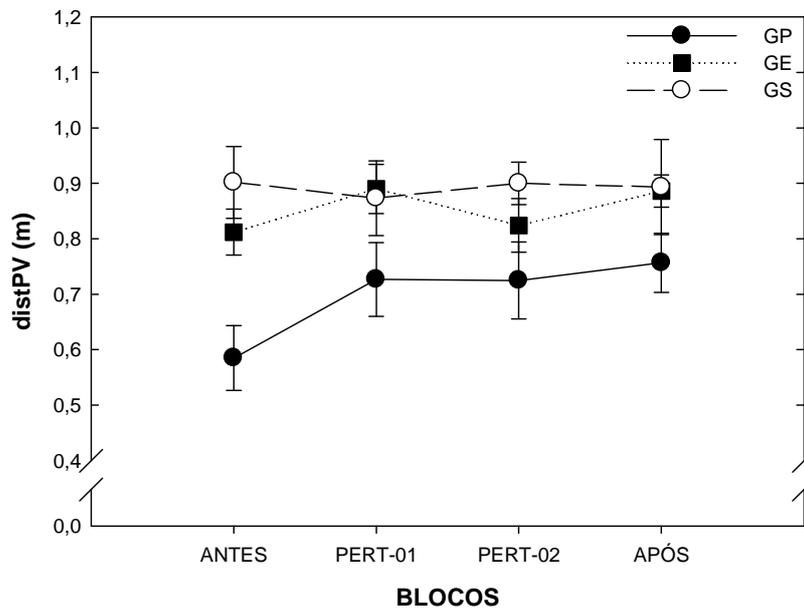


GRÁFICO 11: Média \pm erro padrão da distPV (m) nos blocos antes, durante e após a exposição às perturbações 01 e 02 do GP, do GE e do GS, em que o alvo correto foi atingido.

Para a medida de TPV, a ANOVA não indicou diferenças significantes no fator grupos [$F_{(2, 14)}=0,21$, $p=0,81$] e no fator blocos [$F_{(3, 42)}=0,69$, $p=0,55$], mas foi detectado efeito significativo na interação grupos e blocos [$F_{(6, 42)}=2,47$, $p<0,05$]. Entretanto, o *post hoc* não foi capaz de demonstrar as diferenças. A média do TPV do GP, GE e GS está representada no gráfico 12.

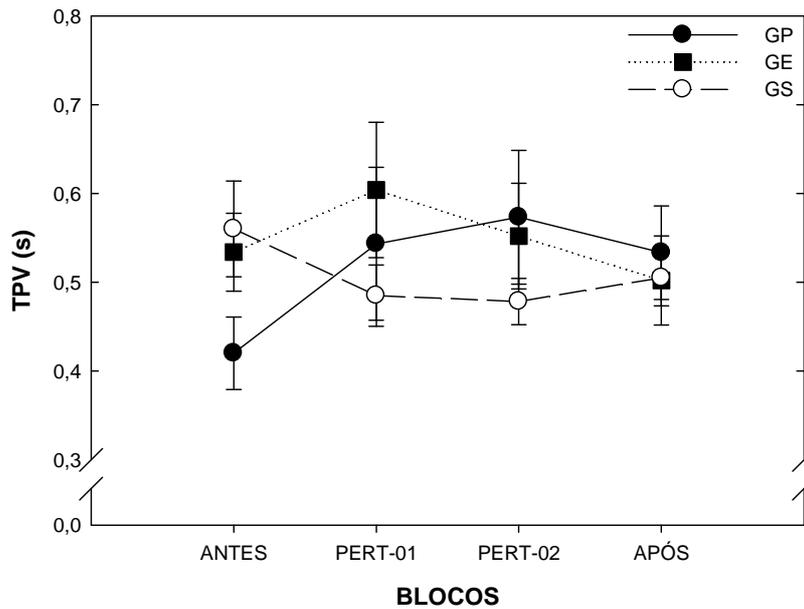


GRÁFICO 12: Média \pm erro padrão da TPV (s) nos blocos antes, após e durante a exposição às perturbações 01 e 02 do GP, do GE e do GS, em que o alvo correto foi atingido.

Para a medida de distSOLT, a ANOVA não encontrou diferenças significantes para o fator grupos [$F_{(2,14)}=3,02$, $p=0,08$], para o fator blocos [$F_{(3,42)}=1,96$, $p=0,13$], bem como interação entre grupos e blocos [$F_{(3,42)}=1,37$, $p<0,24$]. A média do distSOLT do GP, GE e GS está representada no gráfico 13.

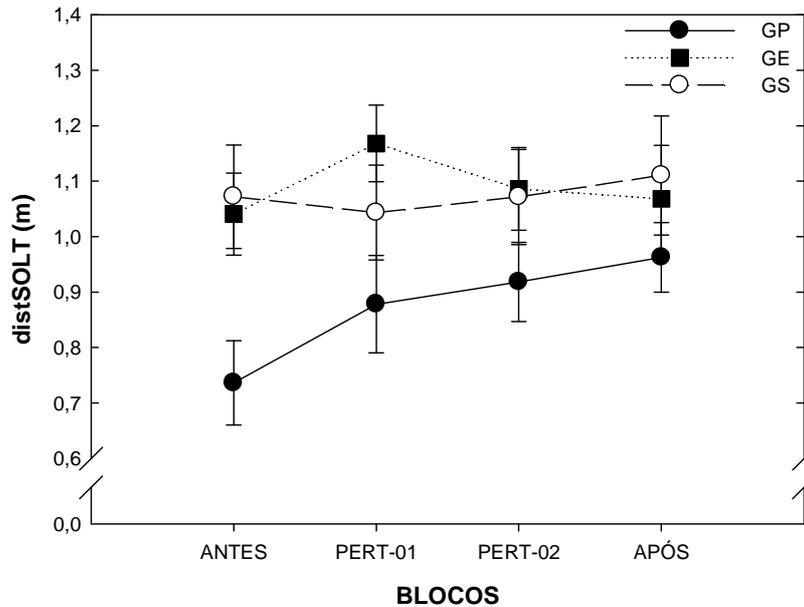


GRÁFICO 13: Média \pm erro padrão da distSOLT (m) nos blocos antes, após e durante a exposição às perturbações 01 e 02 do GP, do GE e do GS, em que o alvo correto foi atingido.

