

Suziane Peixoto dos Santos

**EFEITO DO NÍVEL DE ESTABILIZAÇÃO DO DESEMPENHO NA ADAPTAÇÃO
ÀS PERTURBAÇÕES IMPREVISÍVEIS EM TAREFAS DE CARACTERÍSTICAS DE
CONTROLE DISTINTAS**

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional/UFMG

2015

Suziane Peixoto dos Santos

**EFEITO DO NÍVEL DE ESTABILIZAÇÃO DO DESEMPENHO NA ADAPTAÇÃO
ÀS PERTURBAÇÕES IMPREVISÍVEIS EM TAREFAS DE CARACTERÍSTICAS DE
CONTROLE DISTINTAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Esporte da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências do Esporte.

Área de concentração: Treinamento Esportivo

Orientador: Prof. Dr. Herbert Ugrinowitsch

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional/UFMG

2015

Universidade Federal de Minas Gerais
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da UFMG

Tese intitulada “Efeito do nível de estabilização do desempenho na adaptação às perturbações imprevisíveis em tarefas de características de controle distintas”, de autoria de Suziane Peixoto dos Santos, apresentada à banca examinadora constituída pelos seguintes professores:

Prof. Dr. Herbert Ugrinowisch

Prof. Dr. Guilherme Menezes Lage

Prof. Dr. Rodolfo Novellino Benda

Prof. Dr. Umberto Cesar Corrêa

Prof. Dr. Victor Hugo Alves Okazaki

Belo Horizonte, ____ de _____ de _____.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade, pelas portas abertas e pela força concedida para realizar esta tese;

Agradeço minhas queridas filhas, meus amores, Maria Fernanda e Júlia por todo amor e vida e por acompanhar desde tão pequenas as minhas conquistas e as minhas angústias;

Agradeço meus pais Clério e Marli, meus irmãos, cunhado e sobrinhas (o) por me ajudarem na maior conquista de todas!!!! Um beijo muito carinhoso;

Agradeço todos meus amigos do Gedam. Um abraço fraternal a Cris, Livinha, Maria Flávia, Marluce, Sil, Thábata, Guilherme, Carlinhos, Marcelão, Cláudio, Fabiano e também a nova geração (em especial ao Arthur que me auxiliou na coleta de dados) pela parceria e pelas horas de trabalhos, além de deixarem meus dias em BH mais leves;

Agradecimento especial à Cris, Sil e Guilherme Van Keulen! Não apenas pelas hospedagens, caronas, conversas e brincadeiras, mas, sobretudo amigos eternos que o doutorado me proporcionou;

Agradeço ao Prof. Dr. Herbert Ugrinowitsch por me acolher ao doutorado, pelos incentivos, apoio, dedicação e zelo. Meu especial apreço ao meu eterno orientador;

Agradeço à sabedoria dos Professores Rodolfo Novellino Benda e Guilherme Menezes Lage! Grandes incentivadores e exemplos para mim;

Agradeço os professores Umberto Cesar Correa e Victor Hugo Alves Okazaki por terem aceito o convite para participar da banca e pelas contribuições realizadas;

Agradeço ao Prof. Dr. Guilherme De Agostini por ter proporcionado toda a coleta de dados na FAEFI (Faculdade de Educação Física da Universidade Federal de Uberlândia) meu abraço fraterno;

Agradeço ao Prof. Ms Marco Aurélio Suriane e Prof. Dr Leonardo Portes por terem desenvolvido a programação das tarefas;

Agradeço ao Heron Naves e toda sua família (João, Lucimar, Helen, Hélio e Marina) pelo apoio, carinho e cuidado sem medidas comigo e com minhas filhas. Nos momentos de ausência vocês foram os verdadeiros pais.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho as minhas filhas Maria Fernanda e Júlia

EPÍGRAFE

Procurei a justiça, a ordem, a fé, o amor, a perseverança, a mansidão, combati o bom combate da fé, conquistei a vida pela qual fui chamada, reconheci numa bela profissão de fé diante de muitas testemunhas

I TMG,11B-12

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo investigar o efeito do nível de estabilização do desempenho na adaptação às perturbações imprevisíveis em tarefas com características de controle distintas. Foram realizados dois experimentos, um com a tarefa de controle de força e outro com a tarefa de interceptação à um alvo móvel, respectivamente. A amostra do experimento um foi constituída de 29 sujeitos ($M = 24,2$; $DP = 3,4$ anos) e a tarefa requeria controlar isometricamente 40% da força máxima dos músculos flexores do cotovelo durante três segundos. O experimento consistiu em fase de pré-exposição e de exposição. Durante a pré-exposição, dois níveis de estabilização do desempenho foram manipulados: estabilização (GE) e superestabilização (GSE). O GE praticou até atingir um bloco de cinco tentativas consecutivas controlando 40% da força máxima com um erro (RMSE) menor ou igual a 5% por três segundos; o GSE praticou até atingir o mesmo critério em seis blocos. Na segunda fase foram inseridas perturbações (P1 – aumento e P2 – redução) da forma máxima em ordem pseudo-aleatória, intercaladas com as tentativas controle. As medidas utilizadas foram; número de tentativas realizadas por cada grupo na pré-exposição, RMSE, tempo para pico de força (ms) e número de correções. Os resultados mostraram que o grupo superestabilização se adaptou melhor as perturbações em relação ao grupo estabilização e combinou melhor os mecanismos de *feedforward* e de *feedback* para as modificações. No experimento dois a amostra foi constituída de 28 sujeitos ($M = 23,8$; $DP = 3,7$ anos) e a tarefa requeria interceptar um alvo em movimento. O experimento teve o mesmo delineamento que o experimento 1, mas o desempenho critério do GE foi realizar três interceptações corretas e o GSE seis blocos do mesmo critério. Na fase de exposição foram inseridas as perturbações (P) relacionadas às mudanças na velocidade (P1 – aumento e P2 - redução) de deslocamento do alvo após o sujeito ter iniciado o movimento. As medidas utilizadas foram erro absoluto temporal (ms), erro constante temporal (ms), número de tentativas realizadas por cada grupo na pré-exposição, tempo para o pico de velocidade (ms) e número de correções dos movimentos. Os resultados mostraram que o grupo superestabilização se adaptou melhor as perturbações que o grupo estabilização e utilizou melhor o mecanismo de *feedback* para as modificações. No geral é possível concluir que a superestabilização levou a melhor desempenho frente à perturbações imprevisíveis,

mas com especificidades nos mecanismos de controle. Por último, a adaptação requereu modificação da macroestrutura do programa de ação.

Palavras-chave: Níveis de estabilização. Tarefas com controle distintos. Processo Adaptativo. Perturbação imprevisível.

ABSTRACT

This study aimed to investigate the effect of stabilization performance level on adaptation to unpredictable perturbations in tasks with different control characteristics. Two experiments were conducted, one with a force control task and another with interception to a moving target. A sample of experiment one consisted of 29 subjects ($M = 24.2$, $SD = 3.4$ years), and the task required controlling isometrically 40% of the maximum strength of the flexor muscles of the elbow for three seconds. The experiment consisted of pre-exposure and exposure phase. During pre-exposure, two performance stabilization levels were manipulated: stabilization (SG) and superstabilization (SSG). The SG practiced until reach a block of five trials in a row controlling 40% of maximum strength with error (RMSE) equal or less than 5% during three seconds; SSG practiced until reach the same criterion for six blocks. On the second phase it was inserted perturbations (P1 – increment and P2 – reduction) of maximal force on a pseudorandom order, interspersed with control trials. The measures used were; RMSE, time to peak force (ms) and number of corrections. The results showed that the superstabilization group adapted better to the perturbations in relation to the stabilization group and combined more efficiently the feedforward and feedback mechanisms for changes. On experiment two the sample consisted of 28 subjects ($M = 23.8$, $SD = 3.7$ years) and the task required intercepting a moving target. The experiment had the same design than experiment 1, but the SG performance criterion consisted of intercept the target four trials in a row and SSG six blocks of the same criterion. On exposure phase perturbations were included related to changes in speed (P1 or P2 increase - reduction) target velocity after the movement on set. The performance measures adopted were time absolute error (ms), time constant error (ms), number of attempts by each group in the pre-exposure, time to peak velocity (ms) and number of corrections of movements. The results showed that the superstabilization group adapted better to perturbations than stabilization group and used more efficiently the feedback mechanisms for changes. Summarizing it is possible to conclude that superstabilization conducted to better performance when facing unpredictable perturbations, but with specificities on control mechanisms. At last, adaptation required change on macrostructure of the action program.

Keywords: Stabilization levels. Tasks with different control. Adaptive process.
Unpredictable perturbations.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Modelo de não equilíbrio de aprendizagem motora	22
Figura 1a	Voluntário 10. Exemplo da curva de aceleração	36
Figura 1b	Voluntário 10. Exemplo da curva de aceleração	37
Figura 2a	Voluntário 8. Exemplo da curva da derivada da força e número de correções em uma tentativa controle	41
Figura 2b	Voluntário 8. Exemplo da curva da derivada da força e número de correção em uma tentativa com perturbação.	41
Figura 3	Layout da sala de coleta de dados com célula de carga de tração e compressão, amplificador de dados, conversor analógico digital e computador para aquisição dos dados	47
Figura 4	Meta dos 40%	49
Figura 5	Modificação da meta de 40% para 60%	50
Figura 6	Modificação da meta de 40% para 20%	50
Figura 7	Tarefa virtual de interceptação a alvo móvel	89

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01	Exemplo do perfil da curva de velocidade e aceleração apresentado em uma tarefa de interceptação	33
Gráfico 02	Perfil da curva de força e derivada da força apresentado em uma tarefa de flexão de cotovelo	38
Gráfico 03	Média do RMSE absoluto do GSE e GE na fase de pré-exposição	54
Gráfico 04	Média do DP do RMSE do GSE e GE na fase de pré-exposição.....	55
Gráfico 05	Média do tPF do GSE e GE na fase de pré-exposição.....	56
Gráfico 06	Média do RMSE absoluto do GSE e GE	57
Gráfico 07	Média do desvio padrão do RMSE do GSE e GE	58
Gráfico 08	Média do número de correções do GSE e GE	59
Gráfico 09	Média do RMSE absoluto do GSE e GE	60
Gráfico 10	Média do desvio padrão do RMSE do GSE e GE	61
Gráfico 11	Média do número de correções do GSE e GE	62
Gráfico 12	Média do RMSE absoluto do GSE e GE	63
Gráfico 13	Média do desvio padrão do RMSE do GSE e GE	64
Gráfico 14	Média do número de correções do GSE e GE	65
Gráfico 15	Média do tempo para o pico de força do GSE e GE	66
Gráfico 16	Erro no pico de força do GSE e GE	67
Gráfico 17	Média do RMSE absoluto do GSE e GE	68
Gráfico 18	Média do desvio padrão do RMSE do GSE e GE	69
Gráfico 19	Média do número de correções do GSE e GE	70
Gráfico 20	Média do RMSE absoluto do GSE e GE	71
Gráfico 21	Média do desvio padrão do RMSE do GSE e GE	72
Gráfico 22	Média do número de correções do GSE e GE	73
Gráfico 23	Média do RMSE absoluto do GSE e GE	74
Gráfico 24	Média do desvio padrão do RMSE do GSE e GE	75
Gráfico 25	Média do número de correções do GSE e GE	76
Gráfico 26	Média do tempo para o pico de força do GSE e GE	77
Gráfico 27	Erro no pico de força do GSE e GE	78-79
Gráfico 28	Média do erro absoluto temporal (ms) no primeiro e no último bloco da pré-exposição para os grupos GE e GSE	94
Gráfico 29	Média do DP do erro variável temporal (ms) no primeiro e no último bloco da pré-exposição para os grupos GE e GSE	95
Gráfico 30	Média do tPV (ms) no primeiro e no último bloco da pré-exposição para os grupos GE e GSE	96
Gráfico 31	Média do erro absoluto temporal (ms) para os grupos GE e GSE	97
Gráfico 32	Média do desvio padrão do erro temporal do GSE e GE	98
Gráfico 33	Média do tempo para o pico de velocidade do GSE e GE	98
Gráfico 34	Média do número de correções do GSE e GE	99
Gráfico 35	Média do erro absoluto temporal (ms) para os grupos GE e GSE	100
Gráfico 36	Média do desvio padrão do erro temporal do GSE e GE	101
Gráfico 37	Média do tempo para o pico de velocidade do GSE e GE	102
Gráfico 38	Média do número de correções do GSE e GE	103

Gráfico 39	Média do erro absoluto temporal (ms) para os grupos GE e GSE	104
Gráfico 40	Média do desvio padrão do erro temporal do GSE e GE	105
Gráfico 41	Média do tempo para o pico de velocidade do GSE e GE	106
Gráfico 42	Média do número de correções do GSE e GE	106
Gráfico 43	Média do erro absoluto temporal (ms) para os grupos GE e GSE	107
Gráfico 44	Média do desvio padrão do erro temporal do GSE e GE	108
Gráfico 45	Média do tempo para o pico de velocidade do GSE e GE	109
Gráfico 46	Média do número de correções do GSE e GE	109
Gráfico 47	Média do erro absoluto temporal (ms) para os grupos GE e GSE	110
Gráfico 48	Média do desvio padrão do erro temporal do GSE e GE	111
Gráfico 49	Média do tempo para o pico de velocidade do GSE e GE	118
Gráfico 50	Média do número de correções do GSE e GE	112
Gráfico 51	Média do erro absoluto temporal (ms) para os grupos GE e GSE	113
Gráfico 52	Média do desvio padrão do erro temporal do GSE e GE	114
Gráfico 53	Média do tempo para o pico de velocidade do GSE e GE	115
Gráfico 54	Média do número de correções do GSE e GE	117-118

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Tentativas controle e com perturbação	51
----------	---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CR	Conhecimento de Resultado
EEFFTO	Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional
GE	Grupo Estabilização
GF	Grip Force
GSE	Grupo Superestabilização
LF	Load Force
RMSE	Percentual da Raiz Quadrada do Erro Médio
TM	Tempo de Movimento
tPF	Tempo Para Pico de Força
tPV	Tempo Para o Pico de Velocidade
TW	Time Window
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1	Processo adaptativo em aprendizagem motora	19
2.2	Proposições básicas do processo adaptativo em aprendizagem motora	23
2.3	Mecanismos de controle motor em movimentos rápidos e precisos ..	31
2.4	Mecanismos de controle motor em tarefa de controle de força isométrica	37
2.5	Problema de investigação	43
3	OBJETIVOS	45
3.1	Objetivo geral	45
3.2	Objetivos específicos	45
4	HIPÓTESES	45
5	EXPERIMENTO 1	46
5.1	Método	46
5.1.1	Amostra	46
5.1.2	Instrumento e tarefa	47
5.1.3	Procedimento e delineamento	48
5.1.4	Variáveis dependentes	52
5.1.5	Análise estatística	53
6	RESULTADOS	54
6.1	Quantidade média de tentativas entre os grupos	54
6.2	Comportamento dos grupos durante a fase de pré-exposição	54
6.3	Comportamento dos grupos durante a fase de exposição	56
6.4	Síntese dos resultados	80
6.5	Discussão	80
6.6	Conclusão	88
7	ESTUDO 2 - SEGUNDO EXPERIMENTO	88
7.1	Método	88
7.1.1	Amostra	88
7.1.2	Instrumento e tarefa	88
7.1.3	Procedimento e delineamento	89
7.1.4	Delineamento	90
7.2	Variáveis	91
7.2.1	Variáveis dependentes	91
8	ANÁLISE ESTATÍSTICA	92
8.1	Resultado	93
8.1.1	Quantidade média de tentativas entre os grupos	93
8.1.2	Comportamento dos grupos durante a fase de pré-exposição	93

8.1.3	Comportamento dos grupos durante a fase de exposição	96
8.2	Síntese dos resultados	119
8.3	Discussão	119
8.4	Conclusão	125
9	DISCUSSÃO GERAL	126
	REFERÊNCIAS	128
	ANEXO	137
	DEFINIÇÃO DE NÚMERO DE CORREÇÕES NA TAREFA DE FORÇA	137

1 INTRODUÇÃO

No nosso dia a dia, gastamos uma boa parte do tempo desempenhando habilidades motoras essenciais. Isto inclui digitar um trabalho de conclusão de curso ou um e-mail, dirigir um automóvel, segurar uma sacola enquanto se abre uma porta, martelar um prego ou arremessar e receber uma bola. As habilidades motoras muitas vezes podem ser entendidas como comportamentos adaptativos porque elas são os meios pelos quais os indivíduos interagem com mudanças ambientais. Neste caso, não basta aprender habilidades motoras, mas também é necessário que elas se modifiquem para lidar com as alterações ambientais, o que requer entender a aprendizagem como um processo contínuo de mudanças. A compreensão da aprendizagem de habilidades motoras como um sistema adaptativo complexo tem estado dentre os desafios da área de Aprendizagem Motora nas últimas décadas (TANI et al. 2010).

A este respeito, pesquisas têm sido desenvolvidas com base em diferentes modelos teóricos, sendo um deles denominado de processo adaptativo em aprendizagem motora (CHOSHI, 2000; TANI et al. 2014). Nele, a aquisição de habilidades motoras é explicada como um processo contínuo que passa por ciclos de estabilidade e instabilidade. Experimentalmente, ele tem sido testado com uma fase de estabilização e uma de adaptação. Na fase de estabilização se busca a estabilização da função motora. Ela pode ser entendida como a fase na qual ocorre a formação de padrão do movimento. Já a fase de adaptação refere-se à modificação do padrão previamente formado (CORRÊA et al. 2013) para atingir à meta frente às novas demandas inseridas na tarefa.

Basicamente dois focos principais de investigação têm sido desenvolvidos relativos ao modelo de processo adaptativo em aprendizagem motora. Na primeira, as pesquisas têm sido conduzidas com o intuito de testar as principais proposições do modelo (BENDA et al., 2001; UGRINOWITSCH et al. 2011; 2014; FONSECA et al. 2012; TANI et al. 2014). A segunda linha de pesquisa refere-se à investigação da aquisição de habilidades motoras em função da manipulação de fatores como, por exemplo: *feedback* (MEIRA JR., 2005; TANI, MEIRA JUNIOR; GOMES, 2005) e prática (DE PAULA PINHEIRO ET AL. 2015, CORRÊA et al. 2010a; MASSIGLI et al. 2011).

No primeiro caso, foco do presente trabalho, os estudos têm manipulado os efeitos de diferentes níveis de estabilização do desempenho e do tipo de perturbação para investigar os efeitos na adaptação. Os resultados vêm mostrando que a capacidade para se adaptar depende do nível de estabilização alcançado e ainda que existe uma hierarquia na adaptação em função do tipo de perturbação, ou seja, a manipulação da demanda perceptiva da tarefa parece ser mais fácil para a adaptação (UGRINOWITSCH ET AL, 2014) do que a demanda perceptivo-motora (UGRINOWITSCH EL AL, 2011) quando a perturbação é manipulada de forma previsível. Contudo, duas questões ainda não foram abordadas. A primeira refere-se aos efeitos dos níveis de estabilização de desempenho com a manipulação de perturbações imprevisíveis e a segunda refere-se à utilização de tarefas que forneçam informações sobre os mecanismos de controle utilizados e, conseqüentemente, como estes mecanismos modificam no controle da ação em função de quando é inserida a perturbação ao longo do processo de aprendizagem

Assim, este estudo testou se a proposição de que os efeitos da manipulação de diferentes níveis de estabilização do desempenho são generalizáveis na adaptação mediante perturbações imprevisíveis e com tarefas de características de controle distintas. Especificamente, o presente estudo delimitou-se em investigar o efeito do nível de estabilização do desempenho na adaptação às perturbações imprevisíveis. Foram investigadas tarefas motoras cujas exigências, em termos de controle, fossem predominantemente via feedforward e feedback sensorial.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Processo adaptativo em aprendizagem motora

A aprendizagem motora é conceituada como mudanças internas na capacidade de executar habilidades motoras, sendo tais mudanças no sentido de execuções cada vez mais eficientes, são relativamente permanentes e decorrentes de prática e experiência (MAGILL, 2000; SCHMIDT, 2005). Refere-se, portanto a permanência, retenção ou preservação da habilidade adquirida (MOULY, 1984).

As explicações de aprendizagem motora que enfatizam esta permanência configuram-na como um processo finito que finaliza com a automatização do movimento (FITTS; POSNER, 1967; ADAMS, 1971, SCHMIDT, 1975). Esta proposta

considera a aprendizagem como um sistema fechado, que não modifica após atingir um estado estável (TANI, 1995; BENDA et al., 2001; UGRINOWITSCH; 2003). Em outras palavras, a aprendizagem é vista como um processo finito. Contudo, Tani (2005) destaca como ponto de partida a relevância de qualquer investigação atual considerar que o organismo vivo, como seus componentes, devem ser pensados como sistemas abertos. Isto é, sistemas que mantêm trocas contínuas de energia/informação com o meio ambiente (BERTALANFFY, 1975). Esta classe de sistema não fica em estado de equilíbrio, mas modifica ao importar energia/informação. Ao levar esta visão de sistemas para a aprendizagem motora, a aquisição de uma habilidade não pode ser um processo finito que termina com a estabilização do desempenho.

Uma abordagem que contempla a aprendizagem de habilidades motoras como um processo contínuo foi proposta por Tani (1995) e Tani et al. (2014). Essa abordagem propõe que a aprendizagem motora pode ser entendida como um processo adaptativo, no qual a aprendizagem é um processo contínuo no qual uma habilidade aprendida se modifica em função da importação de energia/informação do meio, bem como das modificações do próprio sistema (pessoa). Mais especificamente, este modelo explica a aprendizagem motora por duas fases: a primeira é denominada estabilização e a segunda adaptação.

A fase de estabilização é aquela em que ocorre a formação ou a padronização da habilidade, isto é, os erros, as inconsistências, e a falta de coordenação observados no início da fase de prática são minimizados, dando lugar a execuções mais precisas, consistentes e coordenadas (TANI, 2005). É a fase em que ocorre a estabilização da função através da prática aliada ao *feedback* negativo, quando infere-se que a estrutura que controla a habilidade é formada.

A estrutura de controle da habilidade é denominada programa de ação organizado hierarquicamente (PAOH), cuja organização acontece em nível macroscópico e microscópico (MANOEL et. al., 2002; TANI; CONNOLLY; MANOEL, 1998). A macroestrutura se refere ao padrão geral que emerge da interação de componentes, inferida quando as ações se tornam consistentes. Em outras palavras, a macroestrutura é orientada à ordem, padrão e consistência. A microestrutura por sua vez, é orientada à desordem e à variabilidade resultante das possibilidades de interação dos componentes da ação, responsável pelo aspecto flexível das ações habilidosas (TANI et al., 2014).

Nesta visão, a macroestrutura não é uma estrutura definida com comandos previamente organizados, mas em função da meta da ação uma ordem emergente resulta de interações dinâmicas dos seus elementos constituintes (microestrutura) que, por sua vez, influencia e restringe as possibilidades de interações da microestrutura (TANI et al., 2014). Isto significa que à medida que se aprofunda “nas raízes hierárquicas” de um programa de ação cada vez mais aumentam os graus de liberdade a serem controlados (ex: articulações – músculos – unidades motoras).

A dinâmica de funcionamento de um programa de ação pode ser compreendida da seguinte forma: a partir da meta da tarefa, a macroestrutura é selecionada e um padrão motor é observado. Este padrão da macroestrutura restringe as possibilidades de interação dos componentes da microestrutura, mas a interação gerada não congela as possibilidades de interações. Destas mesmas interações, combinadas com a meta da tarefa, emerge o padrão da macroestrutura. Em outras palavras, elas são causa e efeito. Estas características de ordem e desordem ou de padrão e variabilidade permitem dizer que a estrutura formada consegue explicar as características de consistência e flexibilidade observada no comportamento motor habilidoso (TANI, 2005; TANI et. al., 2014).

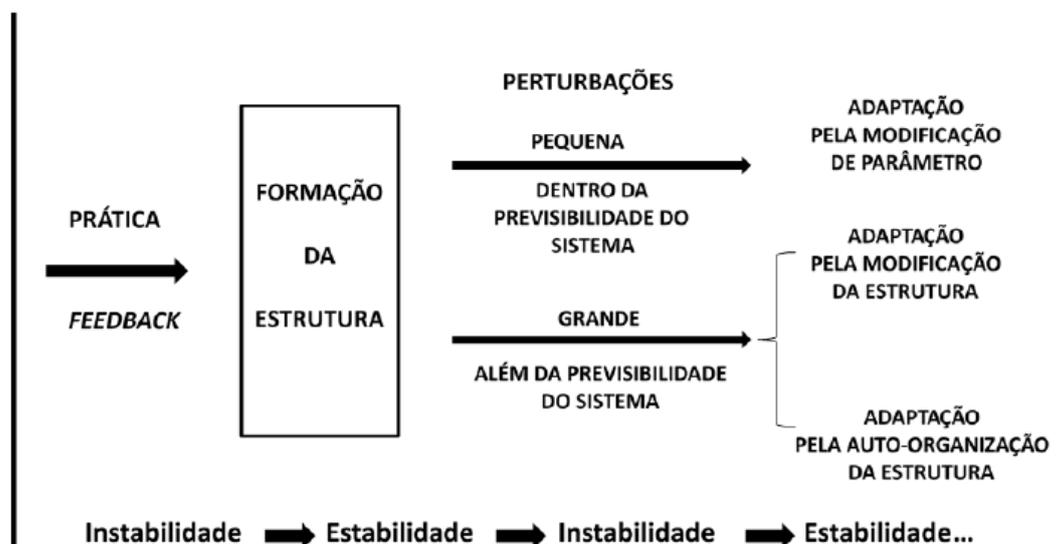
A fase seguinte é denominada de adaptação e é aquela na qual novas habilidades mais complexas são formadas a partir da modificação daquelas já adquiridas. A adaptação acontece quando há uma quebra na estabilidade adquirida previamente, que exige mudança no programa de ação organizado hierarquicamente. Com a prática e o *feedback* é criado outro regime de estabilidade, mas em um novo nível de complexidade, o que caracteriza adaptação da estrutura no sistema neuro-motor (TANI et al., 2014). Em outras palavras, primeiro é necessário atingir a estabilização da função, resultante da formação de uma estrutura de controle da habilidade, para que depois esta estrutura se modifique e se torne mais complexa.

Uma pré-condição para a fase de adaptação é a perturbação, que em habilidades motoras é o que tira o sistema neuro-motor do seu estado de estabilidade para que atinja um novo estado estável, quando infere-se que houve adaptação. Esta adaptação pode ocorrer pela própria flexibilidade da estrutura já adquirida (i.e., modificação de um parâmetro da habilidade), pela alteração de alguns componentes (i.e., modificação da macroestrutura), ou, ainda pela emergência de uma estrutura completamente nova. Por exemplo, na execução da

bandeja do basquetebol, a presença de um marcador poderia fazer com que o executante tivesse de realizar o mesmo movimento mais rapidamente (modificação do parâmetro), mudasse a posição da mão no momento do arremesso (alteração de um componente) ou ainda executasse um movimento completamente novo (auto-organizacional), como é comum nas partidas de NBA (National Basketball Association) (BARROS, 2006). Nos dois últimos casos assume-se que existe um aumento de complexidade na estrutura da habilidade, que é refletida no comportamento.

A noção de aumento de complexidade no modelo de processo adaptativo é baseada na suposição de que novos componentes são incorporados ou a relação entre os componentes existentes se modifica dentro da estrutura previamente formada (TANI, 2005; TANI et al., 2014). As perturbações de origem interna ou externa requerem reorganização da estrutura de controle da habilidade, e quando a meta nesta nova condição é alcançada infere-se que houve um aumento de complexidade do sistema neuro-motor.

Figura 1. Modelo de não equilíbrio de aprendizagem motora (TANI, 2005)



A Figura 1 mostra o modelo de processo adaptativo proposto por Tani (2005). A partir desse modelo, poder-se-ia assumir que sujeitos que passam por sucessivos ciclos de instabilidade e estabilidade devem ter uma maior complexidade e, por conseguinte, mais habilidade, que é verificada quando exigido (UGRINOWITSCH et al., 2014). A repetição desses ciclos conduz o sujeito a responder mais efetivamente

as demandas ambientais apresentando maior adaptabilidade. Nesse sentido, um sujeito com estados mais avançados de aprendizagem seria aquele que formou uma estrutura espaço temporal que seja funcional e conseguiu adaptá-la inúmeras vezes ao longo de diferentes situações (BASSO, 2010).