Para a medida de TSolt, a ANOVA não encontrou diferenças significantes para o fator grupos [$F_{(2, 14)}=0,79$, $p=0,46$] e para o fator blocos [$F_{(3, 42)}=0,53$, $p=0,65$], mas indicou efeito significativo na interação grupos e blocos [$F_{(6, 42)}=2,74$, $p<0,05$]. Entretanto, o *post hoc* não foi capaz de demonstrar as diferenças. A média do TSolt do GP, GE e GS está representada no gráfico 14.

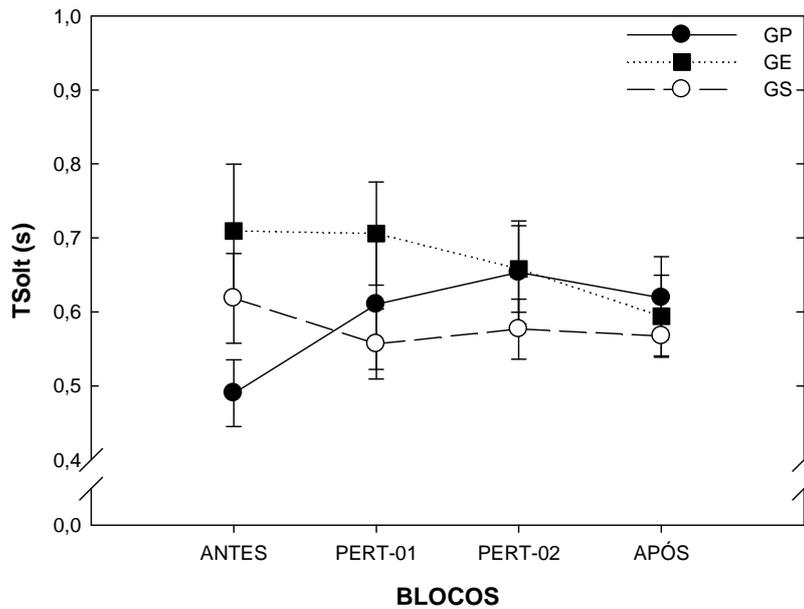


GRÁFICO 14: Média \pm erro padrão da TSolt (s) nos blocos antes, após e durante a exposição às perturbações 01 e 02 do GP, do GE e do GS, em que o alvo correto foi atingido.

7 DISCUSSÃO

A estabilização do desempenho é consequência de prática e tem sido investigada em ambientes previsíveis. Estudos anteriores (ex. FONSECA, 2009; UGRINOWITSCH, 2003) têm mostrado que diferentes níveis de estabilização do desempenho respondem de forma diferente à introdução de perturbações antes do início do movimento, sendo elas previsíveis ou imprevisíveis. Nestas condições, níveis de estabilização mais avançados podem promover melhor adaptação por permitirem um melhor emprego do *feedforward*, que é fortalecido pela condição de prática anterior à exposição à perturbações, sendo o uso de *feedback*, quando necessário, somente para a realização de ajustes finais do movimento. No entanto, se modificações na tarefa são introduzidas após o movimento ter sido iniciado e de forma imprevisível, então o *feedback* deixa de ter uma atuação secundária de ajuste para exercer uma função primária de correção (ELLIOT; CHUA; HELSEN, 2001). O objetivo do presente estudo foi investigar se o nível de estabilização do desempenho atingido previamente à exposição à perturbações influencia na adaptação quando perturbações imprevisíveis são inseridas após o início do movimento e, em caso positivo, identificar se, a diferença na capacidade de adaptação está relacionada à utilização de mecanismos de *feedforward* com o *feedback*.

Foram estabelecidos três grupos caracterizados por diferentes níveis de estabilização, pré-estabilização (GP), estabilização (GE) e superestabilização (GS). Primeiramente, GE e GS praticaram a tarefa, lançamento de dardo de salão por meio de movimento pendular em sentido póstero-anterior a alvos estacionários, em ambiente previsível. Esta prática prévia permitiu aos grupos aumentarem seu desempenho e alterarem suas características cinemáticas durante a primeira fase do experimento, caracterizando mudanças no controle do movimento que o tornaram mais eficazes. Estas mudanças caracterizam o processo de aprendizagem, o qual leva à descoberta das características (cinemáticas) da habilidade que possibilitam o alcance da meta (TANI, 2005), indicando a formação de um MI, o qual utilizado na tarefa praticada.

Os dados cinemáticos mostraram que a prática leva à mudanças nas medidas de *feedforward* utilizadas (distPV e TPV). Estes resultados corroboram pressupostos

anteriores de que a prática em um ambiente constante leva ao aumento da participação do *feedforward* (SCHMIDT, 1988). Contudo, as medidas de *feedback* (distSolt e TSolt) também aumentaram. Como as medidas de *feedback* são obtidas com base no início do movimento, a diferença pode ser devido ao aumento observado nas medidas de *feedforward* que ocorrem antes, o que não permite uma clara distinção de qual mecanismo pode ter tido maior contribuição para o desempenho observado.

Para ajudar a explicar esta questão foram realizadas análises complementares sobre a proporção do TPV em relação ao TSolt e da distPV em relação à distSolt comparando o primeiro com o último bloco da fase de pré-exposição. Para a proporção TPV/TSolt, a ANOVA *two-way* (grupos x blocos) não demonstrou diferenças no fator grupos [$F_{(1, 14)}=2,43$, $p=0,14$], blocos [$F_{(1, 14)}=0,96$, $p=0,34$] ou efeito de interação [$F_{(1, 14)}=0,03$, $p=0,87$]. Para a proporção distPV/distSolt a mesma análise não demonstrou diferenças no fator blocos [$F_{(1, 14)}=0,63$, $p=0,44$] ou efeito de interação [$F_{(1, 14)}=0,01$, $p=0,90$], mas mostrou diferença no fator grupos [$F_{(1, 14)}=5,42$, $p<0,05$], sendo que a proporção foi maior no GS em relação ao GE. Portanto, o GS parece ter utilizado mais os mecanismos de *feedforward* do que o GE, mais uma vez sugerindo que o aumento da quantidade de prática constante favorece o fortalecimento deste mecanismo, conforme sugerido por Schmidt (1988).

A literatura de Controle Motor apresenta diversas propostas sobre o controle de habilidades motoras discretas. Glover (2004) propõe um modelo em que o *timing* relativo da tarefa seria definido exclusivamente no planejado (*feedforward*), enquanto os aspectos espaciais seriam passíveis de influência do controle corrente (*feedback*). Alguns autores questionam este modelo (ex. CALJOUW; van der KAMP; SALVESBERG, 2006), atribuindo às demandas da tarefa a atuação das formas de controle sobre os parâmetros espaciais e temporais da habilidade. Apesar dos modelos citados auxiliarem no entendimento da relação *feedforward-feedback*, é importante salientar eles não explicam a mudança observada por aprendizagem, ou seja, os efeitos da prática. Como é esperado que o gesto pendular pósterio-anterior seja algo já praticado por adultos (sujeitos da amostra do estudo), as características temporais podem ter sido rapidamente transferidas para a prática específica do lançamento do dardo de salão a alvos estacionários (o que explicaria a diferença

entre o primeiro e o último bloco da fase de pré-exposição), exigindo que a adequação espacial do ponto de soltura do dardo ou do trajeto necessário para que o dardo chegasse a um mesmo ponto com a velocidade diferente (ver adiante) fosse aprendida ao longo da prática. Assim, como o alvo era constante e estático e assumindo que o *feedforward* interfere na qualidade do uso de *feedback* (KHAN *et al.*, 2006), aproximar o PV do ponto de soltura pode significar um melhor planejamento e, portanto, uma condição que exija menos dos mecanismos de *feedback*, tornando o movimento mais eficiente.

Após a fase de pré-exposição, o GE e o GS participaram de uma nova fase de prática denominada exposição. Nesta fase, os dois grupos e o terceiro, GP, realizaram 158 tentativas de prática divididas em dois blocos de 79 tentativas, das quais 18 eram caracterizadas pela introdução de uma das duas perturbações. Devido às características destas perturbações, não-antecipáveis pelos sujeitos e inseridas após o início do movimento, a adaptação às perturbações, definida como retomada do desempenho semelhante ao de condições sem perturbações (DORON; PAROT, 2001), exigia a utilização de mecanismo de *feedback* como meio de correção do movimento inicialmente planejado.

Os resultados da medida de desempenho (escore) mostraram que sob a influência de perturbação, nenhum dos grupos conseguiu atingir níveis de desempenho semelhante à condição sem perturbação e que não apresentaram diferença entre si. Portanto, não foi observada adaptação ou diferença entre os níveis de estabilização, contrariando os resultados de estudos anteriores (FONSECA, 2009; UGRINOWITSCH, 2003). Entretanto, ao considerar o desempenho em toda a fase, o GE e o GS foram melhores do que o GP, incluindo o bloco antes da exposição às perturbações. Este fato era esperado, uma vez que 140 tentativas praticadas nesta fase eram semelhantes às praticadas na fase de pré-exposição pelo GE e pelo GS. Ou seja, a diferença é devida à quantidade de prática entre os grupos GE e GS e o GP, que precisou aprender a habilidade durante a fase de exposição. Corroborando esta hipótese, no último bloco da fase de exposição o GP apresentou um desempenho superior aos demais blocos.

Uma possibilidade de explicação para a não adaptação às perturbações está no papel da memória recente. Alguns estudos têm mostrado que as ações são realizadas no presente sofrem influência das ações realizadas em um passado próximo (SCHEIDT *et al.*, 2001; WITNEY; WOLPERT, 2002). Considerando o contexto de prática, que era mais constante, com instantes isolados de introdução da perturbação, os sujeitos podem ter priorizado o êxito na maioria das tentativas a conseguir responder adequadamente às perturbações. Como demonstrado por Thoroughman e Shadmehr (2000), a atualização do MI devido à introdução de mudanças esporádicas é rapidamente perdida por causa das exigências mais constantes da tarefa. Uma possibilidade futura de investigação desta questão é através das tentativas que sucedem à perturbação, nelas será possível verificar se o comportamento foi alterado devido às perturbações, mesmo retomando à situação de ambiente estável, semelhante ao realizado por Thoroughman e Shadmehr (2000).

Outra possível explicação pode ser obtida através dos resultados de Ranganathan e Newell (2008) e de Proteau *et al* (PROTEAU, 1992 ;PROTEAU; TREMBLAY; DEJAEGER, 1998; TREMBLAY; PROTEAU, 1998). Ranganathan e Newell (2008) estudaram os efeitos do *feedback* na restrição dos graus de liberdade (formação de estrutura para o controle do movimento) e demonstraram que tarefas que utilizam *feedback* desde o início da prática para estabelecer as relações invariantes da habilidade conseguem fazer uso mais adequado do mecanismo de *feedback* em novas situações. Se a habilidade é regulada primordialmente por *feedforward*, ela poderá não ter novas modificações na relação de seus componentes, porque o *feedback* corrente, que é tido pelos autores como o fator desencadeador de modificações, poderá ter dificuldades em atuar. Esta afirmação vai ao encontro da hipótese de especificidade da informação de Proteau (1992).

A hipótese de especificidade da informação diz que uma fonte de informação relevante para o controle do movimento previamente aprendido, quando retirada, leva à diminuição do desempenho até que novas fontes de informação sejam integradas ao estoque de referências existente (PROTEAU, 1992). Uma questão básica para esta hipótese é que a prática deve ser suficiente para que se obtenha um platô de desempenho ou estabilidade (PROTEAU; TREMBLAY; DEJAEGER,

1998; TREMBLAY; PROTEAU, 1998). Originalmente, esta hipótese foi restrita à dependência da natureza da informação que é retirada nos testes de transferência (ex. informação visual), mas tem sido ampliada para outros fatores de aprendizagem como a informação de ajuda (ex. TREMBLAY; PROTEAU, 1998). Com base em Proteau (1992) é possível afirmar que, assim como a aprendizagem sob predominância de *feedback* gera dificuldades em transferir competência para uma situação sem esta fonte de informação, a aprendizagem que ocorre sem esta informação também tem dificuldades em lidar com ela quando está presente. Portanto, é possível que sob ação prioritária de *feedforward*, exista a dificuldade em adaptar a um contexto de necessidade de utilização do *feedback*, que faz uso de outras fontes de informação, mesmo com tempo disponível para utilizá-lo. Braun *et al.* (2009) encontraram que a relação informação sensorial e movimento realizado pelo efector é específica. Os resultados deste estudo indicam que quando o movimento (deslocamento do segmento corporal) do efector é mantido, mas as fontes de informação sensorial empregadas para o controle do movimento diferem, a transferência de competências torna-se muito restrita, corroborando a hipótese da especificidade.