Esse modelo tem recebido suporte em diversas pesquisas (TANI, 1995; BENDA et al., 2000, BENDA, 2001; UGRINOWITSCH, 2003; BARROS, 2006; CORRÊA, 2007; CORRÊA et al., 2007; BASSO, 2010; UGRINOWITSCH et al., 2011; 2014; FONSECA et al., 2012, PINHEIRO et al., 2015), e no próximo tópico serão apresentados os estudos que permitem verificar quais foram os principais resultados no que se refere as proposições do modelo.

2.2 Proposições básicas do processo adaptativo em aprendizagem motora

Tani (1995) testou a precedência da estabilização para ocorrer a adaptação, e encontrou resultados favoráveis, e mais especificamente encontrou uma hierarquia entre as fases da aprendizagem. Utilizando-se de uma tarefa de padrão seriado de 5 estímulos, este autor encontrou dois importantes aspectos concernentes ao processo adaptativo.

Primeiro que a adaptação deve ser precedida de estabilização e que respostas antecipatórias levam a um menor índice erros. Segundo que é possível visualizar uma organização hierárquica no processo de aquisição de habilidades motoras, em que a adaptação à instabilidade é feita no nível de desempenho imediatamente inferior aquele alcançado na fase anterior (quando o sistema alcança o nível de respostas antecipatórias, a adaptação à instabilidade é feita no nível imediatamente inferior na hierarquia, ou seja, respostas corretas). Quando é alcançado o nível de respostas corretas na fase anterior, a resposta à instabilidade acontece com respostas erradas e, por último, com omissão de resposta.

Duas questões importantes foram adicionadas a ideia do estudo de Tani (1995). A primeira diz respeito à quantidade de prática necessária para alcançar a estabilização. Considerando os sujeitos que alcançaram a estabilização e foram mais rápidos ou lentos no alcance dessa fase, o autor notou que com a necessidade de um menor número de tentativas na estabilização o desempenho levou à melhor desempenho na adaptação.

Para o autor, esses resultados mostraram que há uma hierarquia entre as fases de estabilização e de adaptação, no entanto, pelas diferenças interindividuais existentes para atingir a estabilização, os sujeitos diferem seu comportamento na fase de adaptação.

A outra questão suscitada no estudo de Tani (1995) resultou do nível de perturbação apresentado. Foram manipuladas modificações no aspecto temporal (intervalo interestímulo), espacial (mudança na ordem da sequência de acendimento das luzes) e temporal combinada com espacial. Os resultados indicaram que os sujeitos adaptaram-se mais facilmente à manipulação de um aspecto temporal da tarefa, depois espacial; e a mais difícil foi a adaptação quando ambos os aspectos foram combinados. Nesse sentido, o autor supôs que o desempenho na fase de adaptação é fruto do nível de estabilização alcançado e do tipo de modificação da tarefa.

A partir dos resultados de Tani (1995), de que existe uma hierarquia na adaptação relacionada ao nível de estabilização atingido durante a prática, o estudo conduzido por Benda et al. (2000), investigou o efeito da variabilidade em diferentes níveis de estabilização do desempenho no processo adaptativo. A tarefa utilizada foi a de controle de força de preensão manual e três grupos experimentais foram distribuídos: pré-estabilização, estabilização e superestabilização. Os resultados indicaram que o nível de variabilidade alcançado ao final da fase de estabilização não teve efeito no desempenho na fase de adaptação. Diferente da visão tradicional, os autores sugerem que a alta variabilidade não caracterizou inconsistência, pois não foi prejudicial à aprendizagem frente a uma nova tarefa.

Em 2001, ao utilizar duas tarefas distintas, lançamento de dardo de salão e uma tarefa de timing coincidente, Benda (2001) deu sequência à análise da variabilidade presente durante a estabilização e seu efeito na adaptação. Segundo o autor, os resultados sugerem que a variabilidade pode ter um papel diferenciado conforme o estado de organização do sistema, que há um aumento da amplitude da variabilidade após a estabilização, e que a variabilidade pode ter um papel facilitador na adaptação.

Ugrinowitsch (2003) investigou a última suposição de Tani (1995), analisando como o nível de estabilização do desempenho e o tipo de perturbação exercem influências no processo adaptativo.

Para Tani (2005), a estabilização é aquela em que se busca, como a própria palavra indica, a estabilidade funcional que resulta na padronização espacial e temporal do movimento, quando infere-se a formação de uma estrutura que controla a habilidade. A estabilidade é considerada uma fase do processo de aquisição, ou seja, criar através da prática uma estrutura que se torne estável, mas não rígida, que seja capaz de sofrer modificações. Ao seguir o modelo de Processo Adaptativo, a adaptação depende de quando a perturbação é inserida (TANI, 2005; UGRINOWITSCH; TANI, 2005). Esta questão tem sido testada manipulando experimentalmente níveis de estabilização, sendo considerados como estabilização, com prática suficiente para o desempenho se tornar estável, e superestabilização, com prática além do necessário para estabilizar o desempenho. A superestabilização do desempenho é um estado de organização do sistema diferente (BENDA, 2001) e experimentalmente foi testada primeiro por Benda et al. (2000) e Benda (2001) manipulando diferentes quantidades de prática. Contudo, devido à variabilidade individual na velocidade de aprendizagem, não foi possível identificar diferenças (BENDA, 2001).

Posteriormente, estes níveis de estabilização foram testados e utilizados por Ugrinowitsch (2003), mas, ao invés de uma mesma quantidade de prática, foi utilizado um desempenho critério. Neste critério, para atingir a superestabilização é identificada a passagem por vários momentos de desempenho estável, o que permitiria responder mais efetivamente as demandas ambientais apresentando maior adaptabilidade (UGRINOWITSCH, 2005; FONSECA et al., 2012; UGRINOWITSCH et al., 2014).

Baseada nestas proposições do modelo, uma série de estudos com o intuito de obter evidências foi realizada. Alguns autores testaram os próprios elementos do modelo como o nível de estabilização do desempenho. Nesta abordagem, a fase de adaptação é observada enquanto processo ou fase e as perturbações são inseridas de modo previsível e contínuo para o sujeito, após o desempenho se tornar estável. A perturbação tem um papel fundamental neste modelo, pois a partir dela o sistema pode evoluir para um estado superior de complexidade. Nas palavras de Kelso (1997), a formação de novas estruturas pressupõe instabilidade no sistema. Assim, níveis distintos de estabilidade levariam a diferentes desempenhos frente às perturbações.

Abordando especificamente acerca dos níveis de estabilização de desempenho e processo adaptativo, Ugrinowitsch (2003) realizou três experimentos que diferiram no tipo de perturbação introduzida. Neste estudo, os grupos foram diferenciados quanto à estabilização do desempenho que foi considerado estável quando os erros cometidos durante a execução de uma ação habilidosa encontram-se dentro de uma faixa de acerto considerada como aceitável para a tarefa praticada. Ou seja, o desempenho na execução de uma ação motora é definido na sua relação com o resultado da meta a ser atingida (objetivo da tarefa) e não em relação à uma quantidade de prática (ex. UGRINOWITSCH et al., 2011; LEITE et al., 2013; COCA-UGRINOWITSCH et al., 2014). Quando a diferença entre o resultado obtido e a meta da tarefa apresenta valores estáveis e próximos da meta, considerados aceitáveis, considera-se que a estabilização foi alcançada (BENDA, 2006). Uma medida de estabilização do desempenho deve refletir sua propriedade essencial: permanência na reprodução do alcance da meta ambiental (Pinheiro et al., 2015). Por exemplo, em tarefas de *timing* coincidente tem sido aceito como atingida a estabilização do desempenho quando o erro é igual ou inferior a 30 ms (UGRINOWITSCH et al., 2011; UGRINOWITSCH et al., 2014).

Para caracterizar o nível de estabilização do desempenho na tarefa inicial pode-se buscar em diferentes áreas do conhecimento algumas ideias e técnicas para a sua operacionalização. No caso do presente estudo, escolheu-se adotar um indicador já utilizado na literatura de Aprendizagem Motora – níveis de aprendizagem (TANI, 1995) e a definição operacional para a estabilização em situações experimentais têm sido feita pela adoção de um critério de desempenho individual estabelecido em estudo piloto durante a execução da tarefa na condição de prática constante. Este procedimento foi utilizado nos trabalhos de Ugrinowitsch (2003); Fialho (2007); Ugrinowitsch et al. (2011; 2014); Fonseca et al. (2012); Couto (2012); LEITE et al. (2013); COCA-UGRINOWITSCH et al. (2014). Aqui cabe ressaltar que apesar do critério ser uma medida de precisão de desempenho, ela não é rígida e por isso mesmo é capaz também de mostrar diferentes níveis de consistência do desempenho (ex. UGRINOWITSCH et al., 2014).

Experimentalmente, a testagem do quando perturbar, representada por diferentes momentos de estabilização do desempenho, tem sido dividida em três diferentes níveis: o primeiro é definido como pré-estabilização, caracterizado por uma não estabilização do desempenho na execução da habilidade, em

consequência da quantidade insuficiente de prática. O segundo nível é definido como estabilização, caracterizado quando a quantidade de prática realizada permite que a habilidade seja aprendida e o critério de desempenho seja alcançado. O último nível é chamado de superestabilização, caracterizada pelo alcance do critério de desempenho repetidas vezes (UGRINOWITSCH; TANI, 2005).

Voltando ao estudo de Ugrinowitsch (2003), este autor realizou três experimentos. Nesses experimentos, a tarefa foi tocar cinco sensores em uma sequência pré-estabelecida fazendo com que o último toque coincidissem com o acendimento de um diodo alvo. Este é um tipo de tarefa considerada como seriada, porque tem vários movimentos em sequência com início e fim bem definidos (SCHMIDT; WRISBERG, 2010), é organizada temporal e espacialmente e com envolvimento de alta demanda perceptiva. No experimento I, os sujeitos não estabilizaram o desempenho, pois realizaram quantidade insuficiente de prática (pré-estabilização), e foram submetidos a diferentes tipos de perturbação: perceptiva, motora e perceptivo-motora. Os resultados mostraram que os sujeitos não conseguiram se adaptar às três perturbações, pois continuaram com o erro alto, além do esperado para este tipo de tarefa.

No experimento II os sujeitos foram levados à estabilização do desempenho para depois serem inseridos os três tipos de perturbação. Os critérios de estabilização adotados foram executar três tentativas consecutivas na tarefa com erro ≤ 30 ms na coincidência requerida na tarefa. Os resultados mostraram que os sujeitos conseguiram se adaptar à perturbação perceptiva e à motora, com uma maior mudança na estrutura da habilidade na perturbação motora. Com base no desempenho foi possível inferir que a adaptação à perturbação perceptivo-motora mostrou-se a mais difícil das três; isto porque neste tipo de perturbação os indivíduos não conseguiram se adaptar.

No experimento III os sujeitos praticaram a tarefa até atingir a superestabilização do desempenho e, depois, foram inseridos os três tipos de perturbação. Aqui se faz necessário outro esclarecimento. O desempenho critério utilizado para alcançar a superestabilização do desempenho foi executar seis blocos de três tentativas consecutivas na tarefa com erro ≤ 30 ms na coincidência exigida na tarefa. Os resultados mostraram que não houve diferença no desempenho na fase de adaptação, independente do tipo de perturbação, porém houve diferenças em termos de mudança na estrutura da habilidade: a perceptivo-motora causou maior

mudança, seguida da motora e, por último, da perceptiva. Ugrinowitsch (2003) concluiu, a partir dos resultados desses três experimentos que o nível de estabilização do desempenho influencia a adaptação, bem como, há uma hierarquia no tipo de perturbação, ou seja, a adaptação ocorre mais rapidamente com a perturbação perceptiva, seguida da motora e por último da perceptivo-motora. Além disso, quando um nível mais avançado de estabilização do desempenho é alcançado (superestabilização), maior competência para superar perturbações é verificada.

A melhor adaptação dos sujeitos que atingiram a superestabilização pode ser explicada pelo modelo proposto por Tani (1995; 2005) de processo adaptativo, apresentado na Figura 1 da página 22. Para atingir o desempenho critério proposto como de superestabilização, os sujeitos tiveram que passar por vários momentos de estabilidade, os quais foram seguidos de momentos de instabilidade. Como a prática era constante, pode-se inferir que as flutuações no desempenho eram resultantes do próprio sujeito e não da prática. Estas variações são entendidas como o próprio sujeito inserindo perturbação no seu sistema neuromotor, buscando novas formas de executar a tarefa. Conseqüentemente, os sujeitos que atingiram este nível de estabilização já possuíam uma estrutura de controle mais complexa por passar pelos ciclos de instabilidade e estabilidade, confirmados no melhor desempenho na adaptação. Este pressuposto tem sido testado em outros estudos que serão descritos adiante.

No estudo supracitado, o autor manipulou a perturbação de forma previsível para os sujeitos, mais especificamente, após a primeira fase de prática constante era inserida uma perturbação que também se mantinha constante em uma série de tentativas. Isso porque o objetivo era testar se a habilidade previamente aprendida se modificava e aumentava em complexidade, pressuposto principal para entender a aprendizagem como um processo contínuo e testagem do modelo teórico inteiro. Se a aprendizagem realmente continua após a estabilização do desempenho, mesmo com a prática constante, os seus efeitos apareceriam mesmo diante de perturbações imprevisíveis, que exigem mais para conseguir manter o mesmo desempenho. Esta questão foi investigada em estudos subsequentes.

Profeta (2009) testou esta questão e utilizou uma tarefa de lançamento de dardo, sendo que após uma fase que permitia a estabilização do desempenho a perturbação foi inserida de forma imprevisível para os sujeitos. A modificação

(perturbação) foi a mudança do alvo ao qual o dardo deveria ser lançado (em diferentes distâncias do sujeito), o que requeria mudança na força de lançamento dos dardos. Os resultados mostraram que para os níveis de estabilização do desempenho testados, não houve influência da estabilização na adaptação quando a tarefa requer precisão espacial e no controle de força.

Em um delineamento similar ao de Profeta (2009); Fonseca et al. (2012) utilizaram uma tarefa de *timing* coincidente e a perturbação inserida neste estudo também foi de forma imprevisível com modificação nos aspectos perceptivos (modificação na velocidade do estímulo luminoso). Os resultados mostraram que quando a perturbação foi inserida, a superestabilização teve melhor desempenho e ainda teve um retorno mais rápido do desempenho ao nível prévio à inserção da perturbação, quando comparada à estabilização do desempenho.

Em Couto (2012) esta questão foi novamente testada e a tarefa utilizada foi a de *timing* coincidente, mas neste caso a de interceptar um alvo em movimento. Foram manipulados dois níveis de estabilização do desempenho (estabilização e superestabilização), apesar da utilização de tarefa distinta, o desempenho critério foi o mesmo utilizado por Ugrinowitsch et al. (2003; 2011; 2014) e Fonseca et al. (2012), e a perturbação foi inserida de forma imprevisível. A imprevisibilidade se referia à mudança da velocidade do deslocamento do alvo após o movimento ser iniciado, e isso acontecia em algumas tentativas intercaladas com as tentativas controle. Os resultados mostraram que apenas o grupo com maior nível de estabilização se adaptou às perturbações imprevisíveis, reforçando a superioridade deste grupo mediante as perturbações e reforçando a proposta da continuidade da aprendizagem, mesmo após a estabilização do desempenho.

Profeta (2009), Fonseca et al. (2012) e Couto (2012) tiveram como objetivo manipular diferentes níveis de estabilização do desempenho, variável esta tendo como pano de fundo o processo adaptativo. Apesar do delineamento utilizado na segunda fase ser diferente daquele clássico do modelo de Processo Adaptativo, o pressuposto teórico é o mesmo, tanto que os autores apontam isso nas suas conclusões.

Em suma, os resultados dos estudos supracitados mostram que quando a estabilização do desempenho não é atingida, a adaptação não acontece ou demora mais para acontecer. Além disso, com a superestabilização a adaptação aconteceu mais rápido do que somente com a estabilização do desempenho. Em tarefas

complexas de timing coincidente os resultados se replicaram (UGRINOWITSCH, 2003; UGRINOWITSCH et al., 2011; COUTO, 2012; FONSECA et al., 2012; UGRINOWITSCH et al., 2014). Contudo, quando foi utilizada a tarefa de lançamento de dardo a um alvo não foram encontradas diferenças entre os grupos (PROFETA, 2009).

A revisão apresentada indica que a manipulação do nível de estabilização do desempenho é um fator que influencia a adaptação, pois níveis diferentes de estabilização podem responder de forma diferente a uma mesma perturbação. Esta diferença na resposta motora seria resultante da utilização de forma distinta dos mecanismos de controle das habilidades motoras e os aspectos sobre os quais eles atuam, sejam eles espaciais, temporais ou de força. Por exemplo, quando os níveis de estabilização foram manipulados nas tarefas complexas de timing coincidente, os resultados mostraram que quando necessário, o grupo superestabilização realiza mudanças nas relações de um número menor de componentes inferido pela medida de tempo relativo do que o grupo que atingiu a estabilização do desempenho (FONSECA et al., 2012; UGRINOWITSCH et al., 2011; 2014). Estes resultados mostram que o nível de estabilização do desempenho influencia no controle, que é mais eficiente quando é atingida a superestabilização do desempenho. Contudo, eles não conseguem explicar a organização dos mecanismos de controle subjacentes à organização das ações habilidosas. Para isso é necessário utilizar tarefas que permitam mensurar os mecanismos de controle durante a realização das ações.

A tarefa de interceptação é uma delas. Quando os níveis de estabilização do desempenho foram testados com uma tarefa de interceptação a alvo móvel, os resultados mostraram que o grupo superestabilização modifica o tempo para o pico de velocidade (antecipa) e faz mais correções, e consegue melhor desempenho que o grupo estabilização (COUTO, 2012). Estes dados mostram que a estrutura e os mecanismos de controle da habilidade se modificam com os níveis de estabilização, o que explica o melhor desempenho da superestabilização frente às perturbações. Estes dados indicam a importância de investigar os efeitos do nível de estabilização em tarefas que apresentem o controle de movimento distintos, ou seja, que tenham o controle predominantemente via *feedforward* ou via *feedback*. Entender melhor os mecanismos de controle será o objetivo das próximas sessões deste estudo.

2.3 Mecanismos de controle motor em movimentos rápidos e precisos

Woodworth (1899) parece ter sido o primeiro pesquisador que identificou dois componentes em movimentos de apontamento direcionados a alvos. Um primeiro componente planejado que leva o membro para a área do alvo e, quando o tempo permite, existe uma porção corretiva do movimento (segundo componente) que é engajado para reduzir qualquer discrepância espacial entre o membro e a posição final do alvo, sendo que a efetividade desta fase corretiva do movimento é dependente da visão do alvo e do membro. Estes dois componentes permitem entender os diferentes mecanismos envolvidos nas ações rápidas de apontamento.

Antes de discorrermos sobre os mecanismos de controle motor em movimentos rápidos e precisos, primeiramente deixarei claro qual o conceito de controle motor adotado. Segundo Shumway-Cook (2010), o controle motor é relacionado à capacidade de regular ou direcionar os mecanismos neurais do movimento, os quais mudam de acordo com o nível de aprendizagem. Os mecanismos de controle motor podem ser divididos em dois tipos: O *feedforward*, que é o mecanismo de controle utilizado para a organização do movimento que antecede à sua realização (SHADMEHR, 2012), e indica planejamento prévio da ação realizada. O *feedback*, é o mecanismo de controle utilizado para a correção do movimento realizado com base no planejamento prévio (*feedforward*) que ocorre durante a realização do movimento. Este mecanismo faz uso da informação produzida durante a realização do movimento para regular a ação com base na meta previamente estabelecida (DESMURGET, 2000).

O papel destes mecanismos no controle de habilidades motoras, *feedforward* e *feedback*, têm sido investigados principalmente em tarefas de apontamento por meio de medidas cinemáticas, e acontece por intermédio das curvas de velocidade e de aceleração em função do tempo (ELLIOTT, 2001). Neste tipo de tarefa, as características do início da trajetória até o pico de velocidade refletem o planejamento do movimento (KHAN et al., 2006). Quando o planejamento não requer correções e não são encontradas mudanças na curva de aceleração, o controle do movimento se dá predominantemente via pré-programação. Isto significa que a ativação muscular do programa de ação original ocorre sem grandes ajustes. Contudo, existem casos que acontecem modificações nas porções finais da trajetória, após o pico de velocidade, identificadas nas alterações no perfil da

aceleração. Estas mudanças são associadas a processos internos relacionados às correções e, neste caso, assume-se que predomina o mecanismo de controle via *feedback*, sendo que em ações orientadas a um alvo, considera-se que o pico de velocidade constitui um marco divisório de duas etapas (WOODWORTH, 1899; ELLIOTT et al., 2010). Quando o movimento é controlado predominantemente via *feedback*, o pico de velocidade acontece de maneira antecipada, na porção inicial do movimento, para que exista mais tempo para que as correções possam ser realizadas. Outra característica do controle via *feedback* é a curva de aceleração apresentar mais de um pico (ELLIOTT et al., 2010). No perfil cinemático de movimentos orientados a um alvo, duas características são indicadoras de que o tempo de movimento extra, acima da latência mínima para utilizar voluntariamente a informação sensorial, tem como função aumentar a participação de *feedback* no controle da ação. A primeira é a presença de variações significativas do perfil da curva de aceleração e a segunda é o tempo proporcional de ocorrência do valor máximo (pico) de velocidade de movimento (MEYER et al., 1988).

Para tarefas de interceptação, os mecanismos de controle também têm sido investigados por meio de curvas cinemáticas. Pontos de inflexão em curvas de velocidade aparecem como mínimos vales na curva de aceleração. Movimentos deste tipo têm sido interpretados como sendo feitos acima de dois ou mais componentes de submovimentos. Os submovimentos perto do fim da execução representam correções do movimento iniciado. Movimentos que não apresentam modificação no perfil da curva de aceleração (vale negativo na curva de aceleração) são denominados monofásicos; já um movimento bifásico apresenta um mínimo vale e assim sucessivamente (TRESILIAN; PLOOY, 2006a). Um exemplo de curva com estes perfis é apresentado no gráfico 01.

Gráfico 01 – Exemplo do perfil da curva de velocidade e aceleração apresentado em uma tarefa de interceptação

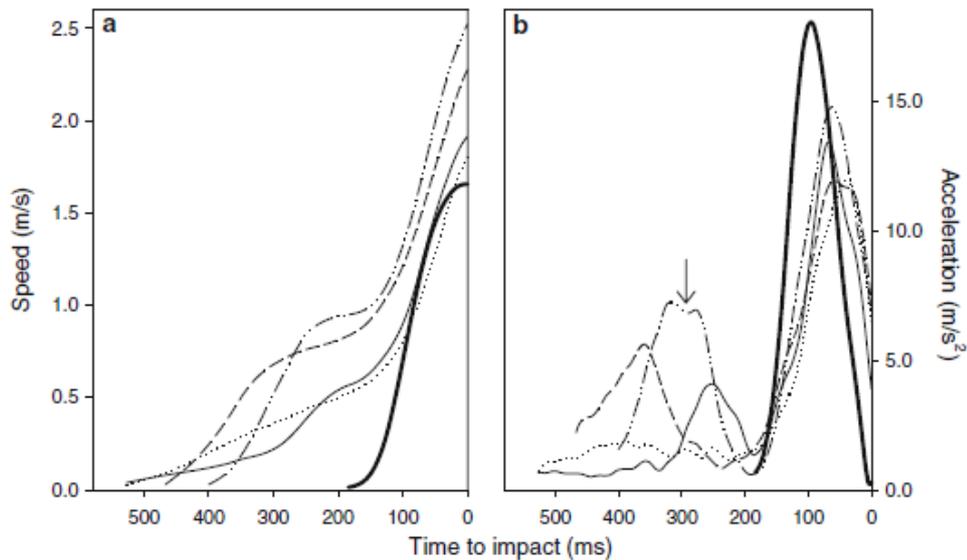


Gráfico 01 – Exemplo do perfil da curva de velocidade e aceleração apresentado em uma tarefa de interceptação. a) velocidade do movimento em função do tempo de impacto no momento da interceptação do alvo. Sendo quatro movimentos multifásicos (linha fina) e um movimento monofásico (linha grossa). b) Curva de aceleração em função do tempo de impacto no momento da interceptação do alvo. A seta aponta para um local de valor mínimo que não atende a critérios de classificação como uma fase de movimento ou submovimento. A linha sólida fina representa um movimento trifásico (TRESILIAN; PLOOY, 2006a).

A informação anterior mostra que as características cinemáticas do movimento serão diferentes em função do mecanismo de controle predominante e da utilização ou não do mecanismo de *feedback* corrente durante a execução (ELLIOTT; BINSTED; HEATH, 1999). Os movimentos monofásicos são entendidos como controlados predominantemente por mecanismo via *feedforward* e movimentos bifásicos ou com maior número de fases são controlados predominantemente via *feedback*. Alguns estudos investigaram qual a contribuição dos mecanismos de *feedback* e *feedforward* em habilidades motoras discretas, como por exemplo na tarefa de interceptação. A contribuição destes mecanismos pode se modificar em condições ambientais ou com metas diferentes. Por exemplo, para a tarefa de interceptação (atingir um objeto em deslocamento) as modificações na velocidade ou na largura do objeto a ser interceptado; na largura do implemento utilizado para realizar a interceptação, na distância do ponto de início do movimento ao local de contato com o objeto e no tempo de visualização do objeto definem a característica do movimento e possui uma demanda predominante temporal (TRESILIAN;

LONERGAN, 2002; TRESILIAN; PLOOY, 2006a). Nestes casos, o sucesso do movimento é dado pela combinação do tempo de início do movimento após a visualização do objeto e o tempo de movimento (TM), portanto, pelas características temporais da tarefa. Os resultados dos estudos têm indicado que, em ambiente previsível (sem alterações das condições ambientais), o sucesso na tarefa acontece com o controle predominantemente via *feedforward*, pois o tempo que o pico de velocidade (tPV) tende a estar próximo ao ponto de contato com o objeto (TRESILIAN; PLOOY; CARROL, 2004). Porém, 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 os 240ms, uma integração do mecanismo via *feedback* ao *feedforward* parece ser necessária para manter a precisão, mesmo considerando o ambiente previsível (TRESILIAN; PLOOY, 2006a).

O parâmetro mais investigado em estudos de interceptação a um alvo móvel tem sido a mudança na velocidade de deslocamento do objeto a ser interceptado (TRESILIAN; LONERGAN, 2002; TRESILIAN; OLIVER; CARROL, 2003; TRESILIAN; PLOOY; CARROL, 2004; CALJOUW; VAN DER KAMP; SALVESBERGH, 2005; TRESILIAN; HOUSEMAN, 2005; TRESILIAN; PLOOY, 2006a; TRESILIAN; PLOOY, 2006b). A investigação do efeito de diferentes velocidades do alvo no desempenho demonstra que quando a velocidade do alvo a ser interceptado aumenta antes do início do movimento, o tempo de movimento (TM) diminui e conseqüentemente a velocidade de movimento aumenta (BRENNER; SMEETS, 1996; BRENNER; SMEETS; LUSSANET, 1998). Este comportamento pode ser interpretado como uma estratégia visando aumentar a precisão temporal requerida (BROWER; BRENNER, SMEETS, 2000) em resposta às especificidades das condições da tarefa (TRESILIAN; LONERGAN, 2002). Reforçando a ideia citada acima, Tresilian e Lonergan (2002) compararam a precisão temporal durante a interceptação de alvos que se deslocavam com diferentes velocidades. Os resultados mostraram que uma maior precisão temporal era alcançada diante de alvos mais rápidos, do que diante de alvos que se deslocavam mais lentamente. A estratégia utilizada pelos sujeitos era esperar o alvo chegar o mais próximo da zona de interceptação para iniciar a ação, o que resultou em aumento da velocidade de movimento e conseqüente redução do tempo de movimento. Atuar desta maneira permite que se tenha um tempo maior para visualizar o alvo e então programar o movimento. Por exemplo, visualizar o alvo por cerca de 50 a 100ms a mais tem

resultado em melhor desempenho de algumas ações interceptativas (MARINOVIC; PLOOY; TRESILIAN, 2009). Além disso, estes dados também indicam que o mecanismo via *feedforward* é mais preciso do que o via *feedback*, quando a velocidade do deslocamento do alvo é constante e todo o movimento pode ser planejado antes do seu início.