Independentemente dos grupos terem compensado ou não às perturbações, não foram observadas diferenças entre os blocos com perturbação e os blocos sem perturbação, inclusive nos aspectos cinemáticos (exceção às mudanças de aprendizagem no GP anteriormente discutidas). Isto pode indicar que os sujeitos adotaram um comportamento com base na distância média entre os alvos para tentar adaptar às perturbações, semelhantes aos resultados encontrados por Ghez *et al.* (1997). Estes autores mostraram que em situações de imprevisibilidade com alvos estacionários em diferentes posições em uma tarefa de apontamento, os sujeitos tenderam a empregar estratégias que levavam para o ponto médio entre os alvos. Esta estratégia parece ser empregada por permitir um melhor desempenho nas tentativas sem perturbação e não exigir grandes alterações na velocidade do segmento corporal quando a mudança de trajetória é necessária. Transferindo estes achados para a habilidade do presente estudo, os sujeitos podem ter orientado suas ações com valores compatíveis aos do alvo central para facilitar as modificações necessárias decorrentes da introdução de perturbações. Contudo, a proximidade entre alvos (seis cm entre os alvos extremos e o central) pode ter ocasionado uma

dificuldade para os sujeitos diferenciarem os valores de velocidade para as novas condições, exigindo uma exposição muito maior às perturbações.

Apesar dos grupos apresentarem desempenho semelhante, as medidas cinemáticas para a fase de exposição apresentaram diferenças entre os grupos para *distPV*, que mostrou ser maior para o GS do que para o GP. Estes dados indicam que a prática anterior do GS permitiu existir diferença no *feedforward* entre os dois grupos. A condição de prática constante na fase de pré-exposição mais a prevalência de tentativas sem perturbação na fase de exposição pode ter fortalecido o *feedforward* sobre os aspectos espaciais, já que, como discutido anteriormente, a transferência das características temporais possivelmente foram simples para os grupos, incluindo GP (GLOVER, 2004).

Uma diferença dos resultados deste estudo para outros encontrados na literatura (KAREGER; CONTRERAS-VIDAL; STELMACH, 1997; SHADMEHR; MUSSA-IVALDI, 1994; WITNEY; WOLPERT, 2003; WOOLEY *et al.*, 2008) é que eles não permitem definir o papel do *feedforward* na adaptação. Nos estudos supracitados, as perturbações tinham características fixas e eram inseridas em momentos previsíveis, o que permitia aos sujeitos anteciparem o seu resultado, tornando uma habilidade controlada via *feedforward* mais eficiente e eficaz. No delineamento experimental do presente estudo, a prática ocorria em um ambiente previsível e a introdução da perturbação ocorria após início do movimento e em intervalos de tempo longos o suficiente para a maioria⁵ dos sujeitos não saberem quando ocorreria. Além disto, nenhum dos sujeitos foi capaz de antecipar o sentido de alteração do alvo. Em estudo semelhante, Richter *et al.* (2004) também não encontraram adaptação para as perturbações imprevisíveis com estratégias de *feedforward*. Deste modo, a utilização da informação que antecede ao início do movimento não foi decisiva para que fosse verificado o alcance da nova meta e a adaptação (ELLIOT; HELSEN; CHUA, 2001). Apesar de poder afirmar que o *feedforward* não desempenha um papel central na adaptação à perturbações com estas características, permanece inconclusivo que papel ele exerceria em relação ao *feedback*. Isso porque a não

⁵ Três sujeitos, um no GS e dois no GC disseram conseguir contar as tentativas e descobrir quando as perturbações ocorreriam, mas afirmaram não utilizarem desta informação por não saberem para qual alvo ocorreria a mudança. A análise descritiva das curvas velocidade x tempo destes voluntários não mostrou diferença para as demais, por isso, seus resultados foram incluídos na análise.

adaptação às perturbações pode ter ocorrido por um planejamento inicial incompatível com as novas demandas da tarefa, dificultando a correção via *feedback* ou a estrutura inicial do movimento definida no planejamento era compatível com as novas demandas da tarefa, mas o mecanismo de *feedback* não estava suficientemente desenvolvido para aproveitar este auxílio.

Na fase de exposição às perturbações, o GP apresentou interação grupos x blocos no TPV e indicou que o bloco antes de exposição às perturbações foi menor do que durante a exposição às perturbações 01 e 02, bem como no TSolt o bloco antes da exposição às perturbações foi menor do que o bloco de perturbação 02. Estas alterações indicam um comportamento semelhante do GP ao apresentado pelo GE e pelo GS na fase de pré-exposição, ou seja, o GP precisou primeiro estabilizar a habilidade. Entretanto, como os efeitos foram somente nos aspectos temporais, pode ser que as perturbações possam modificar características da tarefa. Por exemplo, a modificação da posição do alvo pode mudar o tempo de soltura do dardo, mantendo a posição de soltura fixa, alterando a velocidade de deslocamento (ver adiante).

Uma hipótese para explicar a diferença em aspectos temporais e a não-diferença em aspectos espaciais é a de utilização de *buffers* por parte do MI, os quais promoveriam uma programação concorrente. Estes *buffers* manteriam uma especificação na memória de curto prazo para ser liberada quando necessária (VERWEY, 1996). Os *buffers* são propostos para trabalhar em modularização, o que pode ser interpretado como a fragmentação da habilidade em unidades menores, para a facilitação do controle, que são unidas por algum elemento comum (MANOEL, *et al.*, 2002). Como a TPV foi alterada, mas a distSolt foi constante, é possível que módulos distintos controle a habilidade, dividindo-a em duas unidades: a de transporte, caracterizada pelo deslocamento espacial do membro superior, e a de soltura, caracterizada pela abdução do polegar para liberação do dardo. Modularização semelhante é observada em tarefas de alcançar e agarrar (MASON; CANAHAN, 1999; MAZIN, *et al.*, 2007; PAULIGNAM, *et al.*, 1991).

As características específicas da tarefa lançamento de dardo de salão por meio de movimento pendular em sentido pósterio-anterior a alvos estacionários, permite que

algumas questões sejam discutidas. É uma habilidade discreta, caracterizada por início e fim bem definidos e curta duração (SCHMIDT; WRISBERG, 2001). Como observado anteriormente, de acordo com as demandas da tarefa os aspectos críticos a serem controlados podem variar. Neste caso, trata-se do lançamento de um projétil, ou seja, um corpo que em pleno vôo sofre ação somente da gravidade e da resistência do ar (HAY, 1981), com demandas basicamente espaciais, pois a duração do movimento não sofre interferências externas diretas (ver APÊNDICE).

Algumas variáveis importantes para o resultado do lançamento de dardo são correlacionáveis, ou seja, a alteração em uma pode gerar alteração em outras, o que acarreta numa grande demanda para o controle do movimento para o MI. Como é esperado que o MI empregue sempre as estratégias mais econômicas para o controle da habilidade, é razoável assumir que ele venha a adotar o controle de uma variável-chave e que, ao restringi-la, outras variáveis possam também ser restringidas, reduzindo os graus de liberdade que necessitam de controle (BERNSTEIN, 1967; SCHOLZ; SCHÖNER, 1999).

Uma variável candidata à esta função é ponto de soltura do dardo no eixo “x” (x_0), pois qualquer alteração na posição de soltura no plano principal do movimento requer alteração da altura de soltura (h_0), do ângulo de soltura (Θ) e da velocidade de soltura (v_0). Como x_0 ocorre no plano principal do movimento e as alterações nos planos secundários são vinculadas às do plano principal, haveria também uma redução da variabilidade do desvio do movimento no eixo “z” no instante de soltura (z_0) e no ângulo de desvio da direção do lançamento no plano “xz” (ϕ). Uma ANOVA *one-way* realizada com cada um dos grupos dá suporte a esta hipótese, pois o x_0 não sofreu alterações ao longo da prática em grupo algum, GS [$F_{(4, 35)}=1,21$, $p<0,32$], GE [$F_{(4, 35)}=0,161$, $p<0,95$] e GP [$F_{(4, 35)}=0,35$, $p<0,78$]. Assim, se a posição final do movimento for previamente definida via *feedforward*, as alterações no resultado se darão principalmente pela modificação da v_0 , com a trajetória do efector mantida constante. A modificação na v_0 não influencia diretamente no x_0 , na h_0 ou no Θ , portanto, modificar somente a v_0 permitiria a restrição de vários graus de liberdade, sem que ocorra perda de flexibilidade na ação, pois ocorreria a alteração da velocidade de deslocamento do membro superior. Desta forma, a modularização observada, tendo um módulo de soltura e outro de transporte como em tarefas de

alcançar e agarrar (MASON; CANAHAN, 1999; MAZIN, *et al.*, 2007; PAULIGNAM, *et al.*, 1991), poderia ser estendida para um módulo de definição da posição de soltura e outro de definição do transporte do efetor. Esta questão requer um estudo específico.

Após as análises iniciais sobre a fase de exposição, que indicaram a dificuldade dos sujeitos em responder à introdução da perturbação, foi realizada uma análise complementar somente comparando o bloco antes da exposição e o bloco após a exposição com os blocos de tentativas com perturbações 01 e 02, nas quais os sujeitos conseguiram direcionar o lançamento do dardo para o alvo correto. Cerca de 24% das tentativas tiveram uma resposta satisfatória em cada uma das perturbações. Estas respostas são denominadas compensações e são tidas como as respostas iniciais dos sujeitos em direção ao acerto, mas ainda não podem ser caracterizadas como adaptação (RIEGER; KNOBLICH; PRINZ, 2005).

A análise dos resultados mostrou que para distPV (medidas de *feedforward*), mostrou diferença entre os grupos, sendo que foi maior para o GS em relação ao GP, mantendo as características observadas na análise com todas as tentativas. Este resultado indica que, na fase de exposição, o GS tendeu a manter a estratégia empregada ao atingir a superestabilização, ou seja, o PV ficou mais próximo do ponto de soltura do dardo. Mais uma vez, é possível que os grupos tenham empregado estratégias diferentes, priorizando mecanismos diferentes, mas ambas ainda insuficientes para adaptação.

8 CONCLUSÃO

Os resultados do presente estudo permitem concluir que o nível de estabilização não influencia na adaptação à perturbações imprevisíveis inseridas após o início do movimento.

REFERÊNCIAS

- AL- ABOOD, S. A.; DAVIDS, K.; BENNETT, S. J.; ASHFORD, D.; MARIN, M. M.. Specificity of task constraints and effects of visual demonstrations and verbal instructions in directing learner's search during skill acquisition. *Journal of Motor Behavior*, v. 33, n. 03, 295-305, 2001.
- AL- ABOOD, S. A.; DAVIDS, K.; BENNETT, S. J.. Effects of manipulating relative and absolute motion information during observational learning of an aiming task. *Journal of Sports Science*, v. 19, 507-520, 2001.
- BENDA, R. N.. *Variabilidade e processo adaptativo na aquisição de habilidades motoras*. 2001. 351 folhas. (Biodinâmica do Movimento Humano) – Escola de Educação Física e Esportes, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.
- BERNSTEIN, N.. *The coordination and regulation of movements*. Oxford, England: Pergamon Press, 1967.
- BRAUN, D. A.; AERTSEN, A.; WOLPERT, D. M.; MEHRING, C.. Learning optimal adaptation strategies in unpredictable motor tasks. *The Journal of Neuroscience*, v. 29, n. 20, 6472-6478, 2009.
- BRUZI, A. T.. *O número de demonstrações na aprendizagem de uma habilidade motora discreta*. 2006. 105 folhas. (Treinamento Esportivo) – Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2006.
- CALJOUW, S. R.; VAN DER KAMP, J.; SAVELSBERGH, G. J. P.. Bi-phasic hitting with constraints on impact velocity and temporal precision. *Human Movement Science*, v. 24, 206-217, 2005.
- CALJOUW, S. R.; VAN DER KAMP, J.; SAVELSBERGH, G. J. P.. The impact of task-constraints on the planning and control of interceptive hitting movements. *Neuroscience Letters*, v.392, 84-89, 2006.
- CATUZZO, M. T.. *O ciclo de instabilidade-estabilidade-instabilidade no processo adaptativo em aprendizagem motora*. 2007. 247 folhas. (Biodinâmica do Movimento Humano) – Escola de Educação Física e Esportes, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.
- CRAIG, C. M.; DELAY, D.; GREALY, M. A.; LEE, D. N.. Guiding the swing in golf putting. *Nature*, v. 405, 295-296, 2000.
- DELAY, D., NOUGIER, V, ORLIAGUET, J. P., COELLO, Y.. Movement control in golf putting. *Human Movement Science*, v. 16, 597-619, 1997.
- DESMURGET, M.; GRAFTON, S.. Forward modeling allows feedback control for fast reaching movements. *Trends in Cognitive Sciences*, v. 04, n. 11, 423-431, 2000.
- DORON, R.; PAROT, F.. *Dicionário de Psicologia*. São Paulo: Editora Ática, 2001.