Em alguns casos, as modificações em parâmetros da tarefa, como a mudança de velocidade do alvo, ocorrem após o indivíduo já ter planejado seu movimento de interceptação, ou até mesmo após já tê-lo iniciado. Nestes casos, as correções devem ser feitas *on line*, após o movimento ser iniciado, e tão logo quanto possível (SALVESBERGH; VAN DER KAMP, 2000). Estas correções ocorrem graças à disponibilidade de *feedback* durante a tarefa. Tarefas de interceptação com duração superior a 150-200ms (BRENNER; SMEETS; LUSSANET, 1998; MARINOVIC; PLOOY; TRESILIAN, 2009) oferecem tempo suficiente para utilização do *feedback* sensorial durante a própria execução; por outro lado, em tarefas que são executadas com menor duração não é possível utilizar este tipo de informação. O controle deste tempo de movimento é importante quando algum aspecto da tarefa muda após o movimento ter sido iniciado (ex. quando há uma mudança na velocidade do alvo/perturbação no aspecto perceptivo da tarefa). Este controle do tempo da tarefa é importante para que haja tempo suficiente para todo o ciclo de processamento de *feedback* ser completado uma ou mais vezes durante a ação, o que permite completar o ciclo de processamento de *feedback* visomotor antes do término da ação.

No que se refere às correções, em tarefas de interceptação o critério para definição de mudança na curva de aceleração foi escolhido de tal forma que o mínimo selecionado estivesse associado com pontos de inflexão visualmente identificáveis no perfil de velocidade. Verificou-se que isto foi atingido, se a profundidade de um mínimo fosse $> 2\%$ de aceleração máxima (TRESILIAN; PLOOY, 2006a). Este critério assegura que nenhuma oscilação evidente no perfil de aceleração fosse incluída como mínimos (por exemplo, o indicado pela seta no gráfico 01 da página 34).

Um exemplo desta curva de um de nossos voluntários é apresentado na figura abaixo. A figura 1a representa a curva de aceleração em uma tentativa com perturbação, de um voluntário na nossa tarefa de interceptação. O círculo vermelho representa o número de correções na tarefa levando em consideração o valor

mencionado acima (>2% de aceleração máxima). A figura 2b também se refere ao número de correções, porém em uma tentativa sem inserção de perturbação.

Figura 1a: Voluntário 10. Exemplo da curva de aceleração

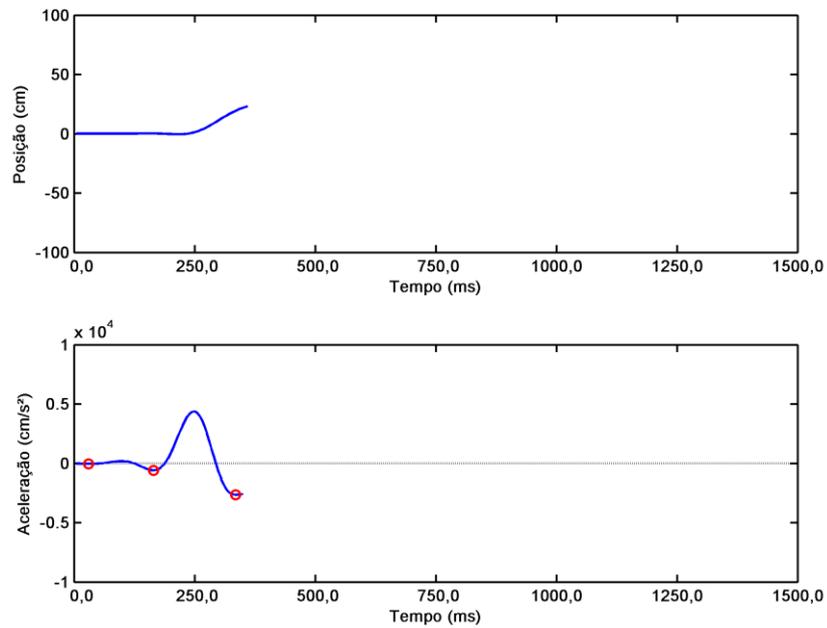


Figura 1a: Voluntário 10. Exemplo da curva de aceleração. Os círculos vermelhos representam o número de correções em uma tentativa com perturbação (aumento de velocidade)

Figura 1b: Voluntário 10. Exemplo da curva de aceleração

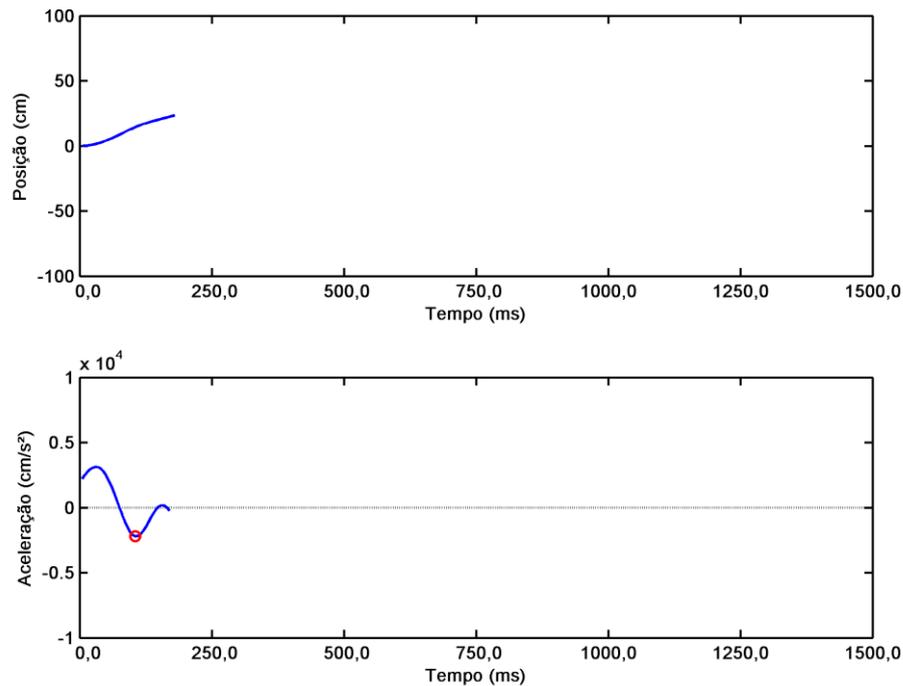


Figura 1b: Voluntário 10. Exemplo da curva de aceleração. Os círculos vermelhos representam o número de correções em uma tentativa controle.

O papel dos mecanismos de controle (*feedforward e feedback*) também tem sido investigadas em tarefas de controle de força isométrica. Este tópico será apresentado abaixo.

2.4 Mecanismos de controle motor em tarefa de controle de força isométrica

Em tarefas de controle de força isométrica, a interação dos mecanismos de controle às exigências da tarefa também é observada. Com relação a medidas cinemáticas, em curvas de força podemos estabelecer a mesma relação das tarefas de interceptação; ou seja, características do início da trajetória até o pico de força refletem o planejamento do movimento, e modificações após o pico de força estão relacionadas às correções do movimento (GORDON; CHEZ; 1987).

A adaptação em tarefas de controle de força tem sido investigada sob o paradigma de ajustes na relação *Grip force-GF* (força de apreensão) e *Load Force-LF* (carga). Por exemplo, para a tarefa de controlar a força (tarefa de deslocar um objeto preso à mão para cima e para baixo em frente ao tronco), observa-se o aumento na GF com o aumento da LF no início de um movimento para cima e a diminuição na

GF com a diminuição da LF no início de um movimento para baixo; ou seja, uma relação positiva entre as duas variáveis (HERMSDORFER et al., 2005). Nesta tarefa foi observado que a carga produzida decorrente da força gravitacional e inercial durante a manipulação de um objeto pode ser compensada por mudanças antecipatórias na força de preensão (HERMSDORFER et al., 2005). Isto significa um controle antecipatório de movimento. Entretanto, mudanças nesta relação poderiam oferecer informações adicionais sobre as estratégias de controle utilizadas, avaliando a habilidade do indivíduo para controlar a LF (ou seja, o desempenho na tarefa) ao longo do tempo de realização da tarefa. Para testar este pressuposto, Uygur et al. (2012) investigaram a coordenação GF e LF em manipulações de objetos em sentidos multidimensionais (tarefa circular). Os resultados mostraram que na tarefa com movimento unidirecional, houve uma melhor coordenação GF e LF quando comparado com o bidirecional. Este resultado indica predominância do mecanismo de *feedforward*. Provavelmente este resultado aconteceu porque a direção do movimento se tornou previsível para os sujeitos na situação unidirecional. Em contrapartida, na direção bidirecional foi encontrado um proeminente atraso da GF em relação à variação da carga (LF), sugerindo o envolvimento do mecanismo de *feedback* (UYGUR et al., 2012). Isto mostra que a característica da tarefa (ou mudança de direção de forma imprevisível) interfere no mecanismo de controle do movimento. Tempo similar de atraso já havia sido observado como uma consequência de uma perturbação imprevisível da LF (JOHANSSON; WESTLING, 1988). No estudo destes autores, foi utilizado um aparato para verificar a força de preensão dos sujeitos. Pequenas bolas foram soltas dentro de um copo alvo e a força de preensão e a carga (força atuando na vertical) foram mensuradas. As bolas foram soltas pelos próprios sujeitos ou de forma inesperada pelo experimentador. Quando as bolas eram soltas pelos sujeitos, ou seja, condição previsível, ações preparatórias ocorriam antes do aumento na carga vertical causada pelo impacto da bola no aparato. Estas ações apareciam 150ms anterior ao impacto e envolviam um aumento na GF no aparato. Durante as mudanças de cargas ocorridas de forma inesperada (bolas soltas pelo experimentador), as respostas ocorriam de forma mais atrasada. Isto significa que quando a condição é imprevisível para o sujeito ocorre um atraso da GF em relação a LF, também sugerindo a necessidade de envolvimento do mecanismo de *feedback*.

Em tarefas nas quais a característica principal é o controle de força, alguns autores colocam que a utilização do mecanismo de *feedback* parece influenciar o desempenho. Se o controle de força isotônica é realizado via mecanismo de *feedback*, no controle de força isométrica a informação visual é especialmente importante. Isto porque a informação de receptores cutâneos e proprioceptivos é insuficiente para sustentar o controle de força em uma determinada meta, mesmo que seja por um curto período de tempo (MUGGE et al., 2013). Neste caso, é necessário o uso da informação visual para manter a relação meta da tarefa x desempenho. A necessidade de *feedback* visual para manter um nível de força isométrica o mais próximo possível de uma meta é evidente, visto que a resposta da força isométrica piora com 500ms após a retirada da visão (DAVIS, 2007). Na ausência de *feedback* visual a produção de força tende a distanciar-se da meta estabelecida e aumentar a variabilidade (TRACY, 2007). Além disso, aos 65% da força máxima existe um aumento da variabilidade da força isométrica (SHERWOOD; SCHMIDT, 1980), o que dificulta o controle e, conseqüentemente, a adaptação (CARVALHO, 2012).

Baweja et al. (2009) compararam a precisão e a variabilidade da força durante contrações isométricas em situações de diferentes níveis de força, com e sem *feedback* visual e diferentes ganhos visuais. Cada tentativa tinha a duração de 22 segundos e o *feedback* visual foi removido de 8 a 12 e 16 a 20 segundos. Os resultados mostraram que independente do ganho visual e do nível de força, os sujeitos exibiam menor erro com a condição de *feedback* visual.

Com relação ao uso de *feedback*, o mesmo é determinado por múltiplos fatores, tais como as fontes sensoriais empregadas, a quantidade de prática na execução da tarefa e o tempo de movimento disponível para a realização do movimento (TEIXEIRA, 2006). Estes são alguns dos elementos que interagem para definir a forma pela qual a informação é efetivamente utilizada no controle motor. Com relação ao tempo de movimento disponível, resultados de pesquisas têm indicado que o período de latência difere em função da via sensorial principal empregada. Os períodos de latência mais curtos têm sido observados para tempo de reação tátil -110ms (FLANDERS et al.,1986), enquanto os períodos mais longos são na ordem de 200ms, em tarefas de reação visual (CORDO; FLANDERS,1989). Para o tempo de reação auditiva tem sido observada um valor médio intermediário por

volta de 150ms (JONGSMA et al., 1987). Isto significa que tarefas com duração acima de 110ms já é suficiente para a atuação do *feedback* sensorial.

Os estudos verificam por meio de curvas cinemáticas, o uso de mecanismo de feedback quando o tempo para o pico de força é antecipado (Gordon; Ghez, 1987), mas não encontramos na literatura como avaliam as correções na própria execução. Isso levou à necessidade de adotar um critério como limiar para diferenciar o uso dos dois mecanismos de controle. Nesse sentido, foi feito um levantamento dos nossos resultados do estudo piloto dos vales em um conjunto de 5 tentativas na fase de pré-exposição e de 5 tentativas na fase de exposição para oito voluntários diferentes, totalizando 80 tentativas. A partir desta análise, pôde-se estabelecer que o critério de 2,5% como valor mínimo de um vale para ser considerado movimento corretivo é adequado (ANEXO A). Para exemplificar esta questão, abaixo, será apresentado um perfil de curva da derivada da força do voluntário 8. O círculo vermelho indica a correção na tarefa de força levando-se em consideração os 2,5% da força máxima.

Figura 2a: Voluntário 8. Exemplo da curva da derivada da força e número de correções em uma tentativa controle.

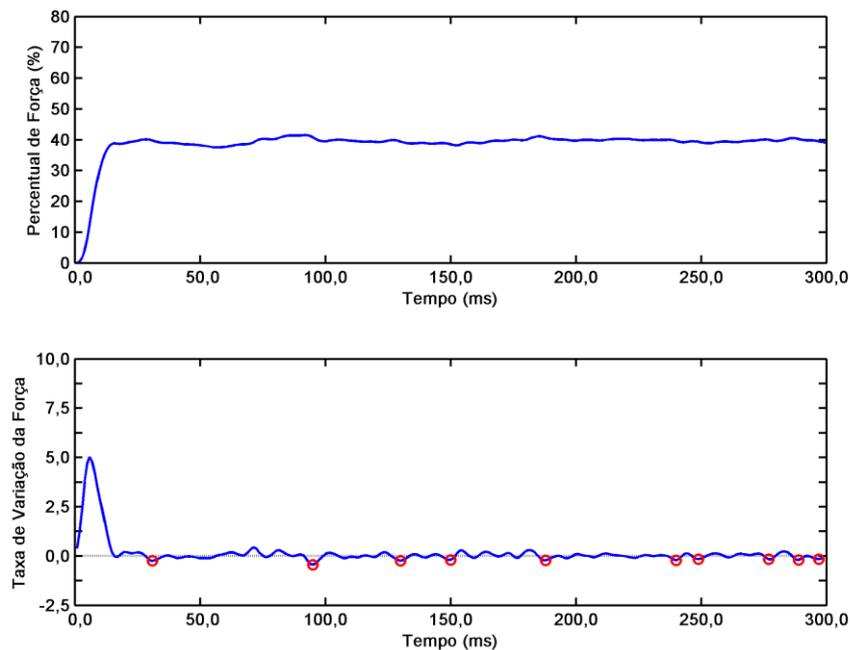
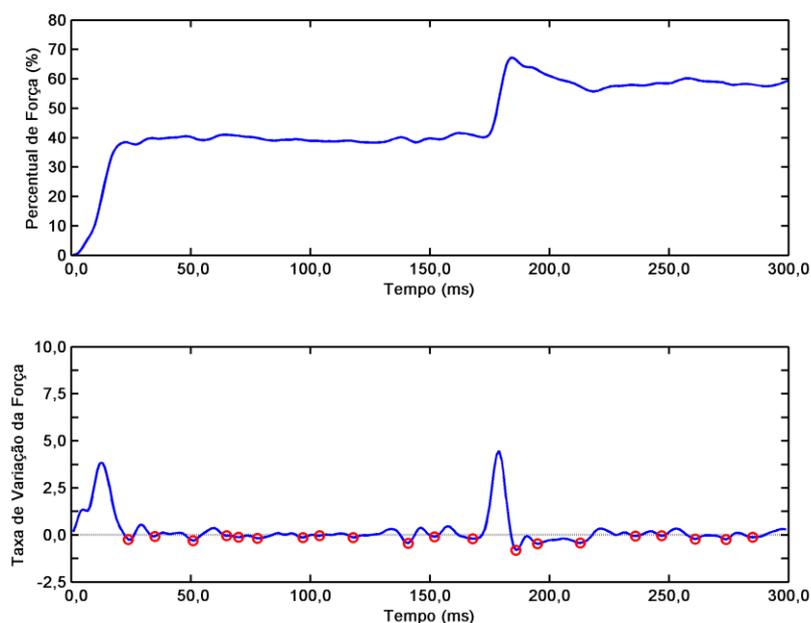


Figura 2b: Voluntário 8. Exemplo da curva da derivada da força e número de correção em uma tentativa com perturbação.



Nestas duas últimas sessões buscou-se apresentar a participação do mecanismo de controle de *feedforward* e de *feedback* em tarefas de interceptação e de controle de força em situações previsíveis e imprevisíveis para os sujeitos. No geral, os resultados mostram que o *feedforward* e o *feedback* atuam sobre parâmetros específicos às tarefas. Em tarefa de força isométrica, devido o tempo da tarefa, o controle do movimento é mais pronunciado mediante *feedback* sensorial, ou seja, predominantemente via *feedback*. A tarefa de interceptação, por sua vez, também tem controle via *feedback*, mas parece ter um controle predominante via *feedforward*. A relação entre os mecanismos de controle e a adaptação pode ser diferente conforme os parâmetros da tarefa, por exemplo, tornando um mais influente sobre o resultado final do que o outro. Além disso, as tarefas apresentam exigências distintas e também as suas especificidades em relação ao tempo para o pico e para as correções *on line*. Por exemplo, na tarefa de controle de força o tempo para o pico de força pode demorar mais porque elas parecem acontecer predominantemente por controle via *feedback*; já na tarefa de interceptação, o controle acontece predominantemente via *feedforward* com o pico de velocidade acontecendo no final do movimento. Para se adaptar às novas demandas seria necessário atingir o pico de velocidade mais rapidamente que permitiria sobrar tempo para as mudanças necessárias no final do movimento. Entretanto, a relação

destes dois mecanismos com os diferentes níveis de estabilização do desempenho ainda não foram investigadas. Ao adotar estas duas tarefas, interceptação e controle de força, é possível identificar, apesar das especificidades, a utilização destes dois mecanismos de controle necessários para investigar a questão supracitada. A integração dos mecanismos de *feedback* e *feedforward* no controle das ações é importante porque garante a flexibilidade para fazer frente às mudanças ambientais (ABBS; GRACCO; COLE, 1984).

Além disso, a utilização de tarefas distintas daquelas utilizadas tradicionalmente nos estudos de processo adaptativo (sequencial) é importante por que uma teoria é mais forte quanto mais resistir à refutação (POPPER, 2011), e uma forma de testar a teoria é testá-la com diferentes tarefas. Ou seja, se os resultados se replicarem com tarefas que possuem características distintas daquelas utilizadas no delineamento clássico de processo adaptativo, maior o poder de generalização dos mesmos. Os estudos de processo adaptativo encontram suporte em tarefas seriadas, nos quais os componentes são muito bem definidos e possuem a principal medida de controle do movimento o tempo relativo. Para este estudo foram pensadas na utilização de uma tarefa discreta e outra contínua e com controle tipicamente *feedforward* e *feedback* respectivamente, e serão utilizadas ferramentas de desempenho similares para ambas (variáveis dependentes). Com o objetivo de poder ter alguma analogia nas duas tarefas é preciso que sejam tarefas que propiciem medidas que tenham paridade, tais como tempo para pico de velocidade e tempo para pico de força e posteriormente serão feitas as relações destas medidas com o modelo teórico adotado no presente estudo.

2.5 Problema de investigação

A compreensão da aprendizagem de habilidades motoras como um sistema adaptativo complexo tem estado dentre os desafios da área de Aprendizagem Motora nas últimas décadas (TANI et al., 2010). O principal motivo é que os seres humanos passaram a ser entendidos como sistemas abertos que interagem com o ambiente, o que requer adaptações às perturbações (VON BERTALANFFY, 1950).

As perturbações podem ser entendidas como a ocorrência de mudanças no contexto de execução de uma determinada tarefa, o que causa piora no desempenho (PIPEREIT; BOCK; VERCHER, 2006) ou ainda que exige mudanças

na execução para manter o desempenho (UGRINOWITSCH; CORRÊA; TANI, 2005). Quando é analisada a aquisição de habilidades motoras, a superação da perturbação depende da aprendizagem prévia (TANI, 2005), e assim o modelo de processo adaptativo tem a primeira fase de aprendizagem e a segunda de adaptação do que foi aprendido. As pesquisas clássicas sobre processo adaptativo investigam a adaptação nesta perspectiva, e para isso trazem a perturbação de forma previsível e constante para os sujeitos, ou seja, já é possível planejar a mudança no plano de ação aprendido antes de iniciar o movimento (HEATH et al., 1998). Quando não há esta informação prévia à execução da tarefa, a perturbação é classificada como imprevisível (RITCHER et al., 2004; MARINOVIC; PLOOY; TRESILIAN, 2010). Brenner; Smeets (2011) investigaram o efeito da previsibilidade e da imprevisibilidade da perturbação em uma tarefa de interceptação. Os resultados mostraram que a adaptação é mais rápida quando a perturbação é previsível. Richter et al. (2004) também encontraram menor dificuldade de adaptação em relação as perturbações previsíveis quando comparadas as imprevisíveis.

O modelo de processo adaptativo tem investigado duas principais questões acerca de suas proposições: quando e quanto perturbar. Esta questão foi investigada por Ugrinowitsch e Tani (2005), e Ugrinowitsch et al. (2011; 2014) com uma tarefa complexa de timing coincidente. Estes estudos investigaram o quando perturbar manipulando níveis distintos de estabilização do desempenho. No geral os estudos mostram que a adaptação acontece mais facilmente quando a superestabilização do desempenho é atingida. Além disso, em relação a quanto perturbar, a manipulação da demanda perceptiva da tarefa parece ser mais fácil para a adaptação (UGRINOWITSCH et al., 2014) do que a demanda perceptivo-motora (UGRINOWITSCH et al., 2011) quando a perturbação é manipulada de forma previsível.

Contudo, duas questões ainda não foram abordadas. A primeira refere-se à investigação de quando perturbar com a manipulação de perturbações imprevisíveis e a segunda refere-se à utilização de tarefas que forneçam informações sobre os mecanismos de controle utilizados e, conseqüentemente, como estes mecanismos modificam no controle da ação em função de quando é inserida a perturbação ao longo do processo de aprendizagem. A questão do quando perturbar manipulando perturbações imprevisíveis foi testada por Fonseca et al. (2012) com uma tarefa de timing coincidente, e os resultados não se replicaram, mas o grupo que atingiu a

superestabilização teve melhor desempenho frente à perturbação e retornou o desempenho mais rapidamente assim que a perturbação foi retirada.

Uma característica destes estudos é que todos utilizaram a tarefa de timing coincidente, que tem limitações para explicar como acontece o controle dos movimentos via mecanismo de *feedforward* e de *feedback*, e também como os mesmos mecanismos se modificam quando é necessário adaptar à perturbações imprevisíveis. Este estudo se propôs a investigar a questão do quando e quanto perturbar. Para a investigação do quando serão mantidos dois níveis experimentais de estabilidade do desempenho. Para a investigação do quanto serão utilizadas duas tarefas distintas. Contudo, as tarefas propostas de interceptação a alvo móvel e de controle de força isométrica, permitirão avançar no entendimento dos mecanismos de controle, pois ambas permitem identificar claramente o controle via dois mecanismos: *feedforward* e *feedback*. Dar continuidade no entendimento deste fenômeno e verificar a robustez ou a generalidade do processo adaptativo na aprendizagem motora em tarefas de controle de força e de interceptação mediante perturbações imprevisíveis se tornam temas relevantes. O experimento 1 testará a tarefa de controle de força e o experimento 2 testará a tarefa de interceptação.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Investigar os efeitos de níveis de estabilização do desempenho na adaptação motora às perturbações imprevisíveis em tarefas com características de controle distintas.

3.2 Objetivos específicos

- a) Verificar o efeito do nível de estabilização do desempenho nas medidas de desempenho e dos mecanismos de controle em uma tarefa de controle de força e uma de interceptação;
- b) Verificar o efeito do nível de estabilização do desempenho nas medidas de desempenho e dos mecanismos de controle na adaptação às

perturbações imprevisíveis em uma tarefa de controle de força e uma de interceptação.

4 HIPÓTESES

Experimento 1

Hipótese 1: Na fase de pré exposição, o desempenho dos grupos estabilização e superestabilização será semelhante no que se refere a precisão do desempenho mas será diferente no se que se refere a variabilidade do desempenho e o mecanismo de controle predominante será o *feedback*;

Hipótese 2: Na fase de exposição, o grupo com maior nível de estabilização do desempenho se adaptará melhor (menor erro) mediante as perturbações;

Hipótese 3: O mecanismo de controle utilizado pelos grupos para se adaptar será o *feedback*.

Experimento 2

Hipótese 1: o desempenho dos grupos estabilização e superestabilização será semelhante no que se refere a precisão do desempenho mas será diferente no se que se refere a variabilidade do desempenho e o mecanismo de controle predominante será o *feedforward*;

Hipótese 2: Na fase de exposição, o grupo com maior nível de estabilização do desempenho se adaptará melhor (menor erro) mediante as perturbações;

Hipótese 3: O mecanismo de controle utilizado pelos grupos para se adaptar será o *feedback*

5- EXPERIMENTO 1

5.1 Método

5.1.1 Amostra

A amostra do experimento 1 foi constituída por 29 adultos jovens do sexo masculino, de 19 a 33 anos ($M = 24,2$; $DP = 3,4$ anos). Nenhum voluntário relatou qualquer tipo de lesão ou comprometimento que os impedisse de realizar o experimento e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Para confirmar a preferência manual para o lado direito (sujeitos destros), foi aplicado o Inventário de Dominância Lateral de Edimburgo (Oldfield, 1971), constituído por 10 questões sobre preferência lateral na realização de 10 tarefas motoras do cotidiano. A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Minas Gerais, com número 270.382.

5.1.2 Instrumento e tarefa

O instrumento utilizado foi composto por uma célula de carga de tração e compressão (modelo CSA/ZL-200) fixada a uma placa de ferro e ligada a um condicionador e um conversor de sinal analógico-digital A/D, com faixa de entrada de -5 a +5 Volts conectada a um computador com software *Labview* utilizado para a construção de um programa para aquisição e armazenamento dos dados. A placa de ferro em formato de "L" foi parafusada em uma parede para prender a célula de tração e compressão e para apoiar o braço direito do voluntário. Nessa superfície havia um aparador, cuja função seria restringir a extensão do cotovelo do voluntário. A tarefa requeria manter a força isométrica, com a meta de controlar 40% da força máxima dos músculos flexores do cotovelo em todas as tentativas. Em todas as tentativas a tração contra a célula de carga foi de três segundos. A célula de carga estava conectada a uma alça de *nylon* com velcro, que era fixada na palma da mão, permitindo o movimento de tração (Figura 3).

Figura 3 – Layout da sala de coleta de dados com célula de carga de tração e compressão, amplificador de dados, conversor analógico digital e computador para aquisição dos dados.