ELLIOTT, D.; HELSEN, W. F.; CHUA, R.. A century later: Woodworth's (1899) two-component model of a goal-directed aiming. *Psychological Bulletin*, v. 127, n. 03, 342-357, 2001.

FIALHO, J. V. A. P.. A prática constante-aleatória: efeitos da manipulação do aspecto da habilidade e o tipo de perturbação no processo adaptativo em aprendizagem motora. 2007. 295 folhas. (Treinamento Esportivo) – Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007.

FONSECA, F. S.. Efeitos do nível de estabilização do desempenho na adaptação à perturbações perceptivas imprevisíveis. 2009. 81 folhas. (Ciências do Esporte) – Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009.

FREUDEINHEIN, A.; MANOEL, E. J.. Organização hierárquica e a organização de um programa de ação: um estudo exploratório. *Revista Paulista de Educação Física*, v. 13, n. 02, 177-196, 1999.

GANDOLFO, F.; MUSSA-IVALDI, F. A.; BIZZI, E.. Motor learning by field approximation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 93, 3843-3846, 1996.

GHEZ, C.; FAVILLA, M.; GHILARDI, M. F.; GORDON, J.; BERMEJO, R.; PULLMAN, S.. Discrete and continuous planning of hand movements and isometric force trajectories. *Experimental Brain Research*, v. 115, 217-233, 1997.

GLOVER, S.. Separate visual representations in the planning and control of action. *Behavioral and Brain Sciences*, v.27, 3-78, 2004.

HANSEN, S.; ELLIOTT, D.. Three-dimensional manual responses to unexpected target perturbations during rapid aiming. *Journal of Motor Behavior*, v. 41, n. 01, 16-29, 2009.

HAY, J. G.. *A biomecânica das técnicas esportivas*. Rio de Janeiro: Interamericana, 1981.

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.1197, 123-134, 2008.

HO, R.. *Handbook of univariate and multivariate data analysis and interpretation with SPSS*. New York: Chapman & Hall, 2006.

HOGAN, N.; STERNAD, D.. On rhythmic and discrete movements: reflections, definitions and implications for motor control. *Experimental Brain Research*, 181, 13-30, 2007.

JORDAN, M. I.. Motor representation and control. In: JEANNEROD, M. (Ed.). *Attention and performance XIII*. New Jersey: Laurence Erlbaum, 1990.

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, 557-561, 1997.

KATELAARS, M. A. C., KHAN, M. A. & FRANKS, I. M.. Dual-task interference as an indicator of online programming in simple movement sequences. *Journal Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, v. 25, n. 05, 1302-1315, 1999.

KAWATO, M.. Internal models for motor control and trajectory planning. *Current Opinion in Neurobiology*, v. 09, n. 06, 718-727, 1999.

KHAN, M. A.; CHUA, R.; ELLIOTT, D.; COULL, J.; LYONS, J.. Optimal Control Strategies Under Different Feedback Schedules: Kinematic Evidence. *Journal of Motor Behavior*, v. 34, n. 01, 45-57, 2002.

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

LACKNER, J. R.; DIZIO, P.. Motor control and learning in altered dynamic environments. *Current Opinion in Neurobiology*, v. 15, 653–659, 2005.

LEITE, C. M. F.. Efeitos da distribuição da prática sobre a aquisição de habilidades motoras por adultos jovens e idosos. 2008. 93 folhas. (Treinamento Esportivo) – Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008.

LI, L.; HADDAD, J. M.; HAMILL, J.. Stability and variability may respond differently to changes in walking speed. *Human Movement Science*, v. 24, 257-267, 2005.

MAGILL, R. A.. *Aprendizagem Motora: conceitos e aplicações*. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 2000.

MANOEL, E .J.; BASSO, L.; CORREA, U. C.; TANI, G.. Modularity and hierarchical organization of action programs in human acquisition of graphic skills. *Neuroscience Letters*, v. 335, 83-86, 2002.

MASON, A. H.; CARNAHAN, H.. Target viewing time and velocity effects on prehension. *Experimental Brain Research*, v.127, 83-94, 1999.

MAZYN, L. I. N.; LENOIR, M.; MONTAGNE, G.; SAVELSBERGH, G. J. P.. Spatial and temporal adaptations that accompany increasing catching performance during learning. *Journal of Motor Behavior*, v. 39, n. 06, 491-502, 2007.

NEWELL, K. M.. Change in movement and skill: learning, retention and transfer. In: LATASH, M.; TURVEY, M. (Eds.). *Dexterity and movement*. New Jersey: Lawrence Erlbaum, 1996, 393-430.

PAULIGNAN, Y.; MACKENZIE, C.; MARTENIUK, R; JEANNEROD, M.. Selective perturbation of visual input during prehension movements: the effects of changing object position. *Experimental Brain Research*, v. 83, 502-512, 1991.

PROTEAU, L.. On the specificity of learning and the role of visual information for movement control. In: PROTEAU, L.; ELLIOTT, D. (Eds.). *Visual and motor control*. Amsterdam: North-Holland, 67-104, 1992.

PROTEAU, L.; TREMBLAY, L.; DEJAEGER, D.. Practice does not diminish the role of visual information in on-line control of precision walking task: support for the specificity of practice hypothesis. *Journal of Motor Behavior*, v. 30, n. 02,143-150, 1998.

RANGANATHAN, R.; NEWELL, K. M.. Online feedback and the regulation of degrees of freedom in motor control. *Human Movement Science*, v. 27, 577-589, 2008.

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, 245-251, 2004.

RIEGER, M; KNOBLICH, G; PRINZ, W.. Compensation for and adaptation to changes in the environment. *Experimental Brain Research*, v. 163, 487-502, 2005.

SCHEIDT, R. A.; DINGWELL, J. B.; MUSSA-IVALDI, F. A.. Learning to move amid uncertainty. *Journal of Neurophysiology*, v. 86, 971-985, 2001.

SCHMIDT, R. A.. *Motor Control and Learning: a behavioral emphasis*. Champaign: Human Kinetics Publishers Inc., 1988.

SCHMIDT, R. C.; FITZPATRICK, P.. Dynamical perspective of motor learning. In: ZELAZNIK, H. N. (Ed.). *Advances in Motor Learning and Control*. Champaign: Human Kinetics Publishers Inc., 1996.

SCHOLZ, J. P.; SCHÖNER, G.. The uncontrolled manifold concept: identifying control variables for a functional task. *Experimental Brain Research*, v. 126, 289-306, 1999.

SHADMEHR, R.; MUSSA-LVALDI, F. A.. Adaptive representation of dynamics during learning of a motor task. *The Journal of Neuroscience*, v. 14, n. 05, 3208-3224, 1994.

SINGER, R. N.. *Motor Learning and Human Performance: an application to motor skills and movement behaviors*. New York: Macmillan Publish Co. Inc., 1980.

STALLING, L. M.. *Motor Learning: from theory to practice*. Missouri: The C. V. Mosby Company, 1982.

TAKAHASHI, C. D.; SCHEIDT, R. A.; REINKESMEYER, D. J.. Impedance control and internal model formation when reaching in a randomly varying dynamical environment. *Journal of Neurophysiology*, v. 86, 1047-1051, 2001.

TALLET, J.; KOSTRUBIEC, V.; ZANONE, P. G.. The role of stability in the dynamics of learning, memorizing, and forgetting new coordination patterns. *Journal of Motor Behavior*, v. 40, n. 02, 103-116, 2008.

TANI, G.. Relatório de pós-doutorado apresentado na University of Sheffield, Sheffield: Inglaterra, 1995.

TANI, G.. Programação Motora: organização hierárquica, ordem e desordem. In: TANI, G. (Org.). *Comportamento motor: aprendizagem e desenvolvimento*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2005, 82-105.

THOROUGHMAN, K. A.; SHADMEHR, R. Learning of action through adaptive combination of motor primitives. *Nature*, v. 407, n. 12, 742-747, 2000.

TOUTENBURG, H.. *Statistical Analysis of Designed Experiments*. 2.ed.. New York: Springer, 2002.

TREMBLAY, L.; PROTEAU, L.. Specificity of practice: the case of powerlifting. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, v. 69, n. 03, 284-289, 1998.

TRESILIAN, J. R.; LONERGAN, A.. Intercepting a moving target: effects of temporal precision constraints and movement amplitude. *Experimental Brain Research*, v.142, 193-207, 2002.

TRESILIAN, J. R.; PLOOY, A.. Systematic changes in the duration and precision of interception in response to variation of amplitude and effector size. *Experimental Brain Research*, v.171, 421-435, 2006.

TRESILIAN, J. R.; PLOOY, A.; CARROL, T. J.. Constraints in spatiotemporal accuracy of interceptive action: effects of targets size on hitting a moving target. *Experimental Brain Research*, v. 155, 509-526, 2004.

UGRINOWITSCH, H.. Efeito do nível de estabilização e do tipo de perturbação no processo adaptativo em Aprendizagem Motora. 2003. 396 folhas. (Biodinâmica do Movimento Humano) – Escola de Educação Física e Esportes, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

UGRINOWITSCH, H.; FIALHO, J. A. P.; FONSECA, F. S.; PROFETA, V. L. S.; ALBUQUERQUE, M.; BENDA, R. N.. Effects of perceptive perturbation and level of stabilization in motor learning adaptability. *International Journal Sport Psychology*, in press.

VERWEY, W. B.. Buffer loading and chunking in sequential keypressing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, v. 22, n. 03, 544-562, 1996.

WITNEY, A. G.; WOLPERT, D. M.. Spatial Representation of Predictive Motor Learning. *Journal of Neurophysiology*, v. 89, 1837-1843, 2003.

WOLPERT, D. M.; FLANAGAN, J. R.. Forward models. In: BAYNE T.; CLEERMANS, A.; WILKEN, P. (Eds.). *The Oxford Companion to Consciousness*. Oxford: OUP, 2009, 294-296.

WOOLLEY, D. G.; CARSON, R. G.; TRESILIAN, J. R; RIEK, S.. Generalisation between opposing visuomotor rotations when each is associated with visual targets and movements of different amplitudes. *Brain Research*, v. 1219, 46-58, 2008.

ZANONE, P.G.; KELSO, J.A.S.. Experimental studies of behavioral attractors and their evolution with learning. In: REQUIN, J.; STELMACH, G. (Eds.). *Tutorials in motor neuroscience*. New York: Springer, 1991, 121-133.

ZANONE, P. G.; KELSO, J. A. S.. Learning and transfer as paradigms for behavioral change. In: G. E. STELMACH; J. REQUIN (Eds.), *Tutorials in Motor Behavior II*. Amsterdam: North-Holland, 1992.

APÊNDICE

ANÁLISE DO MOVIMENTO DO DARDO

A trajetória do dardo pode ser analisada separadamente nas direções horizontal e vertical, tendo na horizontal velocidade constante e na vertical aceleração constante. As coordenadas em x e y, em função do tempo, são:

$$x(t) = x_0 + V_0 \cos(\theta)t \quad (1)$$

$$y(t) = y_0 + V_0 \sin(\theta)t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (2)$$

Neste caso a velocidade inicial em “x” é dada por $V_0 \cos(\theta)$ e a velocidade inicial em “y” por $V_0 \sin(\theta)$. Isolando t na 1ª equação $\frac{x-x_0}{V_0 \cos(\theta)} = t$ e substituindo este valor na equação 2 temos

$$y - y_0 = tg(\theta)(x - x_0) - \frac{1}{2}g \frac{(x-x_0)^2}{V_0^2 \cos^2(\theta)} \quad (3.a)$$

Alterando o referencial do sistema para o ponto de lançamento por meio da substituição de variáveis, $y' = y - y_0$ e $x' = x - x_0$, transforma-se equação 3.a em

$$y' = tg(\theta)x' - \frac{1}{2}g \frac{x'^2}{V_0^2 \cos^2(\theta)} \quad (3.b)$$

Seja y'_{imp} a coordenada vertical do ponto de impacto. Os valores de alcance, x'_{imp} , que satisfazem esta condição são dados pela equação abaixo

$$0 = -y'_{imp} + tg(\theta)x' - \frac{1}{2}g \frac{x'^2}{V_0^2 \cos^2(\theta)} \quad (3.c)$$