5.1.3 Procedimento e delineamento

A coleta de dados foi realizada no laboratório de biodinâmica do movimento do curso de Educação Física da Universidade Federal de Uberlândia. O experimentador recebeu o voluntário, que preencheu uma ficha com seus dados pessoais e em seguida, recebeu informação acerca da tarefa. Antes de iniciar o experimento foi feita a padronização da posição do corpo, com regulagem da altura da cadeira, de forma que o voluntário ficasse sentado, de frente para a célula de carga, o braço apoiado na placa de ferro e o cotovelo e o ombro em flexão de 90°, conferidos com um goniômetro. Depois de acertada a padronização, o tronco, os ombros e as pernas dos voluntários foram envoltos por cintas para estabilização da posição e restrição dos movimentos compensatórios. Por último, o antebraço esquerdo foi padronizado como apoiado na coxa esquerda. Para determinar a força a ser utilizada durante o experimento foi determinada a força máxima isométrica dos músculos flexores do cotovelo direito de cada voluntário pela flexão com força

máxima contra a célula de carga em três tentativas. Cada tentativa teve a duração de cinco segundos com cinco minutos de intervalo entre elas e o maior valor mensurado nessas três tentativas foi considerado a força máxima do indivíduo.

Após a determinação da força máxima (5 minutos de intervalo) os sujeitos foram distribuídos aleatoriamente em dois grupos para manipular a estabilização do desempenho, sendo denominados como grupo estabilização (GE) e grupo superestabilização (GSE), que serviram para manipular a variável independente na primeira fase do experimento, relativa à quando perturbar. O experimento constou de duas fases: pré-exposição e exposição. Durante a fase de pré-exposição, os grupos estabilização (GE) e superestabilização (GSE) praticaram a tarefa de flexão isométrica de cotovelo no equipamento e foram diferenciados com relação ao nível de estabilização do desempenho. O GE deveria praticar até realizar cinco tentativas consecutivas com duração de três segundos a 40% da força máxima, com um erro (RMSE) menor ou igual a 5%; o GSE deveria praticar até atingir o mesmo critério em seis blocos de cinco tentativas definidos em estudo piloto. Após cada tentativa o voluntário recebeu conhecimento de resultado (CR) relacionado ao seu desempenho através de uma caixa de texto com o valor de seu desempenho.

Na fase de exposição, conduzida no dia subsequente à pré-exposição, os sujeitos realizaram a mesma tarefa com a mesma duração (três segundos). Entretanto, em algumas tentativas foram inseridas perturbações imprevisíveis. Essas tentativas com perturbações foram caracterizadas por terem uma porcentagem da força máxima a ser alcançada diferente daquela utilizada na primeira fase. Sobre a magnitude da perturbação inserida, havia tentativas nas quais a meta aumentou para 60% da força máxima (PI) e tentativas nas quais a meta diminuiu para 20% da força máxima (PII). Essas tentativas experimentais foram intercaladas com as tentativas controle (40%), e foram inseridas de forma pseudoaleatória. Nessa fase, a linha de referência do gráfico força x tempo, indicando o percentual a ser alcançado, não estava mais apresentada inteira e de forma fixa durante os três segundos, mas se deslocava ao longo do eixo x durante cada tentativa. Este deslocamento era coincidente com o tempo de execução da tarefa. Nas tentativas controle, essa linha se movia apenas no nível de 40%. Já nas tentativas experimentais, a linha referência iniciava se movendo no nível de 40% durante a primeira metade da tentativa que representava um segundo e meio. Na segunda metade da tentativa, essa linha se deslocava ou para o percentual 60, ou para o percentual 20, conforme a magnitude

de perturbação que deveria ser inserida. Esse procedimento garantiu a imprevisibilidade das perturbações.

Figura 4- Meta dos 40%

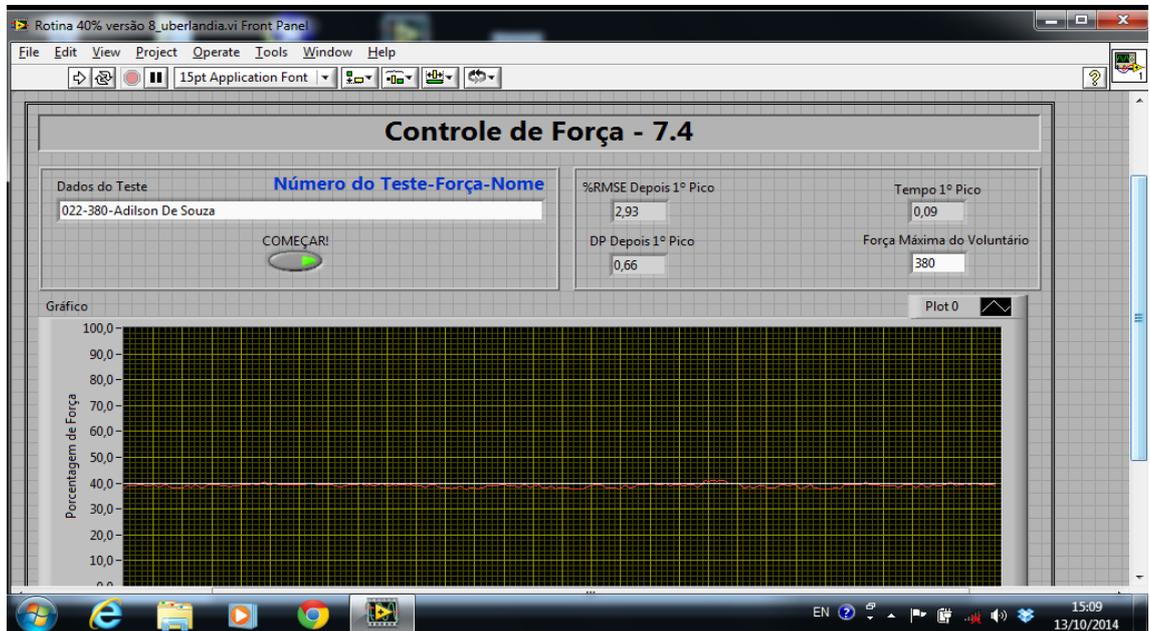


Figura 5- Modificação da meta de 40% para 60%

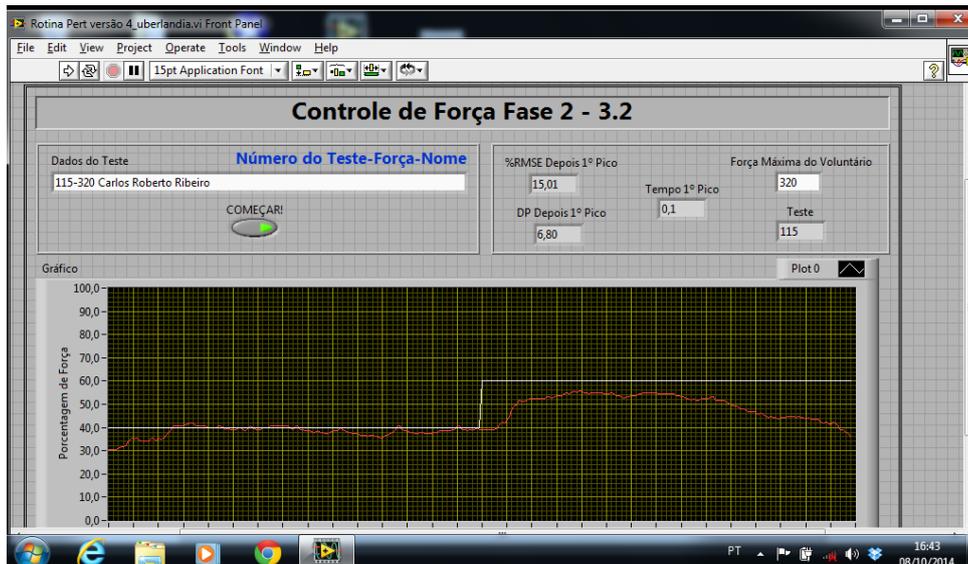
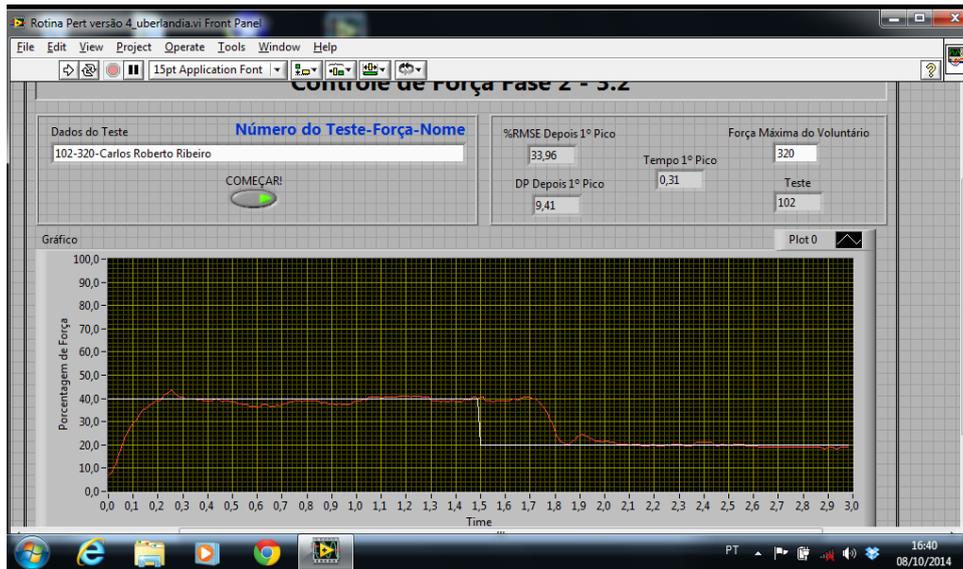


Figura 6- Modificação da meta de 40% para 20%



Foram realizadas nove tentativas para cada magnitude de perturbação intercaladas com as tentativas controle, totalizando cento e vinte e seis tentativas na segunda fase do experimento (Quadro 1), com a restrição de existir no mínimo três tentativas controle entre as tentativas experimentais. A relação do número de tentativas com perturbação e controle utilizada no presente trabalho foi baseada no delineamento de Gomes (2014).

No intuito de minimizar variações decorrentes de fadiga, os voluntários tiveram três pausas de três minutos cada, sendo a primeira na 30ª tentativa, a segunda na 60ª e a terceira na 90ª. Devido à tarefa ter uma maior demanda com relação a aspectos motores, optou-se em realizar a segunda fase do experimento no dia seguinte para evitar possíveis fadigas ou cansaços e que pudessem interferir no experimento. Esta informação relacionada ao cansaço foi confirmada pelos voluntários ao final do primeiro dia da coleta em estudo piloto.

Quadro 1 - Tentativas controle e com perturbação (GOMES, 2014)

1	CT	22	CT	43	CT	64	CT	85	CT	106	CT
2	CT	23	CT	44	CT	65	CT	86	CT	107	CT
3	CT	24	CT	45	CT	66	CT	87	CT	108	CT
4	P1	25	CT	46	CT	67	CT	88	CT	109	CT
5	CT	26	CT	47	CT	68	CT	89	P2 7	110	P1
6	CT	27	CT	48	CT	69	CT	90	CT	111	CT
7	CT	28	P1	49	CT	70	CT	91	CT	112	CT
8	CT	29	CT	50	CT	71	CT	92	CT	113	CT
9	CT	30	CT	51	CT	72	CT	93	CT	114	CT
10	P1	31	CT	52	CT	73	P2 5	94	P1 7	115	P1
11	CT	32	CT	53	P1 5	74	CT	95	CT	116	CT
12	CT	33	P2	54	CT	75	CT	96	CT	117	CT
13	CT	34	CT	55	CT	76	CT	97	CT	118	CT
14	P2	35	CT	56	CT	77	P2 6	98	CT	119	CT
15	CT	36	CT	57	CT	78	CT	99	CT	120	CT
16	CT	37	CT	58	CT	79	CT	100	CT	121	CT
17	CT	38	CT	59	CT	80	CT	101	CT	122	CT
18	CT	39	CT	60	CT	81	CT	102	P2 8	123	P2
19	CT	40	CT	61	CT	82	CT	103	CT	124	CT
20	P2	41	CT	62	P2 4	83	CT	104	CT	125	CT
21	CT	42	P1 4	63	CT	84	P1 6	105	CT	126	CT

Em síntese, este estudo possui um delineamento que uniu o utilizado em processo adaptativo em aprendizagem motora e em controle motor. Na primeira fase do experimento foi manipulado o quando perturbar. Esta é uma questão chave no estudo do processo adaptativo em aprendizagem motora (TANI, 1995; 2005; BENDA et al., 2001; UGRINOWITSCH et al., 2014), pois caso os dois grupos com níveis diferentes de estabilização do desempenho mostrem comportamento distinto frente à perturbações, será um indicativo que a aprendizagem não finaliza com a estabilização do desempenho. Consequentemente, esta primeira fase é característica da área de Aprendizagem Motora.

Já na segunda fase do experimento será utilizado um delineamento da área de Controle Motor, com tentativas experimentais (perturbações) intercaladas com tentativas controle. Este delineamento permitirá, além de testar os efeitos do nível de estabilização com perturbações imprevisíveis, identificar as mudanças no controle resultantes dos dois níveis de estabilização manipulados na fase anterior. Em resumo, na primeira fase de aprendizagem foi manipulada a variável independente nível de estabilização e na segunda fase de controle foi manipulada a perturbação.

5.1.4 Variáveis dependentes

a) Medida de desempenho:

- RMSE (raiz quadrada do erro médio). A RMSE representa a diferença de força máxima entre a trajetória executada e a meta, ponto a ponto. Esta medida indica a precisão do desempenho.
- Desvio padrão do erro.
- Erro no pico de força. Esta medida indica o erro no primeiro pico de força após a inserção de perturbação no instante de 1500ms. Ela representa a diferença do pico da força e a meta.
- Número de tentativas necessárias na fase de pré-exposição para alcançar o desempenho critério. Esta medida indica se os grupos realmente tiveram diferente quantidade de prática em função da medida do nível de estabilização adotada

b) Medidas cinemáticas:

- Tempo para o pico de força (T_{pf}): tempo gasto entre o início do movimento e o alcance do pico de força em milissegundos. Esta medida indica o controle predominante via pré-programação.
- Tempo para o pico de força (T_{pf}) no instante de 1500ms: tempo gasto para reajustar o movimento no momento de inserção de perturbação e alcançar o pico de força em milissegundos. Esta medida indica o controle predominante via pré-programação, e neste delineamento é uma medida de reprogramação.
- Número de correções: número de vezes que houver correções na curva da derivada da força. Esta medida indica o controle predominante via *feedback*.

Estas medidas foram divididas em medidas de desempenho e de macroestrutura da habilidade – aspectos invariantes (tempo para o pico de força)

5.1.5 Análise estatística

Inicialmente os dados foram analisados quanto à normalidade através do teste de Shapiro-Wilk. Após constatação da normalidade foram conduzidas as análises descritas a seguir:

Na fase de pré-exposição os dados foram analisados em blocos de cinco tentativas. Devido ao diferente número de tentativas entre os grupos, nesta fase foram analisados o primeiro e o último bloco de cinco tentativas através de uma ANOVA *two way* (2 grupos x 2 blocos).

Para comparação entre a quantidade de tentativas necessárias para o alcance do critério de desempenho por cada grupo na fase de pré-exposição foi conduzido um teste *t* de Student não pareado.

Na segunda fase, os dados foram organizados em blocos de três tentativas, sendo ainda agrupadas em tentativas pré-perturbação, tentativas de perturbação e tentativas pós-perturbação. Para analisar os resultados da fase de exposição, os dados foram organizados por perturbação em blocos de três tentativas, e comparadas por tentativas imediatamente anteriores à perturbação (Pré), tentativas com a perturbação (P) e tentativas imediatamente após a perturbação (Pós). Esta organização resultou em três blocos da perturbação I (Pré PI, PI e Pós PI) e três blocos da perturbação II (Pré PII, PII e Pós PII). Foram conduzidas ANOVAS *two way* (2 grupos x 3 blocos), comparando GE e GSE nos blocos Pré, P e Pós, separadamente para cada bloco de cada perturbação.

O teste de Tukey (*post hoc*) foi utilizado na comparação par a par, quando necessário. A significância adotado foi de $p \leq 0,05$.

6 RESULTADOS

6.1 Quantidade média de tentativas entre os grupos

A análise do número de tentativas para alcançar os critérios de desempenho previamente estabelecidos (GE -um bloco de cinco tentativas consecutivas corretas = $51 \pm 44,85$); GSE -seis blocos de cinco tentativas consecutivas corretas = $179,13 \pm 32,41$) durante a pré-exposição apontou diferença significativa entre os grupos $t = 3,29$, $p = 0,01$. O GSE precisou realizar mais tentativas nesta fase para alcançar o critério de desempenho quando comparado ao GE.

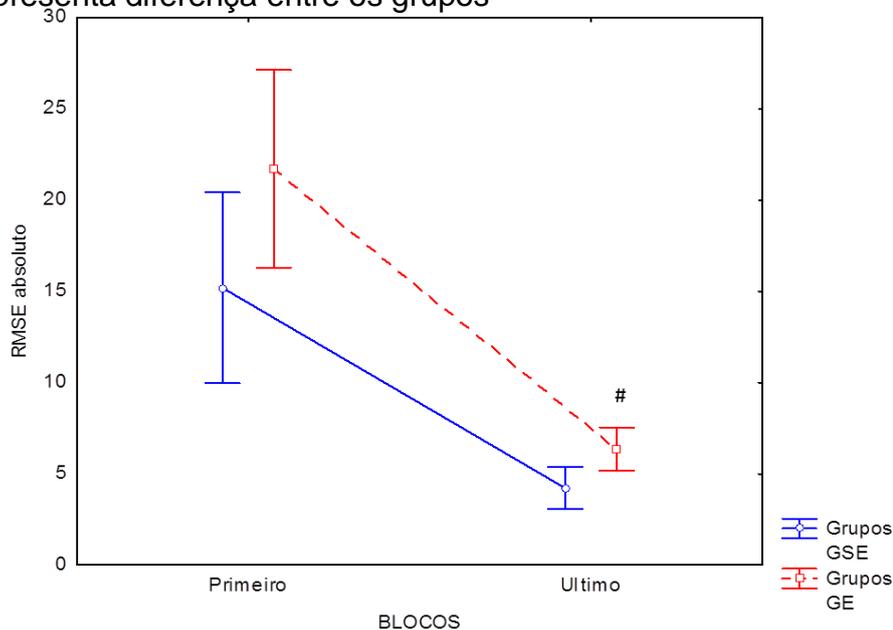
6.2 Comportamento dos grupos durante a fase de pré-exposição

a) Medida de erro (RMSE)

A análise da precisão do desempenho (RMSE absoluto) do primeiro e do último bloco da fase de pré-exposição (Gráfico 03) mostrou diferença significativa no fator blocos $F(1, 27)=57,424$, $p=,00$ indicando que a precisão de ambos os grupos aumentou do início para o final desta fase. O teste não apontou diferença significativa entre grupos $F(1, 27)=4,6612$, $p=,050$ e nem efeito significativo na interação grupos e blocos $F(1, 27)=1,5827$, $p=,21$.

Gráfico 03 - Média do RMSE absoluto do GSE e GE na fase de pré-exposição.

Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos

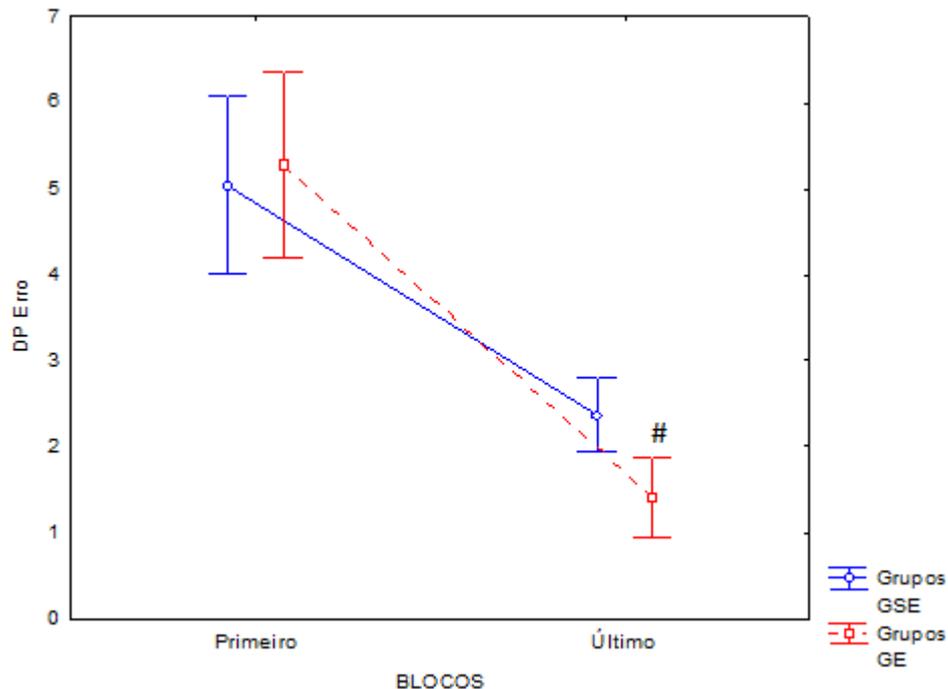


b) Desvio Padrão do erro

A análise da consistência do desempenho (DP do erro) do primeiro e do último bloco da fase de pré-exposição (Gráfico 04) mostrou diferença no fator blocos $F(1, 27)=70,873$, $p=,00$ e interação $F(1, 27)=2,3672$, $p=,04$. O post hoc mostrou que no final da fase ambos os grupos foram mais consistentes em relação ao início. Além disso, no último bloco o GSE apresentou maior variabilidade em relação ao GE. Não houve diferenças entre grupos $F(1, 27)=,81483$, $p=,37$.

Gráfico 04 - Média do DP do RMSE do GSE e GE na fase de pré-exposição.

Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos

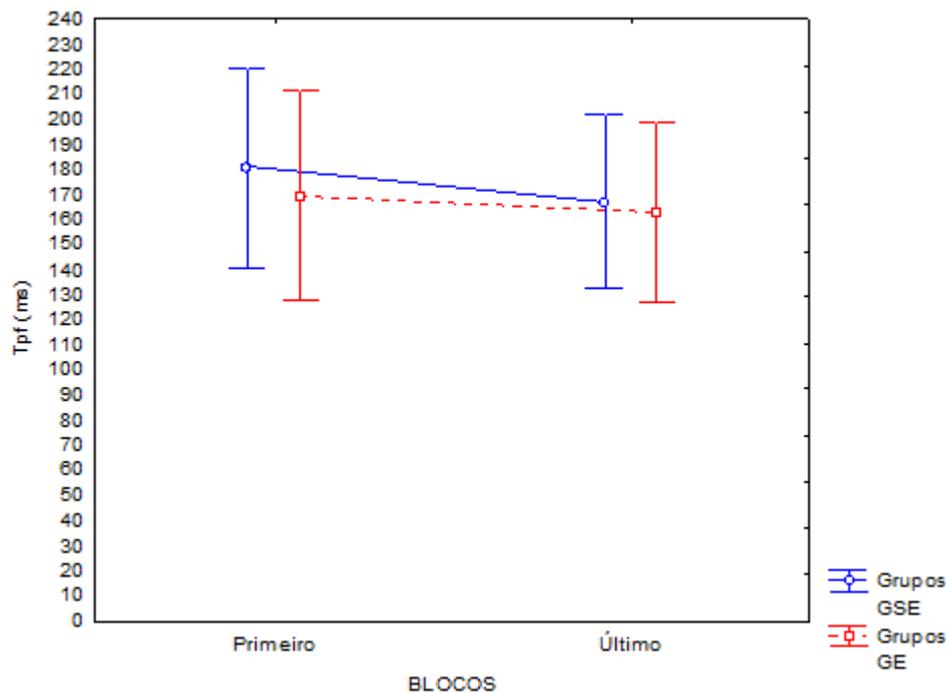


c) Tempo para pico de força (tPF em ms)

A análise do tempo para o pico de força (tPF) do primeiro e do último bloco da fase de pré-exposição (Gráfico 05) não mostrou diferença no fator blocos $F(1, 27)=3,1765$ $p=,08$, nem diferenças entre grupos $F(1, 27)=,09200$ $p=,76$ e nem efeito significativo na interação grupos e blocos $F(1, 27)=,34626$ $p=,56$.

Gráfico 05 - Média do tPF do GSE e GE na fase de pré-exposição.

Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



6.3 Comportamento dos grupos durante a fase de exposição

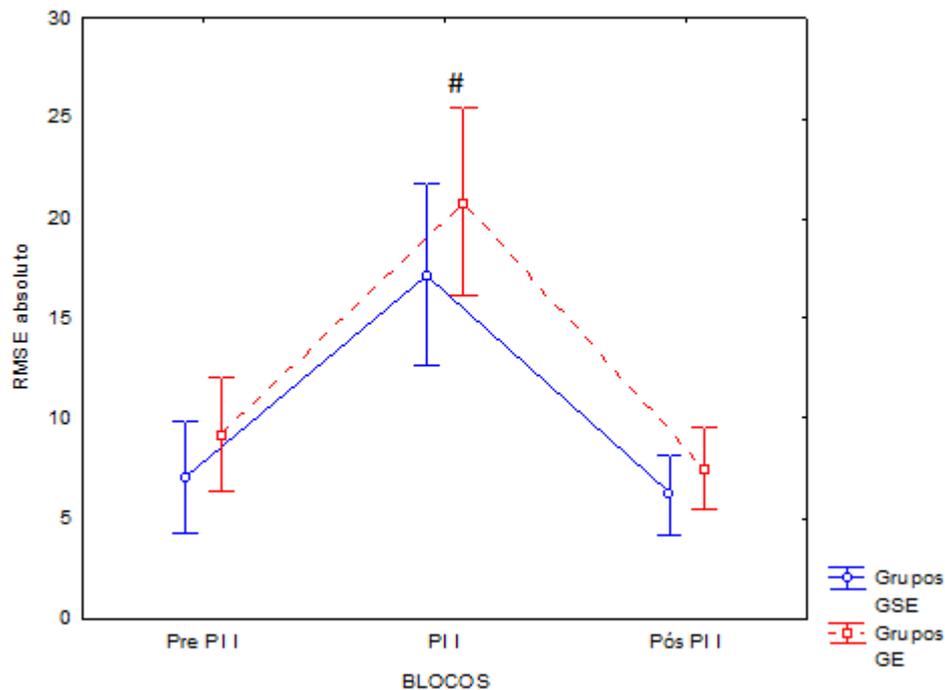
Para uma visão geral dos resultados, serão apresentadas as medidas de precisão, variabilidade de desempenho, número de correções, tempo para o pico de força no início da tentativa e após os 1500ms e erro neste pico do primeiro, segundo e terceiro bloco de perturbação. A análise das perturbações será apresentada separadamente para PI (60%) e PII (20%), comparadas em três blocos de três tentativas de Pré Perturbação (Pré), Perturbação (P) e Pós Perturbação (Pós).

a) Perturbação I (PI) 60%

A análise da precisão do desempenho (RMSE absoluto) (Gráfico 8) do primeiro bloco pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação indicou diferença apenas no fator blocos $F(2, 54)=103,43$, $p=0,00$. O post hoc detectou que quando foi inserida a perturbação o erro aumentou para ambos os grupos ($p<0,05$). Quando foi retirada a perturbação, o comportamento foi semelhante ao bloco pré perturbação. Não foi encontrada interação significativa $F(2, 54)=,82203$, $p=,44$ e nem diferença significativa entre os grupos $F(1, 27)=1,3548$, $p=,25$.

Gráfico 06 - Média do RMSE absoluto do GSE e GE.