A equação 3.c acima segue o formato de uma equação de segundo grau, $0 = ax^2 + bx + c$, em que

$$\begin{aligned} b &= tg(\theta) \\ a &= -\frac{1}{2} \frac{g}{V_0^2 \cos^2(\theta)} \\ c &= -y'_{imp} \end{aligned}$$

Assim a equação que nos fornece a distância é

$$x'_{imp} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (4.a)$$

Retornando ao sistema original, a distância será dada por

$$x_{imp} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} + x_0 \quad (4.b)$$

Como o dardo sofre influência da resistência do ar, δ_{ar} , podemos considerar a equação do movimento como

$$x_{imp} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} + x_0 - \delta_{ar} \quad (4.c)$$

em que,

$$\delta_{ar} = \delta_{ar}(V_0, \theta, \mu_{ar})$$

e onde μ_{ar} é um coeficiente que expressa a força de resistência em função do formato do objeto.

Como o lançamento ocorre em três dimensões, planos secundários de movimento podem influenciar no resultado final, por isso outras duas variáveis podem influenciar no resultado da ação: o ponto de soltura no eixo “z” (definido como o eixo paralelo ao chão) (z_0), que também não é fixo para todas as tentativas, o que altera a trajetória necessária para atingir o centro do alvo; e o ângulo de desvio do ponto de soltura com o plano sagital, denominado desvio radial na soltura do dardo (φ), o qual define a orientação do lançamento em relação ao centro do alvo. Como o objetivo da tarefa é acertar o centro do alvo e uma mesma distância de lançamento pode levar a posições de aterrissagens diferentes devido a z_0 e φ , a distância entre a posição de aterrissagem do dardo e o centro do alvo, ou seja, o erro espacial torna-se uma medida de desempenho melhor para caracterizar a adaptação. Assim, tem-se que o erro pode ser estimado pela seguinte equação

$$erro = \sqrt{(d_a - (\cos(\varphi) \times x_{imp}))^2 + (z_0)^2} \quad (5)$$

sendo d_a a distância que o alvo a ser atingido está do limite da área de lançamento.

ANEXO I



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

Parecer nº. ETIC 386/08

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

DECISÃO

O Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG – COEP aprovou, no dia 07 de outubro de 2008, após atendidas as solicitações de diligência, o projeto de pesquisa intitulado "**Efeito do nível de estabilização sobre a resposta às perturbações perceptivas aleatórias**" 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.


Profa. Maria Teresa Marques Amaral
Coordenadora do COEP-UFMG

ANEXO II

Pesquisa: “Efeito do nível de estabilização sobre a resposta às perturbações perceptivas aleatórias”.

CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Via do Pesquisador (EEFFTO – CENESP – LAPES – GEDAM)

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 pelo mestrando VITOR LEANDRO DA SILVA PROFETA. O objetivo deste estudo é investigar como a introdução de perturbações perceptivas aleatórias em diferentes níveis de estabilização afetam a adaptação. 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 as filmagens e demais procedimentos experimentais**, sem penalização alguma e sem prejuízo à sua pessoa.

A coleta de dados será realizada em local apropriado, tendo duração de aproximadamente 60 min, e você será sempre acompanhado por um dos responsáveis pela pesquisa. No período da coleta, você deverá executar um lançamento de dardo de salão com o objetivo atingir o centro do alvo iluminado, dentre os três alvos dispostos no chão. Durante todo o período de coleta de dados você será filmado, mas tanto os teus dados como a sua identidade e imagem não serão publicados em hipótese alguma. Somente os pesquisadores responsáveis e equipe envolvida neste estudo terão acesso a estas informações que serão apenas para fins desta 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 2008.

Assinatura do voluntário

Assinatura do pesquisador

ANEXO III

PILOTO

Objetivo

Determinar o critério de desempenho a ser adotado na primeira fase do experimento que servirá de base como medida de estabilização.

Método

Amostra:

Seis voluntários, universitários com idade entre 19 e 35 anos. Os sujeitos não tinham experiência prévia com a tarefa e eram todos destros, além de não apresentarem distúrbios visuais ou apresentarem corretores de visão, semelhante à condição exigida para a participação no estudo principal.

Tarefa:

Lançar um dardo de salão com o objetivo de acertar o centro do alvo que foi disposto no chão com as faixas de pontuação voltadas para cima.

Instrumentos:

Foram utilizados três dardos de salão (peso de 20g), com seus centros de massa (CM) assinalados, e um alvo circular (44cm diâmetro). O alvo ficou disposto sobre uma esteira de borracha, com o centro do alvo central posicionado a uma distância de 2.5m da área limite de lançamento dos dardos.

Procedimentos:

Os voluntários foram recrutados na escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG por abordagem direta dos experimentadores. Ao chegarem ao local de coleta de dados, os mesmos foram informados quanto aos objetivos do estudo piloto.

Os voluntários foram informados pelo experimentador quanto ao objetivo da tarefa (acertar o centro do alvo iluminado no momento de soltura do dardo), à pontuação das faixas dos alvos e à forma de segurar o dardo (com a falange distal do dedo indicador sobre a marca do CM do dardo). Cada tentativa foi precedida por um sinal verbal "prepara" para permitir ao experimentador ligar o sistema de câmeras, e um segundo sinal verbal "vai" indicando ao sujeito a execução da tarefa. Os intervalos entre as tentativas de prática foram mantidos constantes (15seg) ao longo de todo o experimento e o conhecimento de resultados esteve disponível a todos os sujeitos durante todo o experimento.

Delineamento:

O piloto constituiu em uma única fase, na qual foram realizadas cinco sessões de prática de 200 tentativas, divididas em dois blocos de 100.

Medidas:

Escore.

Análise dos dados:

Os dados foram analisados de forma descritiva para identificação de platôs que indicassem estabilização.

RESULTADOS E CONCLUSÃO

Os dados mostraram que os sujeitos tiveram grande variabilidade de desempenho ao longo das 1000 tentativas. De um modo geral, os dados apontados por Bruzi (2006) foram confirmados: os sujeitos reproduziam ações de sucesso normalmente três vezes consecutivas. De posse destes dados e da dificuldade dos sujeitos em atingirem uma sequência maior de acertos, o critério para a superestabilização foi assumida como a repetição do bloco de três acertos consecutivos.