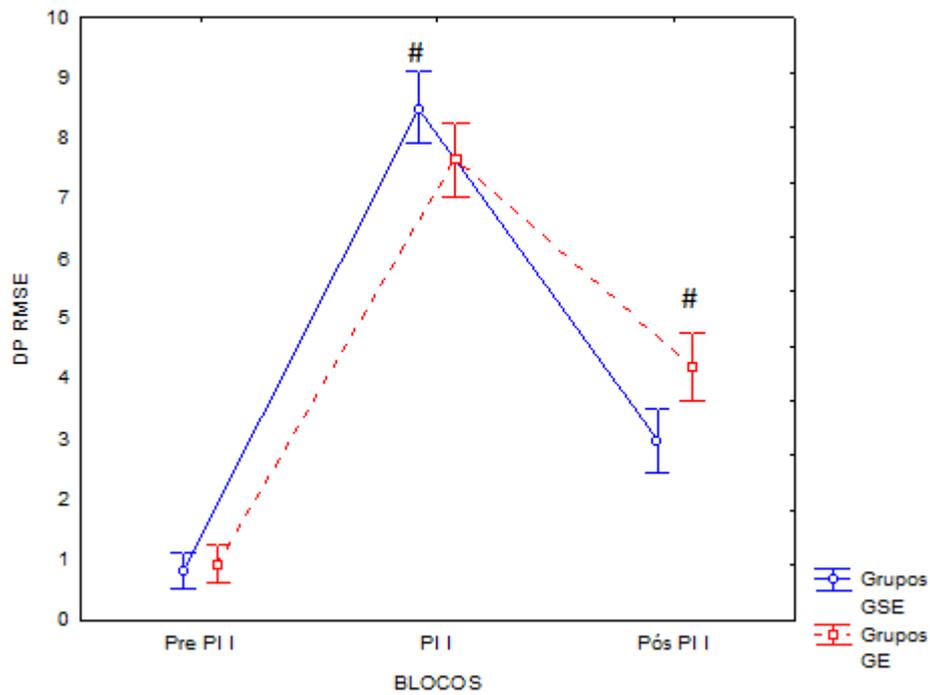
Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



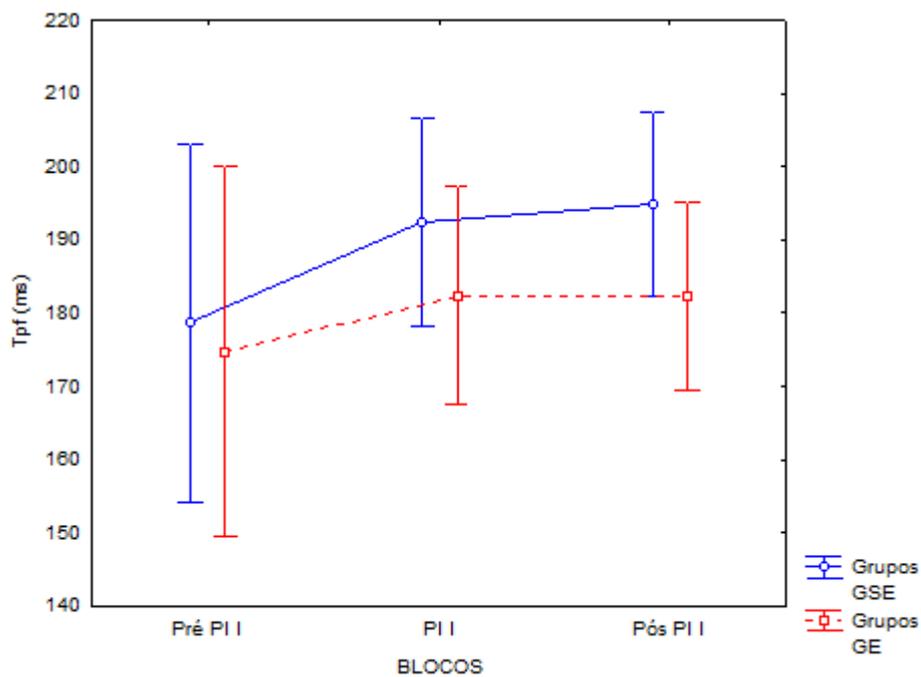
A análise da consistência do desempenho (Desvio padrão do RMSE) (Gráfico 07) do primeiro bloco pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação indicou diferença no fator blocos $F(2, 54)=441,43$, $p=0,00$ e interação $F(2, 54)=9,1133$, $p=,00$. A interação detectou que ambos os grupos diminuíram a consistência do desempenho no bloco de perturbação em relação ao pré-perturbação. Além disso, o GSE retoma o desempenho com maior consistência.

Gráfico 07 - Média do desvio padrão do RMSE do GSE e GE.

Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



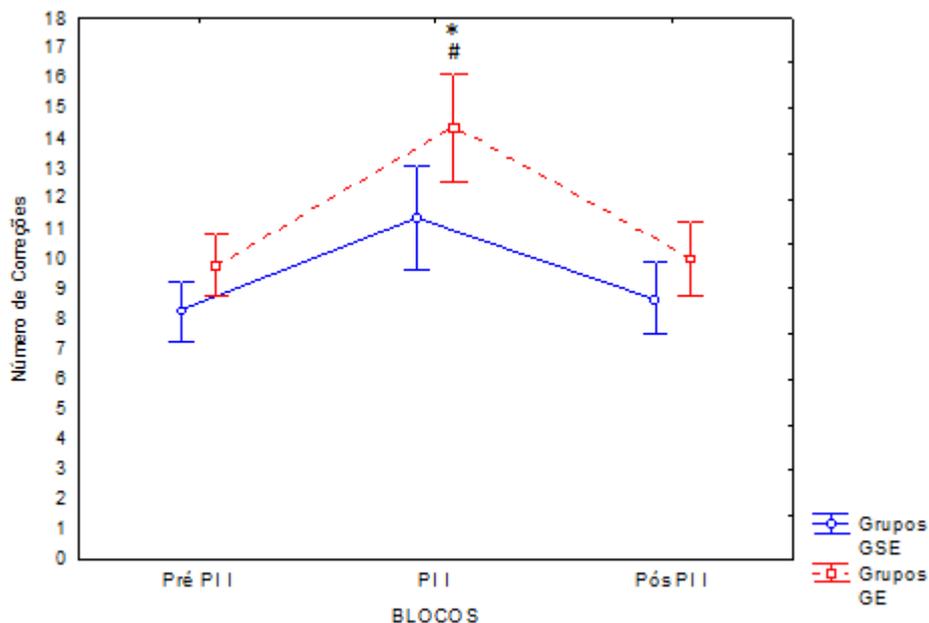
A análise do tempo para pico de força (Gráfico 08) do primeiro bloco de pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação não indicou diferença no fator grupos $F(1, 27)=1,0622$, $p=,31$, no fator blocos $F(2, 54)=1,3755$, $p=,26$ e nem interação significativa $F(2, 54)=,16087$, $p=,85$.



A análise do número de correções (Gráfico 08) do primeiro bloco de pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação indicou diferença no fator grupos $F(1, 27)=12,230$, $p=,00$, com o GSE apresentando menor número de correções que o GE. Também houve diferença significativa no fator blocos $F(2, 54)=20,731$, $p=,00$. O post hoc detectou que quando inserido perturbação o número de correções aumentou no bloco de perturbação em relação ao pré e ao pós. Não houve interação significativa.

Gráfico 08 - Média do número de correções do GSE e GE.

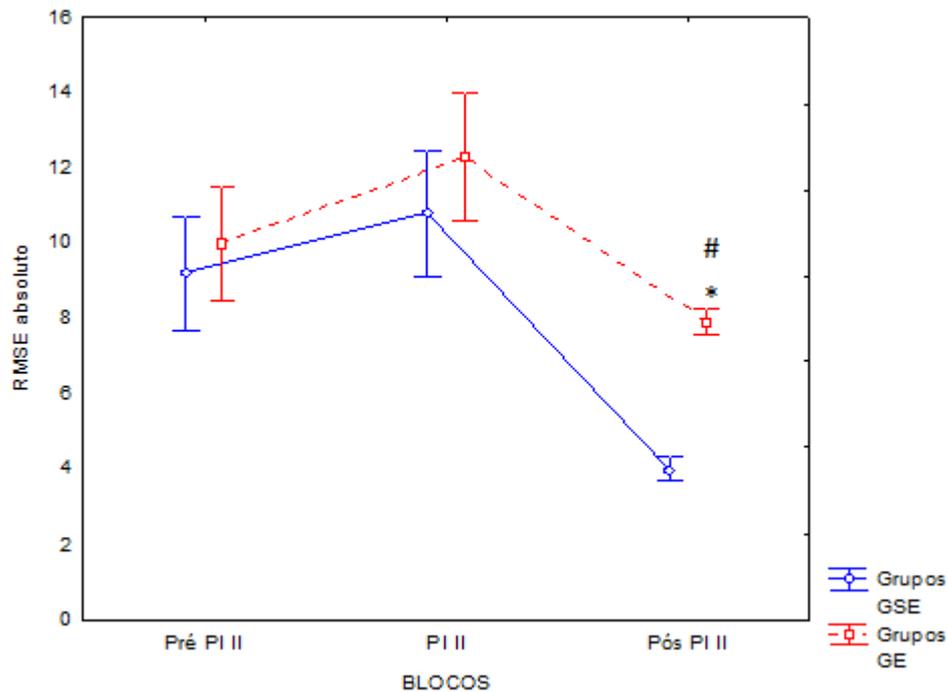
Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



A análise da precisão do desempenho (RMSE absoluto) (Gráfico 09) do segundo bloco pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação indicou diferença significativa no fator grupos $F(1, 27)=28,803$, $p=,00$, com o GSE apresentando maior precisão que o GE. Também foi encontrada diferença significativa entre os blocos $F(2, 54)=31,505$, $p=,00$. O post hoc detectou que quando foi retirada a perturbação o erro diminuiu em relação ao bloco pré e também em relação ao bloco perturbação ($p<0,05$). Não foi encontrada interação significativa $F(2, 54)=2,6901$, $p=,07$.

Gráfico 09 - Média do RMSE absoluto do GSE e GE.

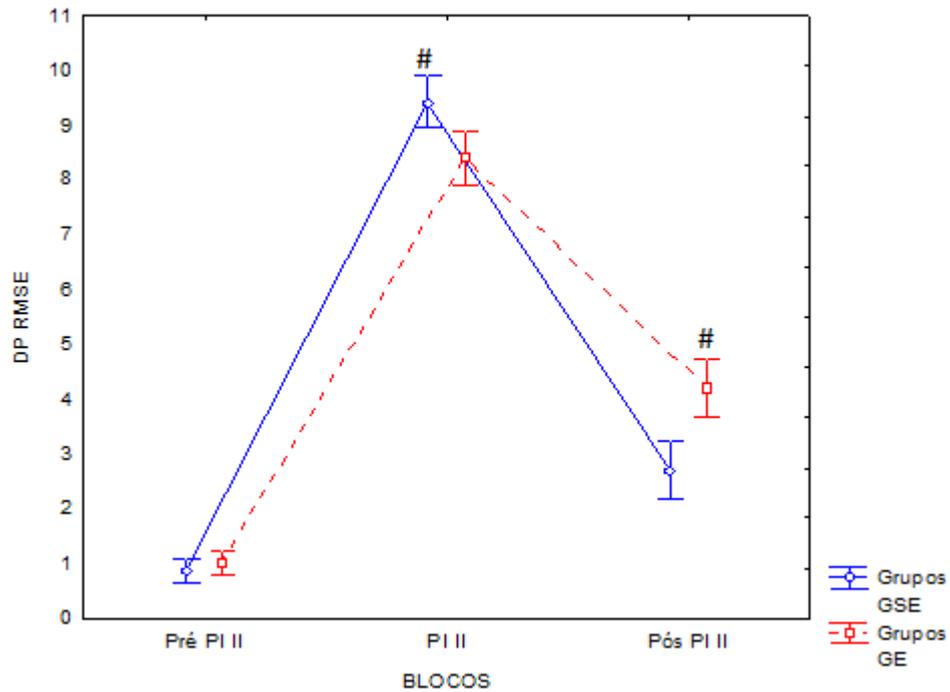
Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



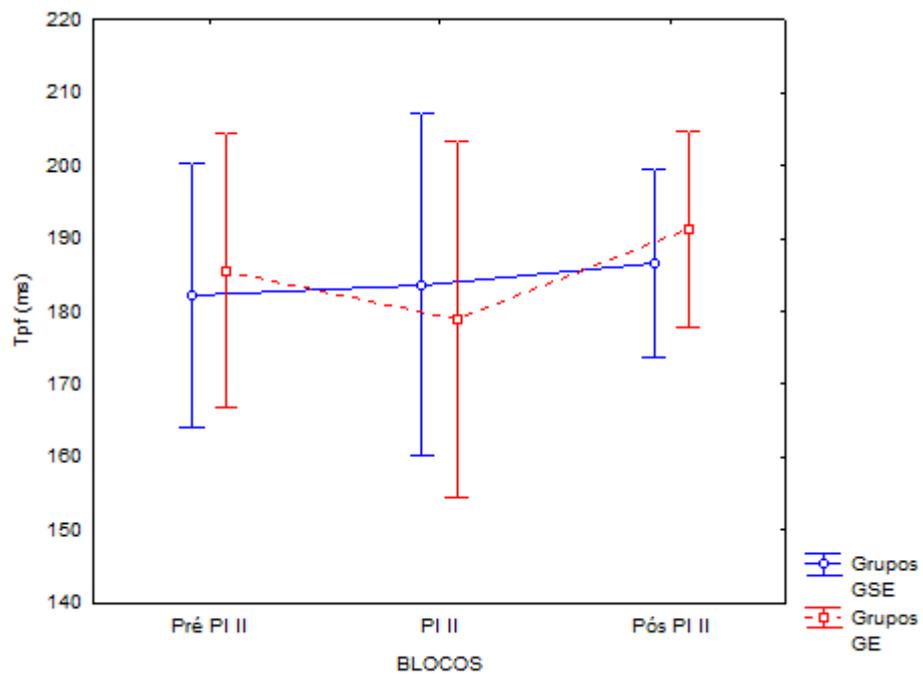
A análise da consistência do desempenho (Desvio padrão do RMSE) (Gráfico 10) do segundo bloco pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação indicou diferença significativa no fator blocos $F(2, 54)=891,46$, $p=0,00$ e também interação significativa $F(2, 54)=21,540$, $p=,00$. O post hoc da interação mostrou que ambos os grupos diminuíram a consistência do desempenho no bloco de perturbação em relação ao pré-perturbação ($p<0,05$). Além disso, no bloco pós perturbação o GE apresentou maior variabilidade em relação ao GSE ($p<0,05$).

Gráfico 10 - Média do desvio padrão do RMSE do GSE e GE.

Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



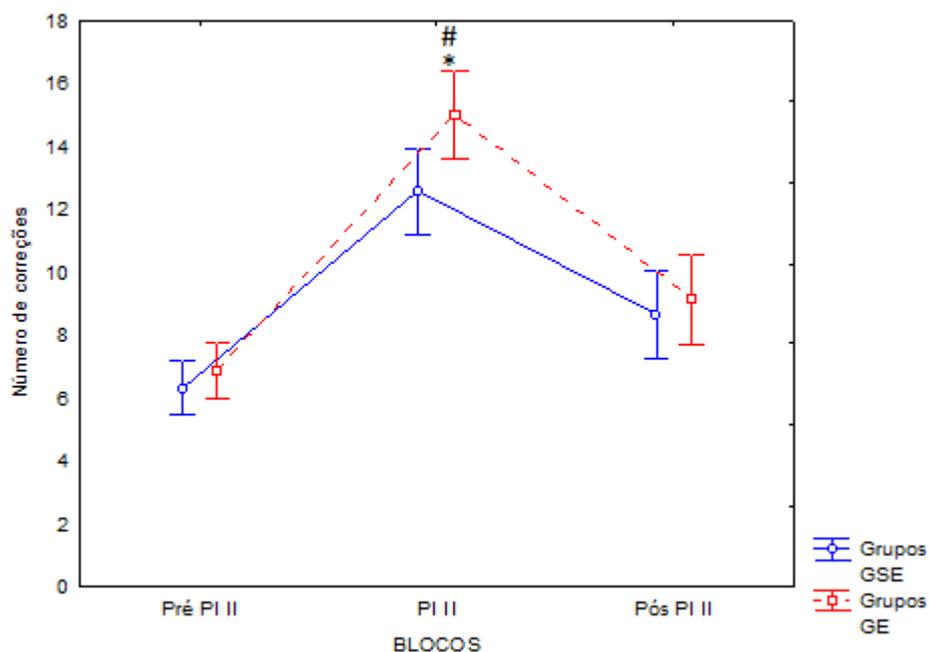
A análise do tempo para pico de força (Gráfico 11) do segundo bloco de pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação não indicou diferença no fator grupos $F(1, 27)=,01294$, $p=,91$, no fator blocos $F(2, 54)=,57683$, $p=,56$ e nem interação significativa $F(2, 54)=,24643$, $p=,78246$.



A análise do número de correções (Gráfico 11) do segundo bloco de pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação indicou diferença significativa no fator grupos $F(1, 27)=5,3439$, $p=,02$, com o GSE apresentando menor número de correções que o GE. Também houve diferença significativa no fator blocos $F(2, 54)=71,391$, $p=,00$. O post hoc detectou que quando inserida perturbação, houve maior número de correções no bloco de perturbação em relação ao pré e ao pós ($p<0,05$). Não houve interação significativa $F(2, 54)=1,6289$, $p=,20$.

Gráfico 11 - Média do número de correções do GSE e GE.

Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos

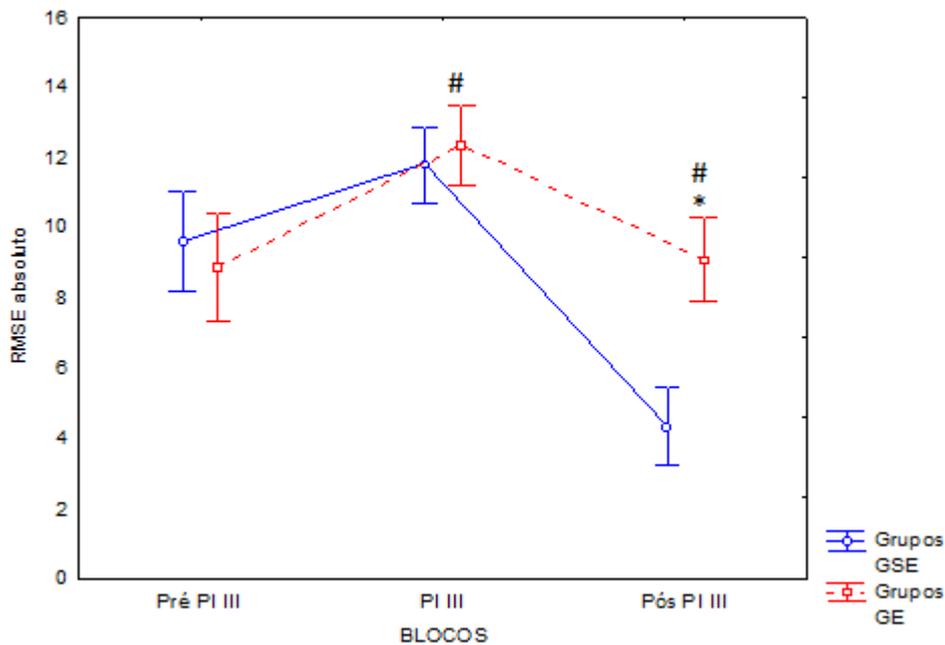


A análise da precisão do desempenho (RMSE absoluto) (Gráfico 12) do terceiro bloco pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação indicou diferença significativa no fator grupos $F(1, 26)=14,525$, $p=,00$, com o GSE apresentando maior precisão que o GE. Também houve diferença significativa no fator blocos $F(2, 52)=32,824$, $p=,00$ e interação significativa $F(2, 52)=9,4485$, $p=,00$. O post hoc da interação detectou que quando foi inserida perturbação apenas o GSE manteve a precisão em relação ao bloco Pré ($p>0,05$). Além disso, quando retirada a perturbação ambos os grupos retomaram o desempenho ($p>0,05$), porém, o GSE

apresentou menor erro em relação ao bloco pré ($p < 0,05$) e em relação ao GE no bloco pós ($p < 0,05$).

Gráfico 12 - Média do RMSE absoluto do GSE e GE.

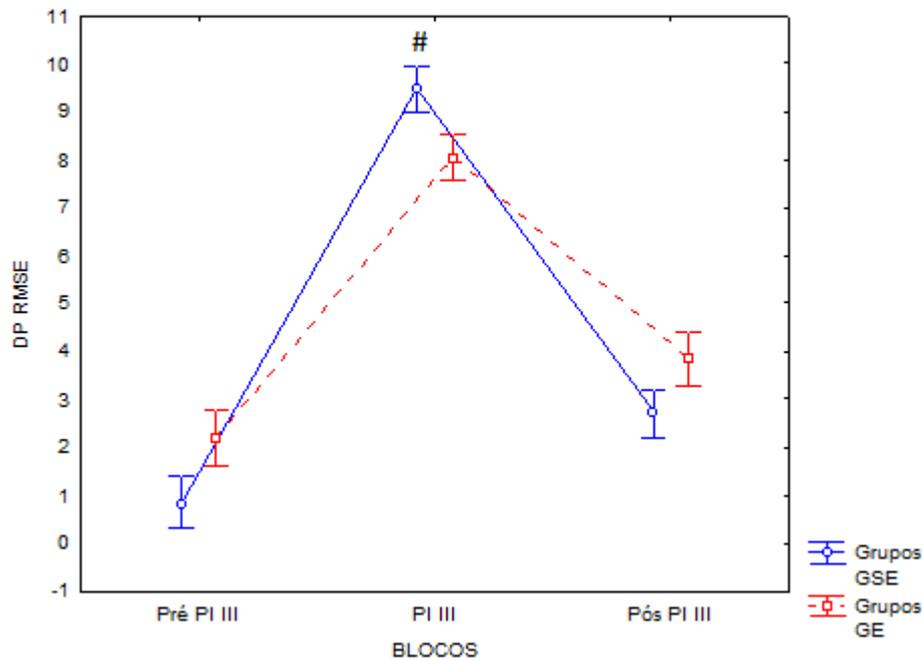
Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



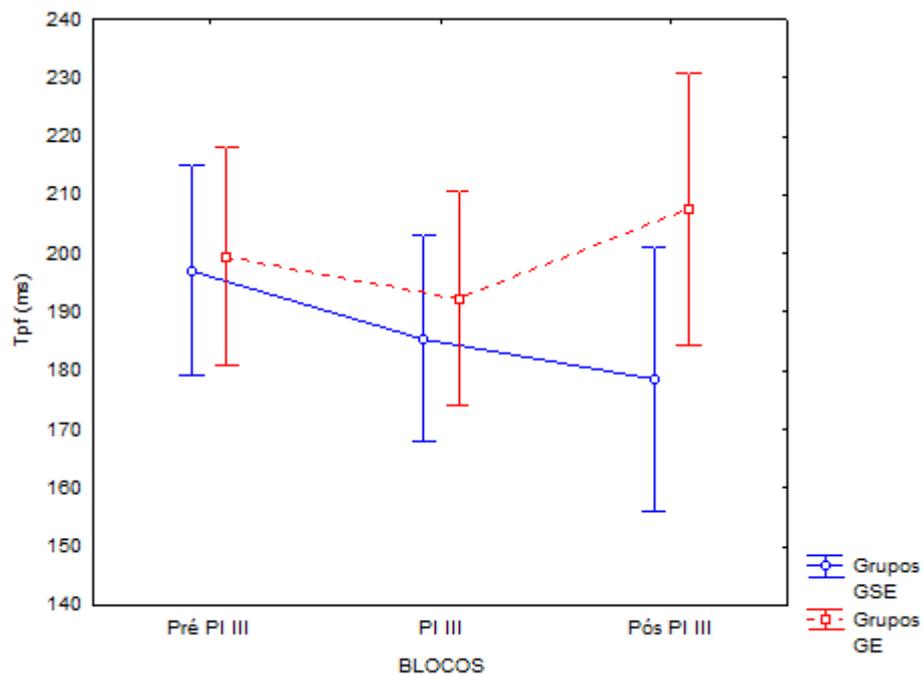
A análise da consistência do desempenho (Desvio padrão do RMSE) (Gráfico 13) do terceiro bloco pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação indicou diferença no fator blocos $F(2, 54)=22,717$, $p=,00$ e interação significativa $F(2, 54)=533,48$, $p=0,00$. A interação mostrou que ambos os grupos diminuíram a consistência do desempenho no bloco de perturbação em relação ao pré-perturbação. Além disso, no bloco de perturbação o GSE apresentou maior variabilidade que o GE.

Gráfico 13 - Média do desvio padrão do RMSE do GSE e GE.

Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



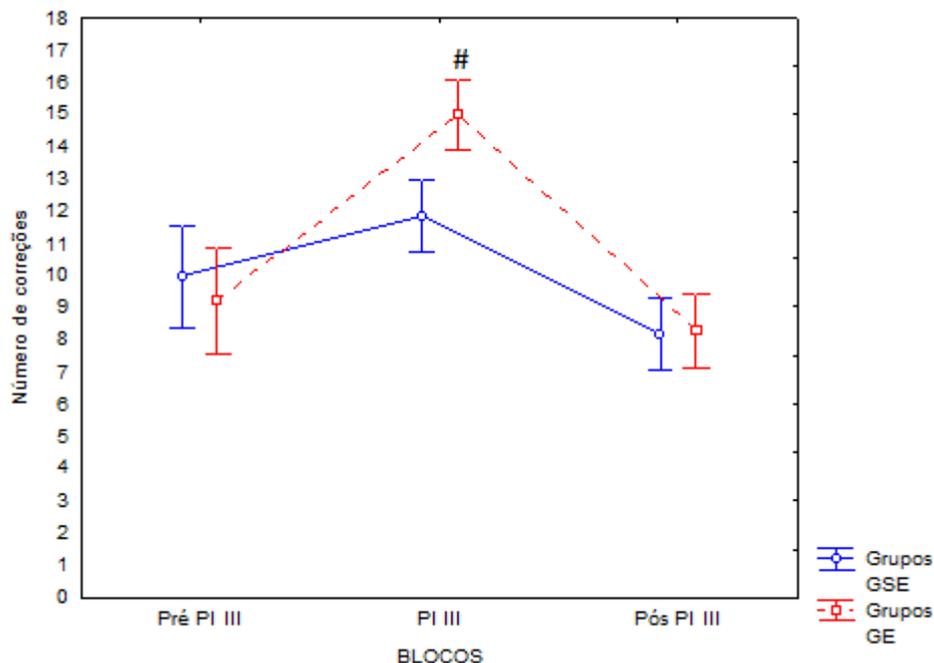
A análise do tempo para pico de força (Gráfico 13) do terceiro bloco de pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação não indicou diferença no fator grupos $F(1, 27)=,01294$, $p=,91$, no fator blocos $F(2, 54)=,57683$, $p=,56$ e nem interação significativa $F(2, 54)=,24643$, $p=,78246$.



A análise do número de correções (Gráfico 14) do terceiro bloco de pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação indicou diferença significativa no fator blocos $F(2, 54)=39,711$, $p=,00$ e interação significativa $F(2, 54)=5,6430$, $p=,00$. O post hoc da interação detectou que quando foi inserida perturbação, o GSE apresentou menor número de correção em relação ao GE ($p<0,05$). Além disso, O GE apresentou maior número de correção em relação ao bloco pré perturbação ($p<0,05$). Neste caso, o GE modifica o comportamento, mas não consegue atingir a meta da tarefa.

Gráfico 14 - Média do número de correções do GSE e GE.

Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos

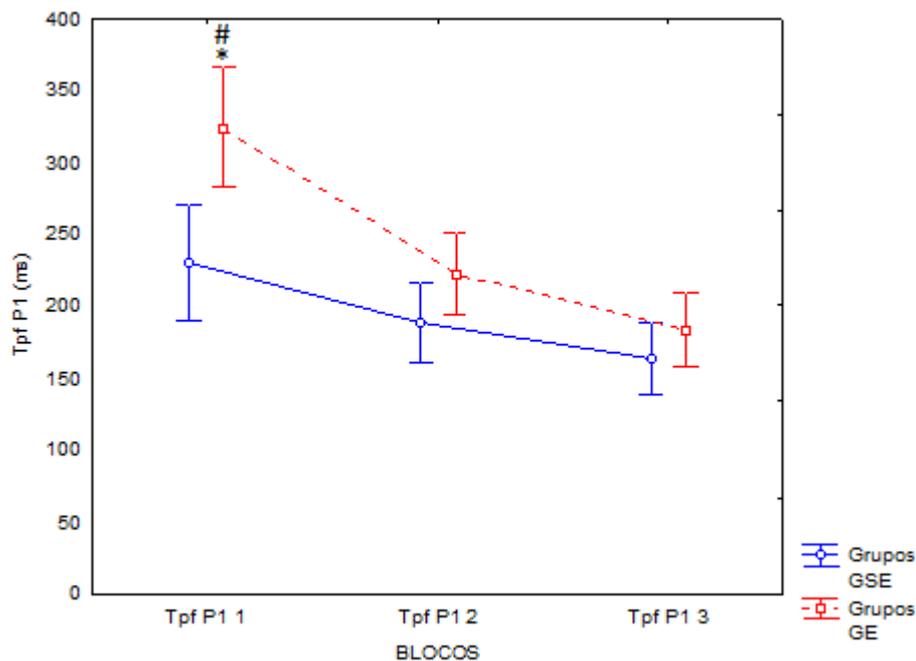


Além das medidas acima, a seguir será apresentada a medida de tempo para pico de força, mas no instante de 1500ms, momento no qual era inserida a perturbação. Esta medida é importante porque ela poderá oferecer informação sobre uma melhor capacidade de reajuste - replanejamento - dos grupos e conseqüentemente uma melhor adaptação.

A análise do tempo para o pico de força (Gráfico 15) do primeiro, segundo e terceiro bloco de perturbação indicou diferença significativa no fator grupos $F(1, 27)=10,778$, $p=,00$, com o GSE apresentando menor tempo para o pico de força que o GE. Também houve diferença significativa no fator blocos $F(2, 54)=28,353$, $p=,00$ e interação significativa $F(2, 54)=3,8956$, $p=,02$. O post hoc da interação detectou que o GSE atinge o pico de força mais rápido no primeiro bloco de perturbação do GSE em relação ao GE ($p<,05$).

Gráfico 15 - Média do tempo para o pico de força do GSE e GE.

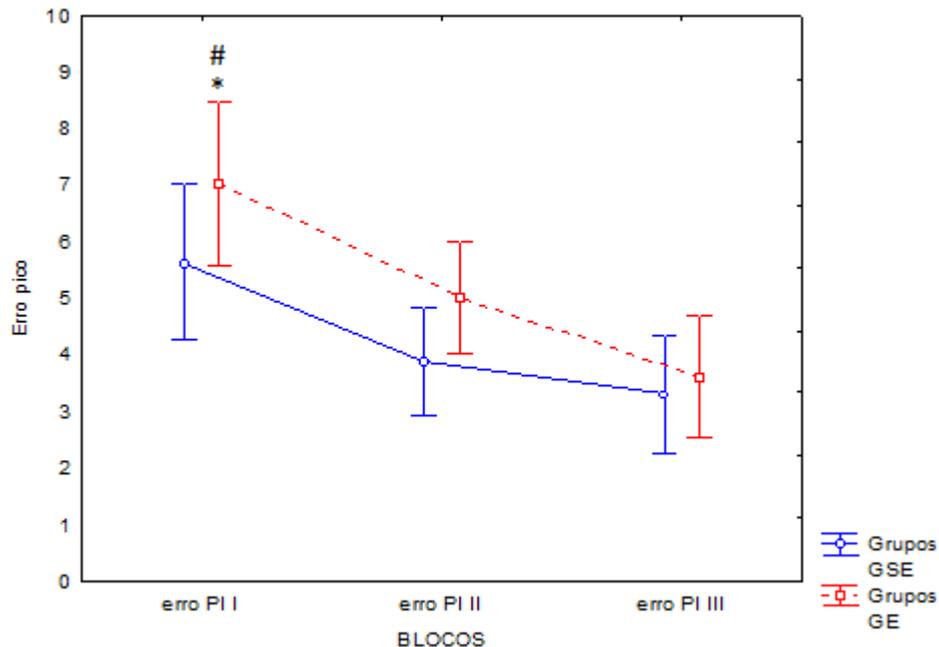
Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



A análise do erro no pico de força (Gráfico 16) do primeiro, segundo e terceiro bloco de perturbação indicou diferença significativa no fator grupos $F(1, 27)=6,4030$, $p=,01$, com o GSE apresentando menor erro no pico de força que o GE. Também houve diferença significativa entre os blocos $F(2, 54)=11,373$, $p=,00$. O post hoc detectou maior erro no primeiro bloco em relação ao segundo e terceiro bloco ($p<0,05$). Não foi encontrada interação.

Gráfico 16 – Erro no pico de força do GSE e GE.

Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos

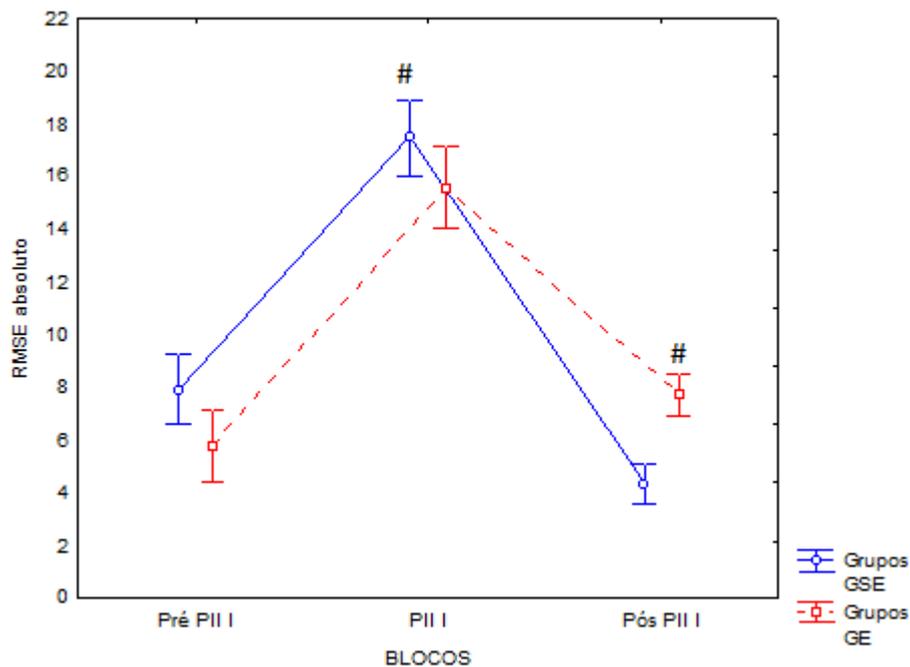


b) Perturbação II (PII) 20%

A análise da precisão do desempenho (RMSE absoluto) (Gráfico 17) do primeiro bloco pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação indicou diferença significativa no fator blocos $F(2, 54)=185,84$, $p=0,00$ e interação significativa $F(2, 54)=13,221$, $p=,00$. O post hoc da interação detectou que quando foi inserida perturbação ambos os grupos diminuíram a precisão ($p<0,05$). Quando foi retirada a perturbação ambos os grupos retomaram o desempenho ($p>0,05$), mas o GSE retoma o desempenho com melhor precisão ($p<0,05$).

Gráfico 17 - Média do RMSE absoluto do GSE e GE.

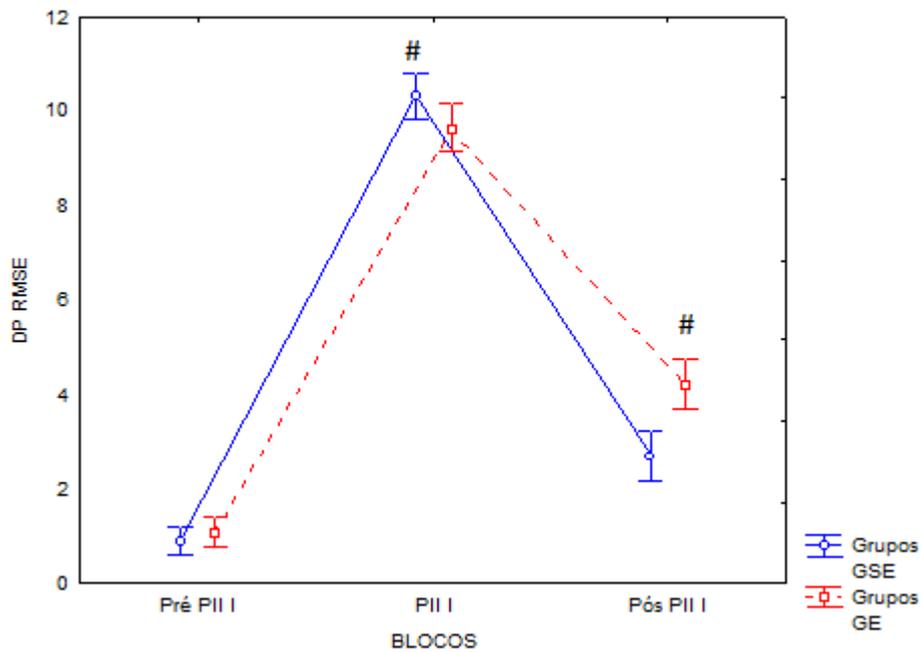
Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



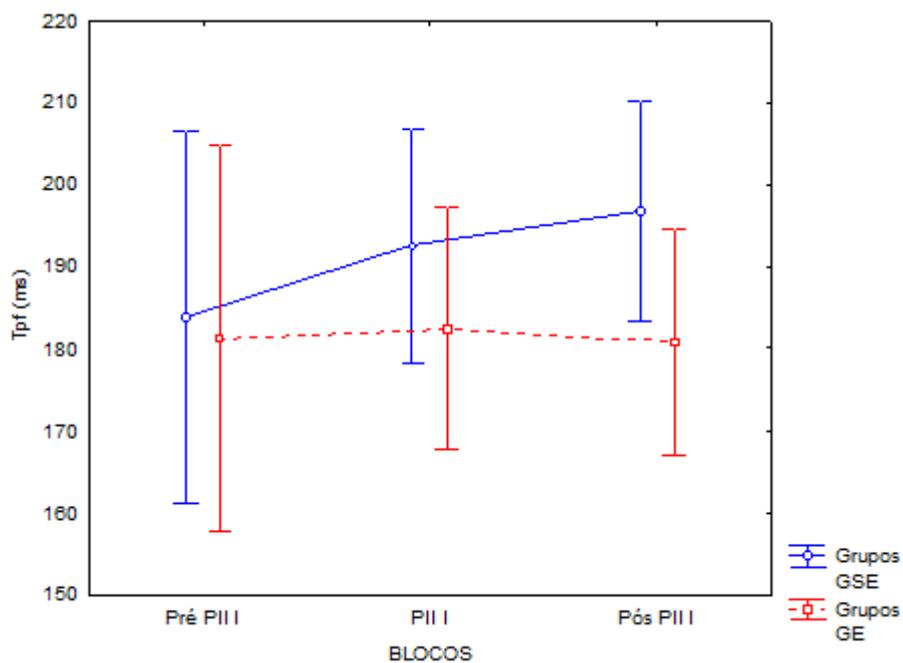
A análise da consistência do desempenho (Desvio padrão do RMSE) (Gráfico 18) do primeiro bloco pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação indicou diferença significativa no fator blocos $F(2, 54)=904,20$, $p=0,00$ e interação significativa $F(2, 54)=12,727$, $p=,00$. O post hoc da interação detectou que quando inserida a perturbação ambos os grupos diminuíram a consistência do desempenho ($p<0,05$). Além disso, quando a perturbação foi retirada o GSE retoma o desempenho com menor variabilidade ($p<0,05$).

Gráfico 18 - Média do desvio padrão do RMSE do GSE e GE.

Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



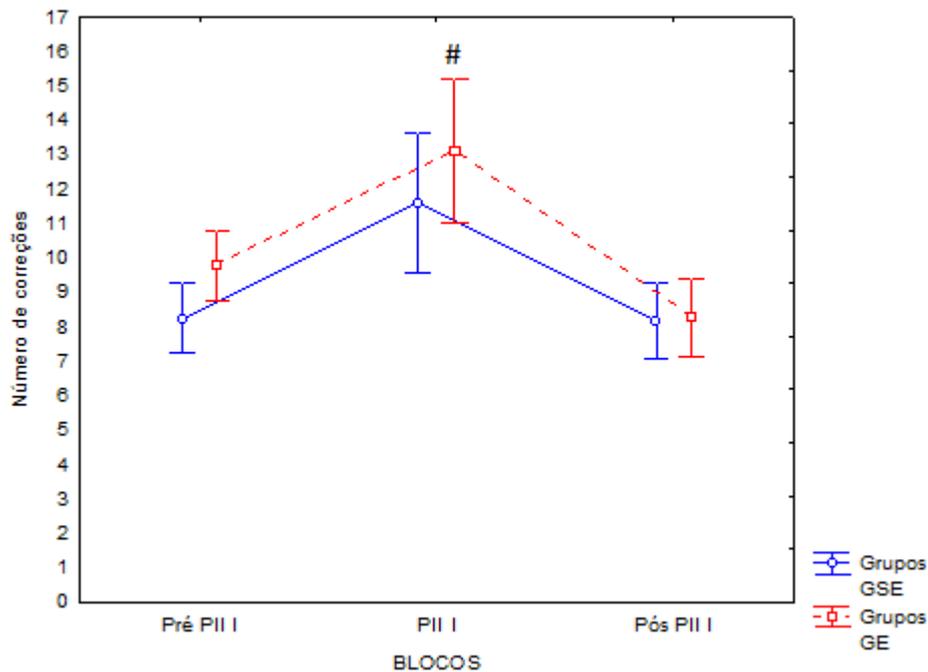
A análise do tempo para pico de força (Gráfico 18) do primeiro bloco de pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação não indicou diferença significativa no fator grupos $F(1, 27)=1,1882$, $p=,28$, no fator blocos $F(2, 54)=,39692$, $p=,67$ e nem interação $F(2, 54)=,42387$, $p=,65$.



A análise do número de correções (Gráfico 19) do primeiro bloco de pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação indicou diferença significativa no fator blocos $F(2, 54)=17,948$, $p=,00$. O post hoc de blocos detectou que quando inserida a perturbação houve um aumento no número de correção tanto em relação ao bloco pré, quanto em relação ao bloco pós. Não houve diferença entre grupos $F(1, 27)=3,2315$, $p=,08343$ e nem interação $F(2, 54)=,62956$, $p=,53669$

Gráfico 19 - Média do número de correções do GSE e GE.

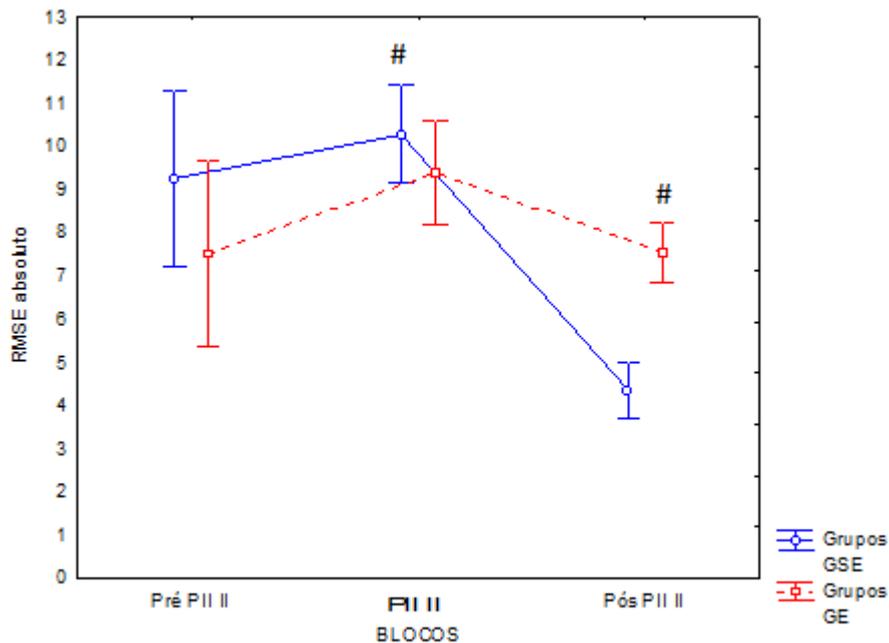
Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



A análise da precisão do desempenho (RMSE absoluto) (Gráfico 20) do segundo bloco pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação indicou diferença significativa no fator blocos $F(2, 54)=14,882$, $p=,00$ e interação significativa $F(2, 54)=6,7551$, $p=,00$. O post hoc da interação detectou que quando inserida a perturbação ambos os grupos mantiveram a precisão em relação ao pré-perturbação ($p>0,05$). Quando retirada a perturbação o GSE aumentou a sua precisão em relação aos blocos anteriores ($p<0,05$).

Gráfico 20 - Média do RMSE absoluto do GSE e GE.

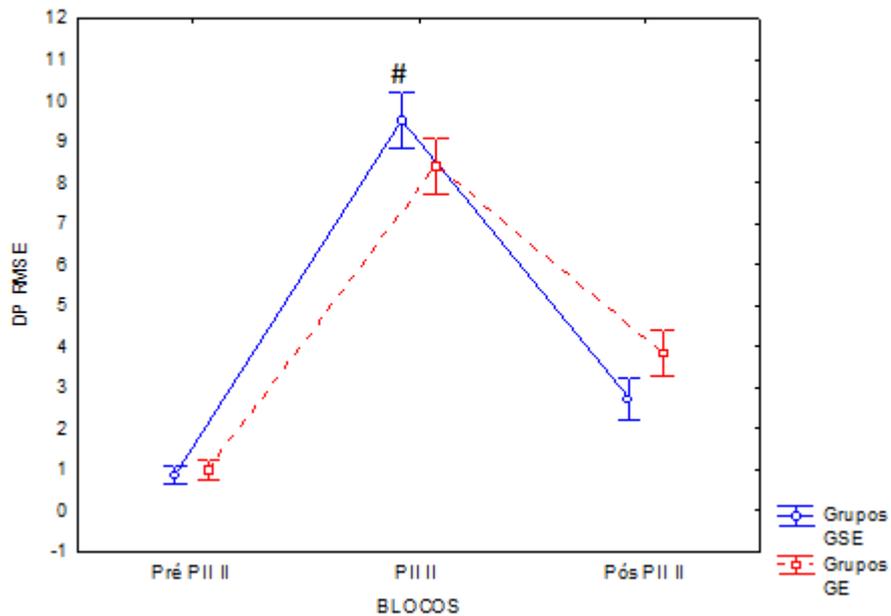
Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



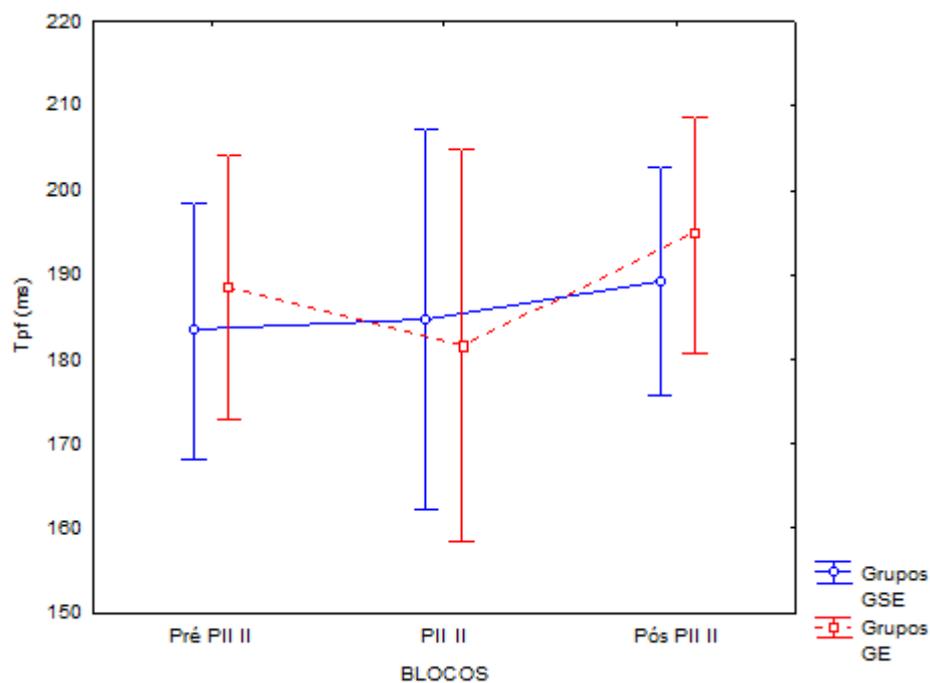
A análise da consistência do desempenho (Desvio padrão do RMSE) (Gráfico 21) do segundo bloco de pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação indicou diferença significativa no fator blocos $F(2, 54)=580,64$, $p=0,00$ e interação significativa $F(2, 54)=10,999$, $p=,00$. O post hoc da interação mostrou que ambos os grupos diminuíram a consistência do desempenho no bloco de perturbação em relação ao pré-perturbação ($p<0,05$). Não houve diferença entre grupos.

Gráfico 21 - Média do desvio padrão do RMSE do GSE e GE.

Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



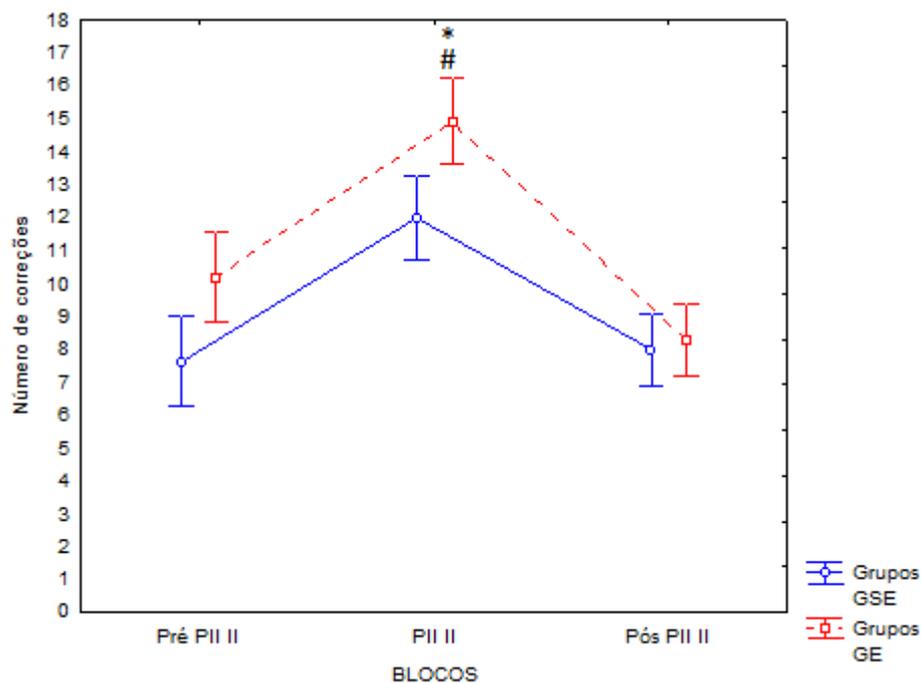
A análise do tempo para pico de força (Gráfico 21) do segundo bloco de pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação não indicou diferença significativa no fator grupos $F(1, 27)=,07078$, $p=,79$, no fator blocos $F(2, 54)=,94658$, $p=,39$ e nem interação $F(2, 54)=,27986$, $p=,75698$



A análise do número de correções (Gráfico 22) do segundo bloco de pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação indicou diferença significativa no fator grupos $F(1, 26)=13,651$, $p=,00$ com o GSE apresentando menor correção que o GE. Também houve diferença significativa no fator blocos $F(2, 52)=45,264$, $p=,00$, e o post hoc detectou um maior número de correções no bloco de perturbação em relação ao pré e ao pós ($p<0,05$). Não houve interação significativa $F(2, 52)=2,8565$, $p=,06$.

Gráfico 22 - Média do número de correções do GSE e GE.

Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos

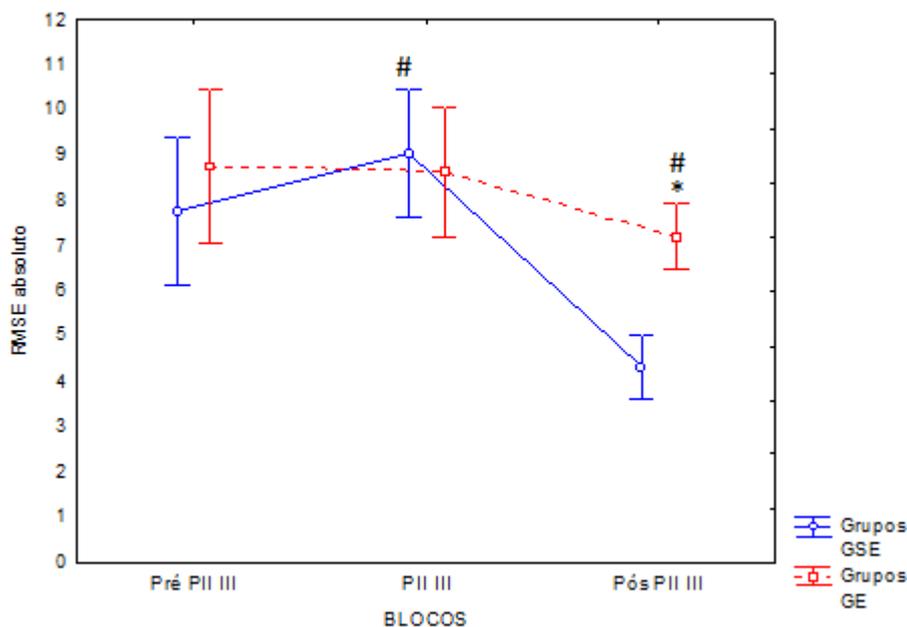


A análise da precisão do desempenho (RMSE absoluto) (Gráfico 23) do terceiro bloco pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação indicou diferença significativa no fator grupos $F(1, 27)=4,7913$, $p=,03$, com o GSE apresentando maior precisão que o GE. Também houve diferença significativa no fator blocos $F(2, 54)=12,764$, $p=,00$ e interação significativa $F(2, 54)=3,3017$, $p=,04$. O post hoc da interação detectou que quando inserida a perturbação ambos os grupos mantiveram

a precisão em relação ao pré-perturbação ($p>0,05$). Quando a perturbação foi retirada o GSE se torna mais preciso que na condição de perturbação e de pré ($p<0,05$).

Gráfico 23 - Média do RMSE absoluto do GSE e GE.

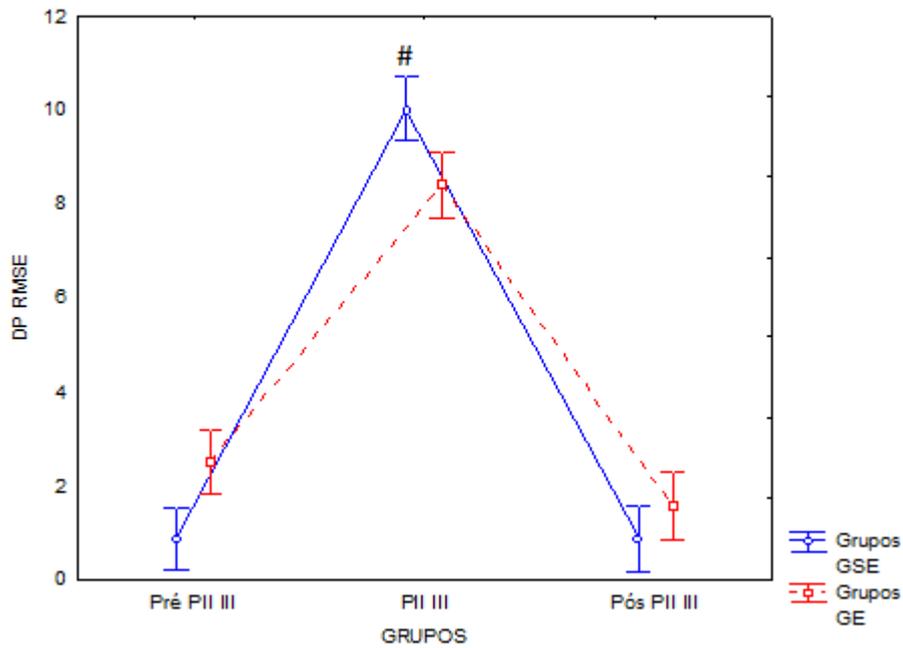
Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



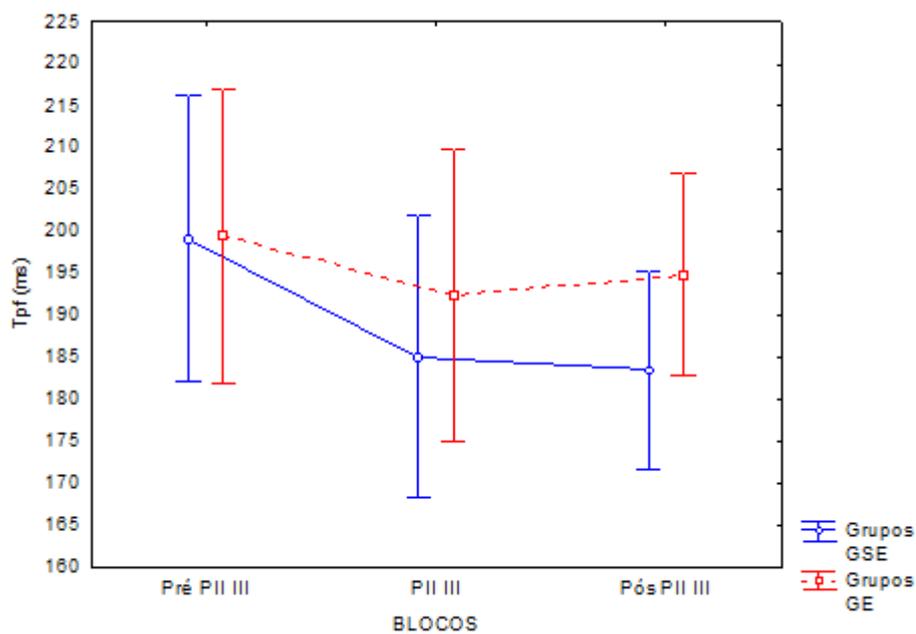
A análise da consistência do desempenho (Desvio padrão do RMSE) (Gráfico 24) do terceiro bloco de pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação indicou diferença no fator blocos $F(2, 54)=320,98$, $p=0,00$ e interação $F(2, 54)=11,253$, $p=,00$. A interação mostrou que ambos os grupos diminuiram a consistência do desempenho no bloco de perturbação em relação ao pré-perturbação. Além disso, no bloco de perturbação o GSE apresentou maior variabilidade em relação ao GE.

Gráfico 24 - Média do desvio padrão do RMSE do GSE e GE.

Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



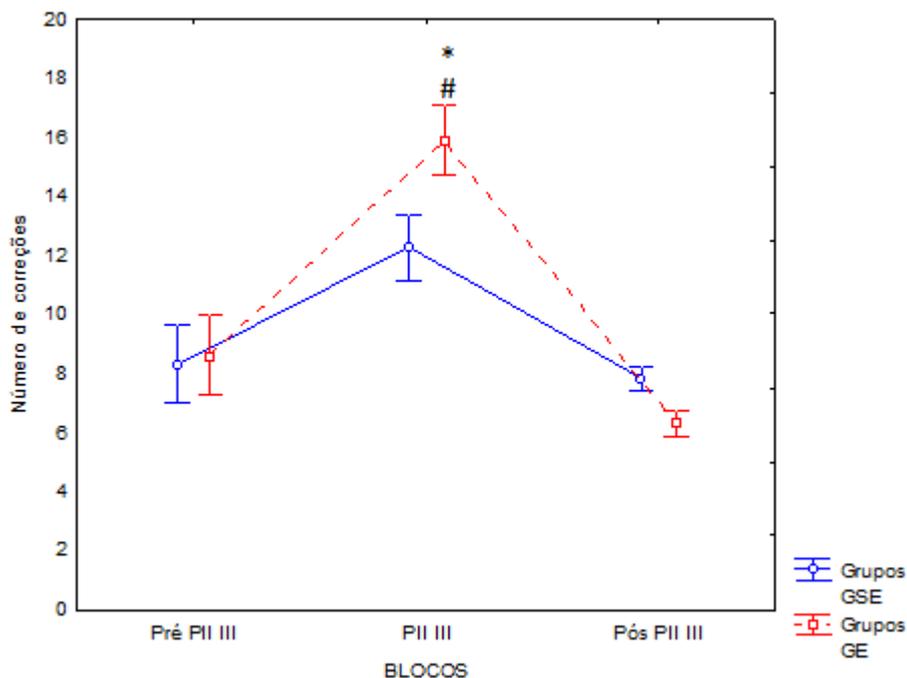
A análise do tempo para pico de força (Gráfico 24) do terceiro bloco de pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação não indicou diferença significativa no fator grupos $F(1, 27)=,63187$, $p=,43$, no fator blocos $F(2, 54)=1,8064$, $p=,17$ e nem interação $F(2, 54)=,38734$, $p=,68$.



A análise do número de correções (Gráfico 25) do terceiro bloco de pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação indicou diferença significativa no fator grupos $F(1, 26)=13,651$, $p=,00$, com o GSE apresentando menor correção que o GE. Também houve diferença significativa no fator blocos $F(2, 54)=97,898$, $p=0,00$ e interação significativa $F(2, 54)=12,349$, $p=,00$. O post hoc da interação detectou que o GSE fez menos correções no bloco com perturbação que o GE ($p<0,05$).

Gráfico 25 - Média do número de correções do GSE e GE.

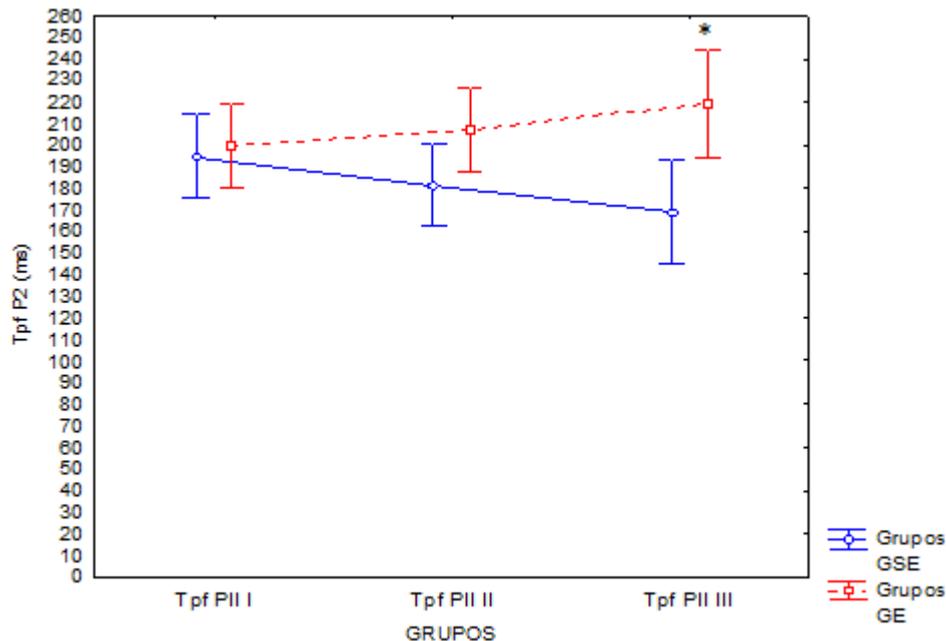
Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



A análise do tempo para o pico de força (Gráfico 26) do primeiro, segundo e terceiro blocos de perturbação indicou diferença significativa no fator grupos $F(1, 27)=5,9539$, $p=,02$, com o GSE apresentando menor tempo para o pico de força que o GE, no fator blocos $F(2, 54)=,09079$, $p=,02$ e interação significativa $F(2, 54)=3,8192$, $p=,02$. O post hoc da interação detectou menor tempo para o pico de força no terceiro bloco de perturbação do GSE em relação ao GE ($p<0,05$).

Gráfico 26 - Média do tempo para o pico de força do GSE e GE.

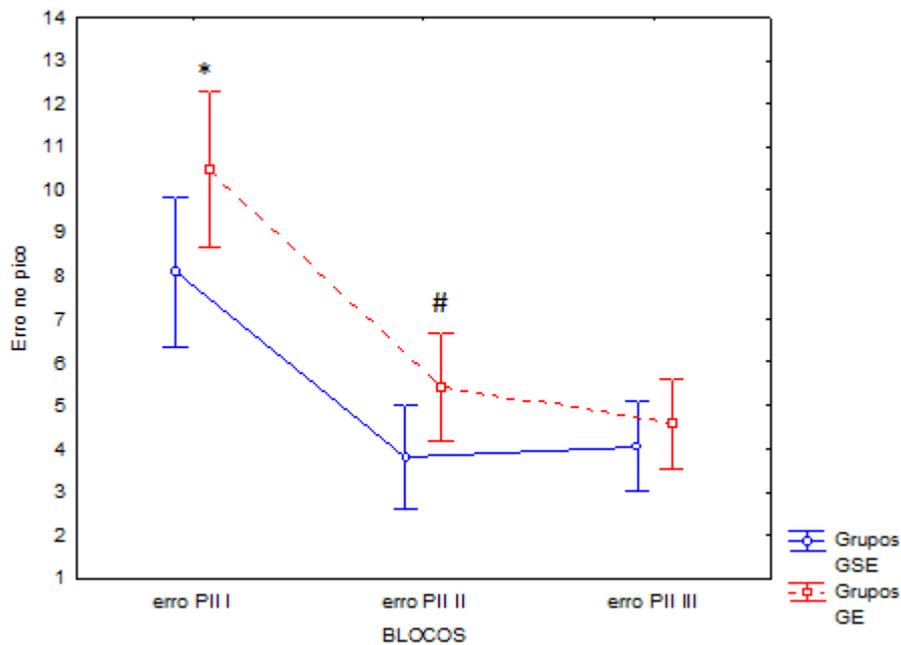
Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



A análise do erro no pico de força (Gráfico 27) do primeiro, segundo e terceiro bloco de perturbação indicou diferença significativa no fator grupos $F(1, 27)=4,8396$, $p=,03$, com o GSE apresentando menor erro no pico de força que o GE. Também houve diferença significativa no fator blocos $F(2, 54)=48,153$, $p=,00$. O post hoc detectou menor erro no segundo e terceiro bloco de perturbação em relação ao primeiro ($p<0,05$). Não foi encontrada efeito significativo na interação $F(2, 54)=1,3854$, $p=,25$

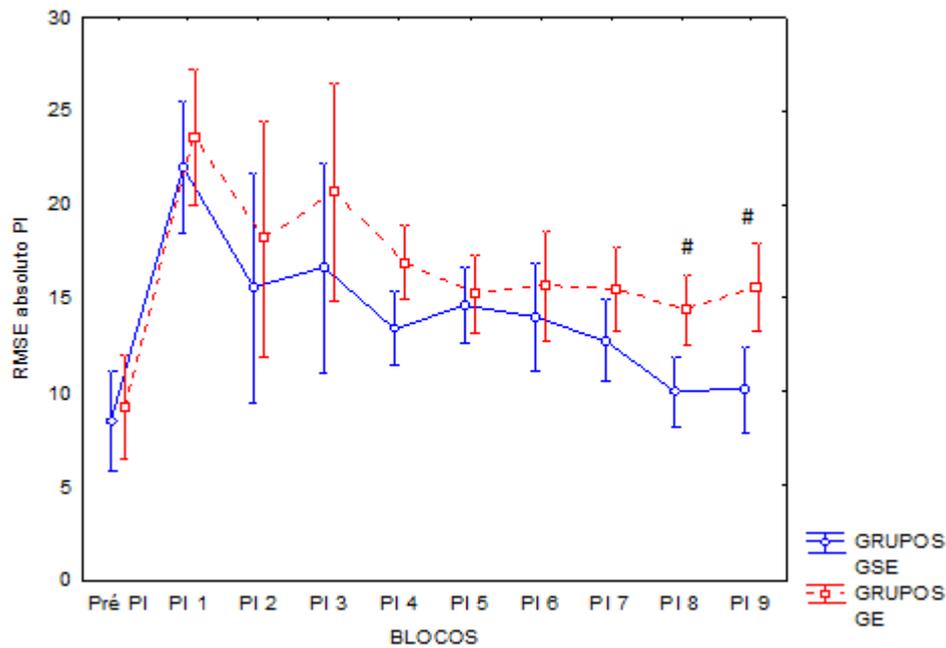
Gráfico 27 – Erro no pico de força do GSE e GE.

Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos

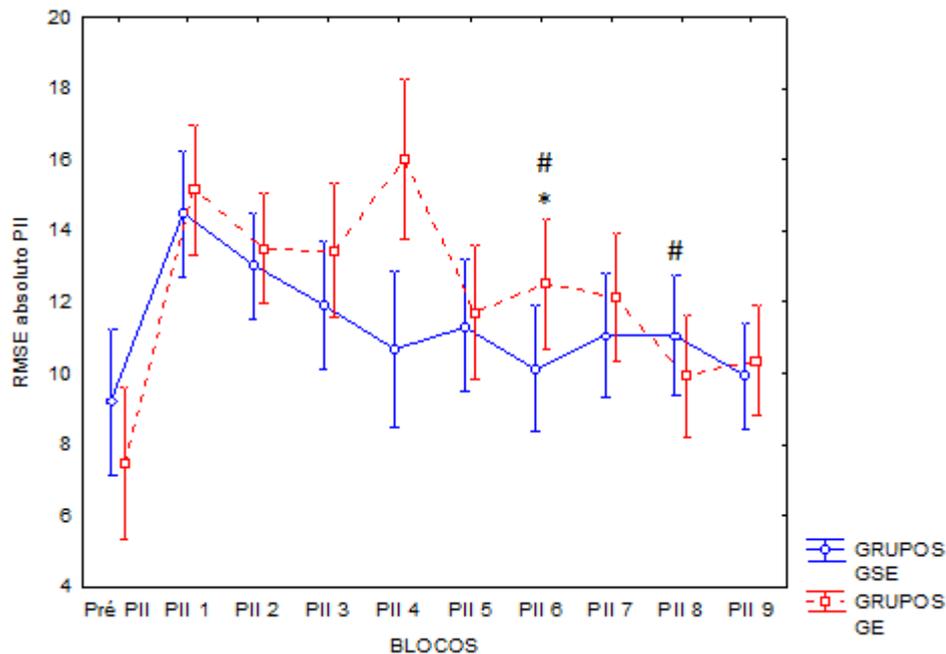


Com o intuito de aproximar nossas análises com a perspectiva tradicional do processo adaptativo em aprendizagem motora, será apresentada abaixo uma possibilidade de entender a adaptação enquanto um processo, mesmo entendendo que entre as tentativas com perturbação existiram as tentativas controle. As perturbações imprevisíveis foram analisadas separadamente (9 de cada) em comparação com as três tentativas iniciais da fase de exposição. Para esta análise foram conduzidas ANOVAS *two way* (2 grupos x 10 blocos), comparando GE e GSE. O teste de Tukey (*post hoc*) foi utilizado na comparação par a par, quando necessário. O nível de significância adotado foi de $p \leq 0,05$.

A análise das perturbações (PI) não apresentou diferença significativa entre grupos $F(1, 27)=2,3827$, $p=,13433$ e nem interação $F(9, 243)=,87012$, $p=,55260$. Foi encontrada diferença entre blocos $F(9, 243)=19,143$, $p=0,00$. O *post hoc* de blocos detectou que o desempenho nos dois últimos blocos de perturbação foram semelhantes ao bloco pré perturbação.



A análise das perturbações (PII) apresentou diferença significativa entre grupos $F(1, 27)=5,8900$, $p=,02$, com o GSE apresentando maior precisão, entre blocos $F(9, 243)=8,6765$, $p=,00$ e interação $F(9, 243)=2,3911$, $p=,01$. O post hoc da interação mostrou que GSE a partir do 4º bloco já apresenta a mesma precisão em relação ao bloco pré perturbação ($p>,05$) e o GE apresenta a mesma precisão em relação ao bloco exposição apenas nos dois últimos blocos ($p>,05$).



6.4 Síntese dos resultados

No geral, a análise da PI mostrou que a prática até a superestabilização do desempenho levou à melhor desempenho frente à perturbação, e até à adaptação mais rápida (terceiro bloco de perturbação), enquanto o nível de estabilização, além de ter um pior desempenho, não se adaptou em bloco algum. O GSE apresentou maior variabilidade no bloco de perturbação quando comparado ao GE. Sobre as medidas de controle, o GSE apresentou menor número de correções quando enfrentou a perturbação e ainda conseguiu manter o desempenho. Tais resultados permitem dizer que a prática até a superestabilização do desempenho propicia a capacidade de adaptar com menor número de correções e maior variabilidade. Com relação à medida de tempo para o pico de força após inserção da perturbação, a prática até a superestabilização apresentou menor tPF e menor erro neste pico.

Com relação à PII, a prática até a superestabilização no primeiro bloco retoma o desempenho com maior precisão. No segundo e terceiro blocos os dois níveis de estabilização mantém o desempenho no bloco de perturbação, mas, o grupo superestabilização no terceiro bloco de perturbação apresenta maior variabilidade. Com relação às medidas de controle, a prática até a superestabilização apresentou menor número de correções que a prática até a estabilização do desempenho. Com relação a medida de tempo para o pico de força após a inserção da perturbação, o grupo superestabilização apresentou menor tPF assim como apresenta menor erro neste pico.

Com relação a nossa análise final (análise das 9 perturbações consecutivas), observamos que nossos resultados foram parecidos com a análise em blocos de três, mostrando os efeitos do maior nível de estabilização também mediante perturbações imprevisíveis.

6.5 Discussão

O objetivo deste estudo foi investigar como indivíduos que se encontram em dois diferentes níveis de estabilização do desempenho se adaptam a perturbações imprevisíveis inseridas após o movimento ter sido iniciado em uma tarefa de controle de força. Os resultados mostraram que o GSE se adaptou melhor às perturbações do que o GE.

A primeira hipótese do estudo foi que o desempenho seria semelhante no que se refere a precisão mas diferente no que se refere a variabilidade e o mecanismo de controle utilizado por ambos os grupos durante a fase de pré-exposição seria semelhante. Para o experimento com a tarefa de controle de força, durante a primeira fase, a manipulação do critério de desempenho refletiu em diferença na quantidade de prática realizada por cada grupo. O GSE praticou mais do que o GE, o que realmente resultou em dois diferentes níveis de estabilização do desempenho (UGRINOWITSCH et al., 2014; FONSECA et al., 2012, COUTO, 2012). Estes níveis distintos não resultaram em diferença no desempenho (precisão) e na cinemática dos grupos quando a situação era constante, já que seus comportamentos foram similares no início e no final desta fase. Mais especificamente, no último bloco da pré-exposição o desempenho dos grupos foi mais preciso (menor erro absoluto) e mais consistente (menor erro variável) do que no primeiro bloco. Replicando os resultados de estudos anteriores (UGRINOWITSCH, 2011; SANTOS-NAVES et al., 2012; LEITE et al., 2013). Um resultado interessante é que o GSE ao final da fase (último bloco) apresentou uma maior variabilidade em relação ao GE. Resultado semelhante foi observado em Ugrinowitsch et al (2014), sendo ainda que esta variabilidade de desempenho existente antes de inserir a perturbação esteve relacionada à capacidade de lidar com as perturbações, confirmando a proposição de Tani (2000) e Benda et al. (2000).

Os diferentes níveis de estabilização do desempenho alcançados durante a pré-exposição também não influenciaram o tPF. Geralmente, em tarefas discretas (por exemplo, de interceptação), um comportamento comum observado é que, após os sujeitos aprenderem uma determinada tarefa, os mesmos programam sua ação antes de iniciarem o movimento. Isso reflete no alcance do pico de velocidade na porção final do movimento (ELLIOTT et al., 2010). Porém, para a tarefa do experimento I (flexão de cotovelo), com uma duração de três segundos, não encontramos na literatura como seria o comportamento em relação ao tempo para o pico da força. No nosso caso, como a duração de cada tentativa foi de três segundos, parece que o tempo para atingir o primeiro pico de força de forma mais antecipada não refletiria de forma significativa a uma mudança de comportamento, visto que o sujeito ainda teria muito tempo para realizar os ajustes relativos à meta da tarefa. Nossos resultados mostram que o tPF foi semelhante entre os grupos, assim, a primeira hipótese foi confirmada com relação aos mecanismos de controle e

confirmada com relação ao desempenho. Tais resultados eram esperados, pois as diferenças resultantes dos dois níveis de estabilização devem ficar mais claras em uma situação que exige mudanças do que foi aprendido (FONSECA et al., 2012; UGRINOWITSCH et al., 2014). A partir deste ponto a segunda hipótese foi elaborada.

A nossa segunda hipótese preconizava que o nível de superestabilização do desempenho se adaptaria melhor (menor erro) às perturbações do que o nível de estabilização. Ao assumir que a aprendizagem motora é um processo contínuo que vai além da estabilização do desempenho (TANI et al., 2014), era esperado que a superestabilização do desempenho garantiria melhor desempenho sob condições que requeressem mudanças na habilidade previamente aprendida (FONSECA et al., 2012; UGRINOWITSCH et al., 2014). Atingir o nível de superestabilização do desempenho representa estes sujeitos atingirem um primeiro nível de estabilidade e, com a continuidade da prática, os próprios sujeitos inserirem perturbações, o que é observado na maior variabilidade que, posteriormente, atinge um novo nível de estabilização. Esta proposição tem suporte nos diferentes momentos que os sujeitos passaram pelos blocos de desempenho critério. Conseqüentemente, o grupo que passou por mais ciclos de estabilidade, instabilidade, estabilidade (i.e., superestabilização), possivelmente mais disponibilidade de recursos para adaptação terá.

Apesar de diferenças entre os grupos não terem sido observadas durante a pré-exposição, estas se tornaram visíveis na exposição, quando os indivíduos se depararam com demandas na tarefa diferentes daquelas com as quais aprenderam a lidar durante a primeira fase. Estes resultados corroboraram com os já encontrados em estudos anteriores (SANTOS-NAVES et al., 2012). Assim, a segunda hipótese deste estudo foi confirmada.

A passagem pelos ciclos de instabilidade e estabilidade que aconteceu quando foi atingido o nível de superestabilização do desempenho leva à um PAOH que tem mais informações disponíveis, passíveis de serem utilizadas quando perturbações são inseridas (i.e., exposição à perturbação) e que exigem modificações no planejamento.

Com relação à fase de exposição, no primeiro bloco de análise da PI (PI I) - 60% da força máxima, a precisão do desempenho dos grupos diminuiu, mas foi retomada no bloco Pós PI I. Uma possibilidade para os dois grupos não conseguirem

manter a precisão no primeiro bloco pode ser devido às características da perturbação: a imprevisibilidade. A dificuldade de adaptação a perturbações imprevisíveis é maior quando comparada às previsíveis (RITCHER et al., 2004; UYGUR et al. 2012). Conseqüentemente, é possível até que os grupos tenham identificado às mudanças no percentual de força requerida, mas não conseguiram realizar os ajustes necessários para atingir a meta. Além disso, aos 65% existe um aumento da variabilidade da força isométrica (SHERWOOD; SCHMIDT, 1980), o que dificulta o controle e, conseqüentemente, a adaptação (CARVALHO, 2012).

No segundo bloco da PI (PI II) os dois grupos diminuíram a precisão do desempenho quando a perturbação foi inserida. No bloco pós-perturbação o desempenho dos dois grupos retornou ao nível de acerto prévio à perturbação, porém o GSE retoma com maior precisão. No terceiro bloco da PI (PI III) aparecem novos resultados, pois o GSE consegue manter o desempenho quando é inserida perturbação. Além disso, foi observado maior variabilidade do GSE em relação ao GE neste bloco. Na perspectiva de um modelo de equilíbrio, a variabilidade é considerada um fator negativo para o desempenho, devendo ser reduzida à medida que ocorre a aprendizagem (NEWELL; CORCOS, 1993). Entretanto, na proposta de Manoel e Connolly (1995), a variabilidade de erro é resultante de falha na programação, e espera-se que seja eliminada ao longo da prática. Com a prática e o *feedback* o desempenho instável ganha consistência, precisão e se aproxima cada vez mais do planejamento ideal. Já a variabilidade funcional é considerada um aspecto positivo para o desenvolvimento de ações habilidosas, pois seria observada principalmente na microestrutura, responsável pela flexibilidade no comportamento motor, já que os padrões motores emergem não somente pela sua consistência, mas também pela sua natureza dinâmica e instável (TANI et al., 2014).

A alta variabilidade do GSE no bloco de perturbação em relação ao GE provavelmente não está relacionada à inconsistência, mas sim à uma maior quantidade de informação presente no sistema, a qual é resultante do processo de prática até atingir o nível de superestabilização. Ou seja, o sistema flutua devido ao domínio da tarefa e usa a quantidade de informação adquirida durante a primeira fase para buscar novas soluções para o mesmo problema. Tal situação tem sido denominada de *playfull behavior* (BENDA, 2001). Esta variabilidade da busca de novas soluções não é prejudicial à aprendizagem, pois frente a uma nova

perturbação a maior variabilidade do GSE foi acompanhada de melhor desempenho frente a PI.

Importante ressaltar que, uma das características das tarefas de força é a maior dificuldade em controlar movimentos que busquem alcançar metas como aquelas estabelecidas no nosso experimento (60% da força máxima), já que o aumento da variabilidade tem relação com o aumento da força (SHERWOOD; SCHMIDT; WALTER, 1988). Contudo, não era esperado o aumento da variabilidade na condição com perturbação, pois espera-se que a disponibilidade de recursos existente antes da perturbação diminua para garantir o desempenho na condição de perturbação (TANI, 2000; BENDA, 2001). Particularmente neste estudo, o aumento da variabilidade na condição com perturbação ocorreu somente no terceiro bloco, e uma possibilidade é que esta alta variabilidade seja indicativo de mudança no comportamento, que já estava se tornando mais variável devido à soma do nível de superestabilização atingido na primeira fase mais o total de tentativas de prática da segunda fase. Assim, com a quantidade de prática na mesma condição da primeira fase (tentativas controle) aliada às perturbações, os sujeitos já começavam a buscar novas soluções motoras até na condição de perturbação, semelhante ao que aconteceu na primeira fase do experimento. É como que se em uma situação de match point no tênis o tenista buscasse um winner mais arriscado e ainda sim atingisse seu objetivo.

Kelso;Ding (1993) também colocam que as flutuações remanescentes no comportamento poderiam apresentar um papel construtivo agindo como uma fonte de flexibilidade para a formação de novos padrões de movimento. Contextualizando novamente em um jogo de tênis, o jogador está na rede pronto para fazer um voleio de *forehand*, porém, a bola do adversário bate na rede alterando a direção da bola, fazendo com que o jogador mude rapidamente o movimento para o voleio de *backhand* e ainda consiga matar o ponto. Isto significa que os jogadores encaram diversas restrições sendo susceptível a uma alta variabilidade que requer adaptações constantes.

Ainda na fase de exposição, com relação aos dados da perturbação de menor magnitude (20%), no primeiro bloco de análise da PII (PII I), os grupos pioraram o desempenho quando foi inserida a perturbação, porém ao observar a retomada do desempenho, o GSE retoma com maior precisão. No segundo e terceiro blocos quando inserida a perturbação ambos os grupos mantêm o desempenho sendo que

o GSE no terceiro bloco mantém o desempenho novamente apresentando maior variabilidade. Parece que a perturbação de menor magnitude impôs menor dificuldade aos indivíduos, visto que ambos os grupos conseguiram manter o desempenho no segundo e terceiro bloco de perturbação. Quando Carvalho (2011) manipulou as mesmas porcentagens de força isométrica, também encontrou resultados similares. Uma possível explicação do melhor desempenho frente à P2 é o aumento da variabilidade quando o nível de força requerido se aproxima à 65% (SHERWOOD; SCHMIDT; WALTER, 1988).

Além das medidas de erro, outra forma de avaliar o efeito do nível de estabilização do desempenho atingido na primeira fase é verificar o comportamento dos dois grupos frente às perturbações. Para tal, utilizamos as medidas de número de correções, tempo para o pico de força após o instante de 1500ms, ou seja, momento no qual era inserida a perturbação de modo imprevisível para os sujeitos e o erro neste pico. Esta medida é importante, pois mostra capacidade de um novo ajuste, devido à inserção da perturbação. Para o primeiro bloco de análise da PI (tentativas pré perturbação, tentativas com perturbação e pós perturbação), o GSE apresentou uma menor quantidade de correções que o GE. Quando foram inseridas perturbações houve um aumento no número de correções, sem conseguir manter o mesmo desempenho. O comportamento do número de correções do segundo bloco da PI foi semelhante ao do primeiro, porém, com uma diferença. Quando foi retirada a perturbação, o número de correções dos dois grupos neste bloco foi semelhante, mas o GSE retomou o desempenho com maior precisão. No terceiro bloco de perturbação, novamente o GSE apresenta menor número de correção e neste caso já no bloco de perturbação.

Esta menor quantidade de correção pode estar relacionada à competência que o GSE adquiriu de forma que, com o mesmo tempo de duração da tentativa (três segundos) o GSE corrige menos, mas ainda sim apresenta um desempenho melhor. Podemos especular aqui que o GSE utiliza o mecanismo de *feedback* de forma mais eficiente porque corrige menos, mas com maior precisão na meta. O GE apesar de apresentar um maior número de movimentos corretivos não consegue manter a precisão. Talvez a maneira adequada de colocar é que o GE modifica o comportamento mas sem a mesma competência que o GSE.

Uma outra maneira de entendermos o processo de como os indivíduos se adaptam é observar a medida de número de correção, a de tempo para o pico de

força (primeiro pico após os 1500ms) e o erro neste pico. Quando analisamos o tempo para o pico de força imediatamente após os 1500ms, momento no qual a perturbação era inserida, observou-se um menor tempo para atingir o pico para o GSE, assim como menor erro no pico e se adapta mais rápido. Ou seja, o GSE consegue replanejar (fazer os ajustes) mais rapidamente frente a uma nova meta.

Estudos anteriores utilizaram a tarefa complexa de timing coincidente para testar os efeitos do nível de estabilização (o quando perturbar). Pela sua característica, esta tarefa fornecia medidas de tempo relativo e mostraram que com a perturbação, o GSE modificava um menor número de componentes que o GE para conseguir manter o desempenho, tanto com manipulação de um aspecto perceptivo-motor (UGRINOWITSCH et al., 2011) como de um aspecto perceptivo da tarefa (UGRINOWITSCH et al., 2014). Contudo, apesar desta tarefa simular situações do dia a dia, ela tem limitações para identificar os efeitos destes dois níveis de estabilização no controle motor. Os resultados do presente estudo dão um passo adiante, pois mostram que o GSE melhora ambos os mecanismos, de *feedforward* e de *feedback*, enquanto a tarefa complexa de timing coincidente permite fazer inferências apenas sobre melhoras no mecanismo de *feedback*, observado no menor número de componentes que foram modificados.

A medida de tPF é uma medida que indica planejamento (referência) e, no nosso modelo teórico, foi adotada como uma medida de macroestrutura. A macroestrutura é responsável pelo padrão de movimento e, no nosso nível de análise (cinemático), ela foi sensível para indicar as modificações nas ações e a diferença nos dois níveis de estabilização manipulados durante a primeira fase. Neste caso, o GSE modificou a macroestrutura para conseguir se adaptar, o que mostra uma estrutura flexível deste grupo. Esta flexibilidade da estrutura deve ser resultante da manipulação da variável independente da primeira fase do experimento. Tais resultados corroboram com os obtidos por Ugrinowitsch et al. (2011; 2014) e Fonseca et al. (2012), de que atingir a superestabilização do desempenho torna a macroestrutura flexível o suficiente para modificar e atingir a meta da tarefa. Além disso, GSE atingiu seis vezes o critério de estabilização e, como eles não foram consecutivos, ele passou por momentos de instabilidade entre estes de estabilidade, indicando ciclos de instabilidade e estabilidade durante a primeira fase do experimento. A repetição desses ciclos conduziu este grupo a perceber e responder mais efetivamente as demandas ambientais e,

consequentemente, apresentando maior adaptabilidade, o que representa maior nível de habilidade. Tani (2005) e Tani et al. (2014) propõem que a aprendizagem é um processo adaptativo e a passagem por ciclos de instabilidade e estabilidade permitem o aumento de complexidade. No presente estudo, o delineamento da segunda fase não possui medidas diretas de complexidade, mas permitem inferir que o grupo que passou por estes ciclos durante a primeira fase possuem maior capacidade de identificar informações ambientais, modificar e ainda atingir a meta. Esta competência é encontrada em sistemas complexos (LEWIN, 2003), e como o GE não apresentou a mesma competência pode-se assumir que o GSE atingiu um maior nível de complexidade durante a primeira fase. Então é possível dizer que este nível tem uma estrutura espaço temporal funcional e consegue adaptá-la inúmeras vezes ao longo de diferentes situações (BASSO, 2010).

Com relação a perturbação II (20%), tanto o GE como o GSE continuam precisos quando inseridas as perturbações no segundo e terceiro bloco. No terceiro bloco o GSE mantém o desempenho com maior variabilidade (assim como na P1). Ainda no terceiro bloco, o GSE corrige menos em relação ao GE, mas mantém o desempenho. Os dados de tPF e de erro no pico reforçam o comportamento na P1, ou seja, o GSE utiliza mais eficientemente tanto o mecanismo de *feedforward* observado no menor tempo para reorganizar o movimento como de *feedback* corrente, observado na precisão das correções.

6.6 Conclusão

No geral, os resultados com a perturbação previsível foram replicados agora com as perturbações imprevisíveis, pois o GSE mostrou melhor desempenho quando comparado ao GE quando as perturbações imprevisíveis foram inseridas. Além disso, também foi mais efetivo nas medidas ajustes e de correções, com maior precisão no uso dos dois mecanismos de controle. Estes resultados ficam ainda mais expressivos quando é observada a perturbação de maior magnitude, que é mais difícil para se adaptar.

7 ESTUDO 2 - SEGUNDO EXPERIMENTO

7.1 Método

7.1.1 Amostra

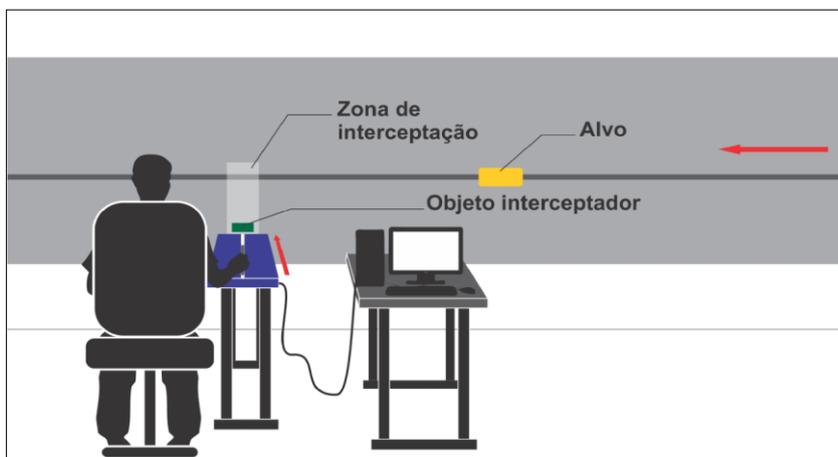
A amostra do segundo experimento foi constituída por 28 adultos jovens (19 homens e 9 mulheres), de 20 a 31 anos ($M = 23,8$; $DP = 3,7$ anos). Todos eram saudáveis e concordaram em participar e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (ANEXO A e B). Para confirmar a preferência manual para o lado direito (sujeitos destros), foi aplicado o Inventário de Dominância Lateral de Edimburgo (Oldfield, 1971), constituído por 10 questões sobre preferência lateral na realização de 10 tarefas motoras do cotidiano. A pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Minas Gerais, com número 270.382.

7.1.2 Instrumento e tarefa

Os instrumentos utilizados foram um computador Intel Celeron 2.20GHz, um monitor 17" (Dell 60Hz, 1366x768), um datashow para projeção de um alvo virtual, uma mesa digitalizadora, 35 cm de comprimento, com dispositivo *wireless* e sensível à pressão (WACON-INTUOS 3-9 x 12) com frequência de captura de 200Hz, uma caneta digital (INTUOS 3) compatível com a mesa digitalizadora. A tarefa utilizada foi a de interceptar um objeto virtual que se deslocava perpendicularmente em direção ao interceptador (efetor). O deslocamento do efetor é controlado pelo movimento da caneta em uma mesa digitalizadora. A distância utilizada para deslocamento da caneta foi de 27,7 cm. O deslocamento do membro superior direito do voluntário aconteceu no eixo posteroanterior, por meio de uma flexão de ombro e extensão de cotovelo. Um alvo virtual, retângulo amarelo (4 x 6 cm), foi projetado na parede, perpendicularmente à posição do voluntário que controlou o objeto interceptador, um retângulo verde (2 x 4 cm), realizando um movimento com a caneta de baixo para cima ao longo da mesa digitalizadora. A partir da primeira aparição, o alvo percorreu uma distância de 213 cm da direita para a esquerda do voluntário, até atingir o centro da zona de interceptação. As velocidades de deslocamento do alvo foram

controladas pelo programa construído para esta tarefa no software LABVIEW e utilizado em estudo anterior (COUTO, 2012) . A meta da tarefa foi interceptar o alvo no seu centro, entretanto interceptações feitas 5 cm antes ou depois do centro do alvo foram consideradas corretas (Figura 7).

Figura 7 - Tarefa virtual de interceptação a alvo móvel.



Fonte: Tarefa similar ao adotado por Couto (2012).

7.1.3 Procedimento e delineamento

Todos os voluntários foram abordados na Escola de Educação Física e Fisioterapia da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Em seguida foi realizado o agendamento de dia e horário para realização da coleta de dados. No dia agendado, o (a) voluntário(a) foi recebido(a) individualmente pelos experimentadores em uma sala apropriada utilizada somente para fins de pesquisa. Neste momento foi explicado o objetivo e os procedimentos da pesquisa. Caso concordarem em participarem do estudo, eles receberam o termo de consentimento livre e esclarecido. Após leitura e assinatura, os procedimentos para coleta de dados tiveram início.

Inicialmente, um modelo experiente realizou cinco demonstrações da tarefa seguida por uma breve instrução verbal. Quando não houvesse mais dúvidas sobre a execução da tarefa, o voluntário era convidado a sentar-se em uma cadeira colocada ao lado da mesa digitalizadora e de frente para a parede onde o alvo virtual era projetado. Neste momento ele (a) foi orientado (a) a segurar a caneta com a mão direita e apoiá-la sobre a mesa digitalizadora. Após verificar novamente que não

existiam dúvidas sobre o experimento, um sinal de “prepare pra começar” foi dado pela pesquisadora e o experimento se iniciou. Após o aparecimento do alvo virtual na parede, o voluntário deveria controlar o tempo e velocidade de movimento da caneta sobre a mesa digitalizadora para conseguir interceptá-lo.

7.1.4 Delineamento

Com relação ao delineamento, o experimento teve duas fases: pré-exposição e exposição, sendo a segunda realizada com 24 horas de intervalo. Os sujeitos foram divididos em dois grupos: grupo estabilização (GE), e grupo superestabilização (GSE). Na primeira fase, os grupos GE e GSE praticaram a tarefa até atingirem o desempenho critério que foi de quatro tentativas consecutivas corretas para o GE e seis blocos de quatro tentativas corretas para o GSE. Após cada tentativa o voluntário recebeu conhecimento de resultado (CR) relacionado ao seu desempenho através de uma imagem congelada na parede mostrando o local onde estava o alvo e o efector virtual no momento que este alcançou a zona de interceptação. Nesta fase após cada tentativa, os voluntários também receberam CR qualitativo relacionado ao seu tempo de movimento (TM), esta informação foi fornecida da seguinte forma: TM abaixo de 179 ms: “seu movimento foi muito rápido!”. TM entre 180 e 199 ms: “seu movimento foi rápido!”. TM entre 200 e 250 ms: “bom tempo de movimento!”. TM entre 251 e 270 ms: “seu movimento foi lento!”. TM acima de 271 m: “seu movimento foi muito lento!”. O objetivo nesta fase, além de conseguirem alcançar o desempenho critério de acordo com o grupo ao qual pertencia, o voluntário deveria também aprender a realizar o movimento com durações entre 200 e 250 m. Isto porque em tarefas de interceptação com duração superior a 150-200ms oferecem tempo suficiente para utilização do *feedback* sensorial (MARINOVIC; PLOOY; TRESILIAN, 2009). O controle deste tempo de movimento é importante quando o alvo a ser atingido mudar de velocidade após o movimento ter sido iniciado (característica da segunda fase). Nesta fase, a velocidade do alvo a ser interceptado não sofreu mudanças.

Na segunda fase, os grupos realizaram 126 tentativas, sendo 108 controle e 18 com perturbações. Após cada tentativa desta fase, os voluntários receberam CR relacionado ao seu desempenho. As perturbações foram inseridas por meio de mudanças na velocidade do alvo após os sujeitos terem visualizado-o e iniciado o

movimento de interceptação. Tais perturbações foram distribuídas de maneira imprevisível para os sujeitos. A manipulação da imprevisibilidade seguiu os mesmos padrões dos estudos de Gomes (2014). Foram utilizadas duas mudanças na velocidade do alvo (uma com aumento e outra com diminuição da velocidade em relação à praticada na primeira fase).

Na fase de pré-exposição, a velocidade de deslocamento do alvo foi constante (145 cm/s), a *time window* (TW) nesta fase foi de 55,17 ms, valor similar aos manipulados por Tresilian, Oliver e Carrol (2003) e Couto (2012). Na exposição, a velocidade de deslocamento do alvo foi a mesma. Nas tentativas com perturbação, o alvo se manteve na mesma velocidade do que na fase anterior até que o voluntário iniciasse o deslocamento do efetor. Neste momento houve a mudança da velocidade do alvo até o local da interceptação, consideradas as perturbações. Para as perturbações 1 (PI), a velocidade aumentou para 200 cm/s (TW = 40 ms) e para as perturbações 2 (PII), a velocidade foi reduzida para 90 cm/s (TW = 88,8 ms).

7.2 Variáveis

7.2.1 Variáveis dependentes

a) Desempenho

- Erro absoluto temporal: diferença em milissegundos da distância entre o ponto médio do retângulo interceptador e o centro do alvo. Esta medida mostra a precisão do desempenho.
- Erro variável temporal: resultado do cálculo do desvio padrão do erro temporal constante em milissegundos. Esta medida indica a consistência do desempenho.
- Número de tentativas necessárias na fase de pré-exposição para alcançar o desempenho critério. Esta medida indica se os grupos realmente tiveram diferente quantidade de prática em função da medida do nível de estabilização adotada.

b) Medidas cinemáticas

- Tempo para o pico de velocidade (tPV): tempo gasto entre o início do movimento e o alcance do pico de velocidade em segundos. Esta medida indica o controle predominante via pré-programação.
- Número de correções: número de vezes que houver correções na curva de aceleração. Esta medida indica o controle predominante via *feedback*.

Estas medidas foram divididas em medidas de desempenho e de macroestrutura da habilidade – aspectos invariantes (tempo para o pico de velocidade).

8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Inicialmente os dados foram analisados quanto à normalidade através do teste de Shapiro-Wilk. Após constatação da normalidade foram conduzidas as análises descritas a seguir:

Na fase de pré-exposição os dados foram analisados em blocos de quatro tentativas. Devido ao diferente número de tentativas entre os grupos, nesta fase foram analisados o primeiro e o último bloco de quatro tentativas através de uma ANOVA *two way* (2 grupos x 2 blocos).

Para comparação entre a quantidade de tentativas necessárias para o alcance do critério de desempenho por cada grupo na fase de pré-exposição foi conduzido um teste *t* de Student não pareado.

Na segunda fase, os dados foram organizados em blocos de três tentativas, sendo ainda agrupadas em tentativas pré-perturbação, tentativas de perturbação e tentativas pós-perturbação. Para analisar os resultados da fase de exposição, os dados foram organizados por perturbação em blocos de três tentativas, e comparadas por tentativas imediatamente anteriores à perturbação (Pré), tentativas com a perturbação (P) e tentativas imediatamente após a perturbação (Pós). Esta organização resultou em três blocos da perturbação I (Pré PI, PI e Pós PI) e três blocos da perturbação II (Pré PII, PII e Pós PII). Foram conduzidas ANOVAS *two*

way (2 grupos x 3 blocos), comparando GE e GSE nos blocos Pré, P e Pós, separadamente para cada bloco de cada perturbação.

O teste de Tukey (*post hoc*) foi utilizado na comparação par a par, quando necessário. O nível de significância adotado foi de $p \leq 0,05$.

8.1 Resultado

8.1.1 Quantidade média de tentativas entre os grupos

A análise do número de tentativas para alcançar os critérios de desempenho previamente estabelecidos nos estudos pilotos (GE-um bloco de quatro tentativas consecutivas corretas ($77,07 \pm 13,30$); GSE- seis blocos de quatro tentativas consecutivas corretas = $181,42 \pm 35,91$) durante a pré-exposição apontou diferença significativa entre os grupos $t = 8,20$, $p = 0,018$. O GSE precisou realizar mais tentativas nesta fase para alcançar o critério de desempenho do que o GE.

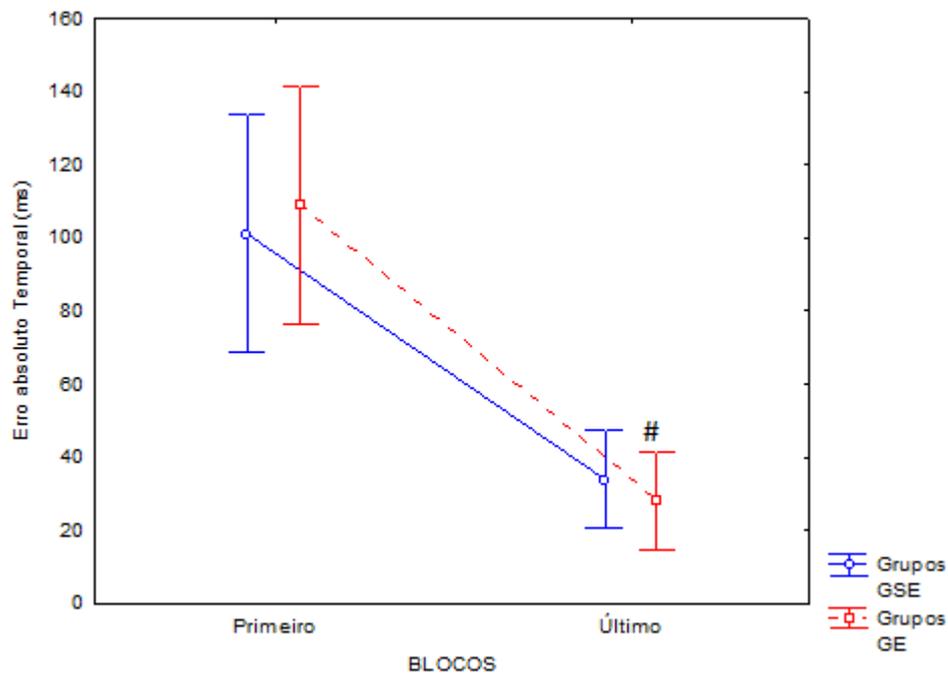
8.1.2 Comportamento dos grupos durante a fase de pré-exposição

a) Medida de erro absoluto temporal

A análise da precisão do desempenho (erro absoluto temporal em ms) do primeiro e do último bloco da fase de pré-exposição (Gráfico 28) mostrou diferença significativa no fator blocos $F(1, 26) = 32,773$, $p = ,00$ indicando que a precisão de ambos os grupos aumentou do início para o final desta fase. O teste não apontou diferença significativa entre grupos $F(1, 26) = ,00805$, $p = ,92$ e nem efeito significativo na interação grupos e blocos $F(1, 26) = ,27687$, $p = ,60$.

Gráfico 28 - Média do erro absoluto temporal (ms) no primeiro e no último bloco da pré-exposição para os grupos GE e GSE.

Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos

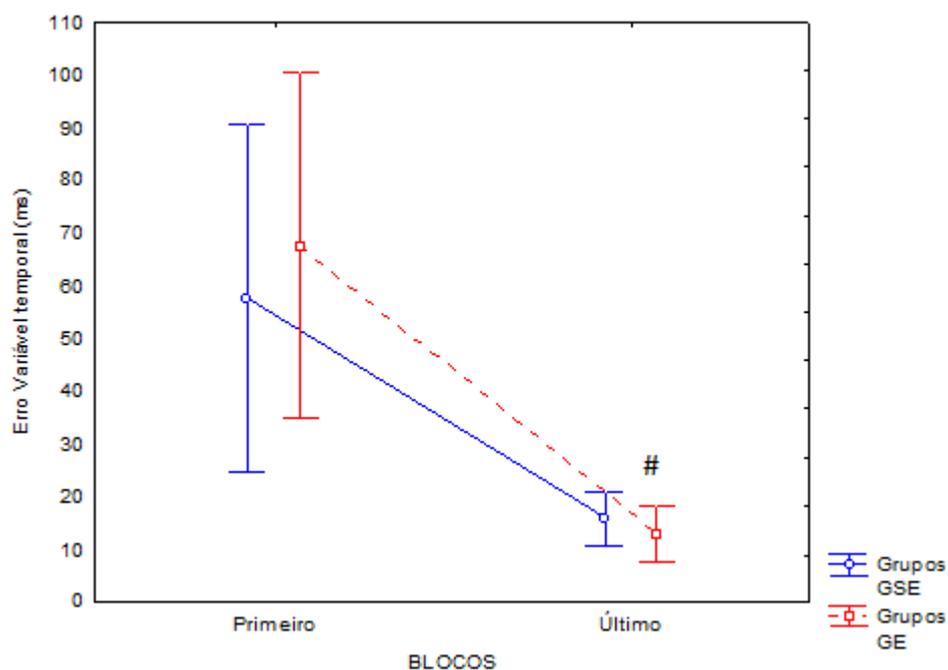


b) Medida de erro variável temporal

A análise da consistência do desempenho (DP do erro temporal constante em ms) do primeiro e do último bloco da fase de pré-exposição (Gráfico 29) mostrou diferença significativa no fator blocos $F(1, 26)=18,283$, $p=,00$ indicando que a consistência de ambos os grupos aumentou do início para o final desta fase. O teste não apontou diferença significativa entre grupos $F(1, 26)=,0919$, $p=,76$ e nem efeito significativo na interação grupos e blocos $F(1, 26)=,32087$, $p=,57$.

Gráfico 29 - Média do DP do erro variável temporal (ms) no primeiro e no último bloco da pré-exposição para os grupos GE e GSE.

Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos

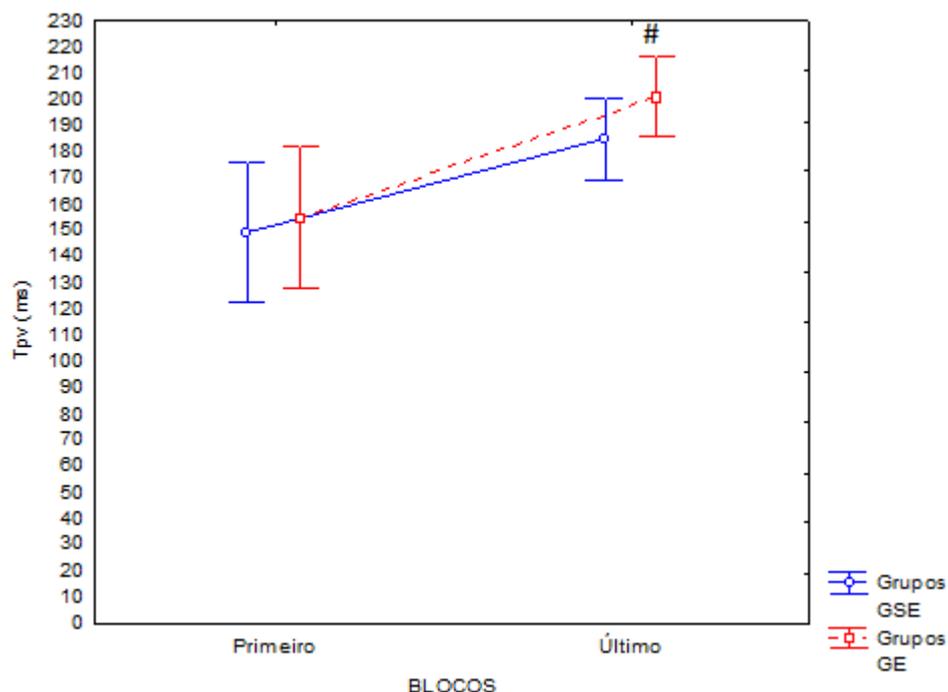


c) Medida de tPV(ms)

A análise do tempo para o pico de velocidade (tPV em ms) do primeiro e do último bloco da fase de pré-exposição (Gráfico 30) mostrou diferença significativa no fator blocos $F(1, 26)=37,757$, $p=,00$ indicando que o tPV de ambos os grupos aumentou do início para o final desta fase. O teste não apontou diferença significativa entre grupos $F(1, 26)=,66598$, $p=,42$ e nem efeito significativo na interação grupos e blocos $F(1, 26)=,63494$, $p=,43$.

Gráfico 30 - Média do tPV (ms) no primeiro e no último bloco da pré-exposição para os grupos GE e GSE.

Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



8.1.3 Comportamento dos grupos durante a fase de exposição

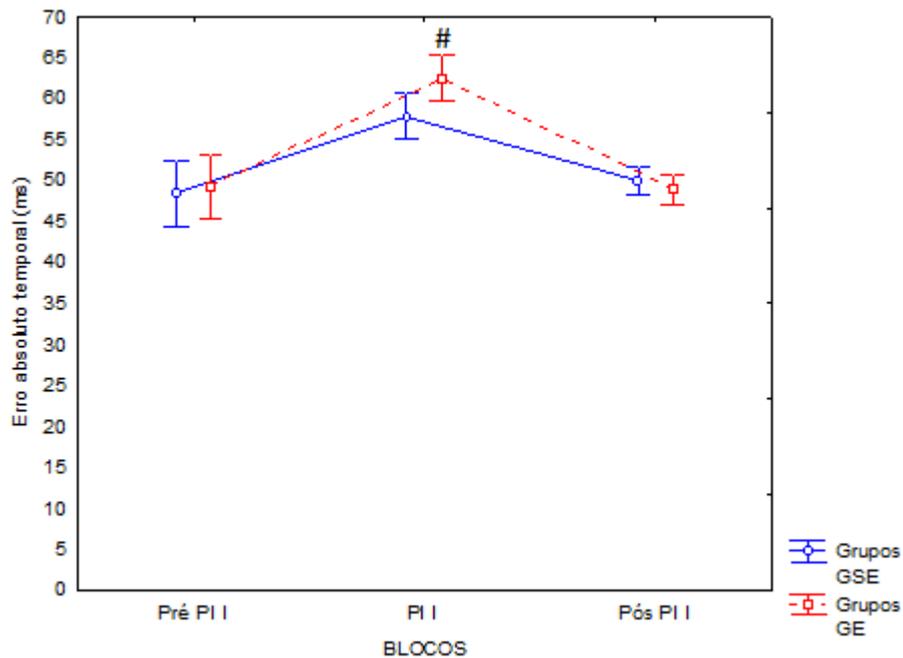
Para uma visão geral de processo, serão apresentadas as medidas de precisão, variabilidade, número de correção e tempo para o pico de velocidade do primeiro, segundo e terceiro bloco de perturbação. A análise das perturbações será apresentada separadamente, PI (60%) e PII (20%), comparando em três blocos de Pré Perturbação (Pré), Perturbação (P) e Pós Perturbação (Pós) de cada.

a) Perturbação I (PI)

A análise da precisão do desempenho (erro absoluto temporal) do primeiro bloco não indicou diferença entre os grupos $F(1, 26)=,10343$, $p=,75$, entretanto indicou diferenças entre blocos $F(2, 52)=8,6644$, $p=,00$. O post hoc dos blocos detectou que quando foi inserida a perturbação o erro aumentou, porém, quando foi retirada a perturbação o comportamento dos grupos foi semelhante ao bloco pré perturbação ($p>,05$). Não foi encontrada interação $F(2, 52)=,80797$, $p=,45$ (Gráfico 31).

Gráfico 31 - Média do erro absoluto temporal (ms) para os grupos GE e GSE.

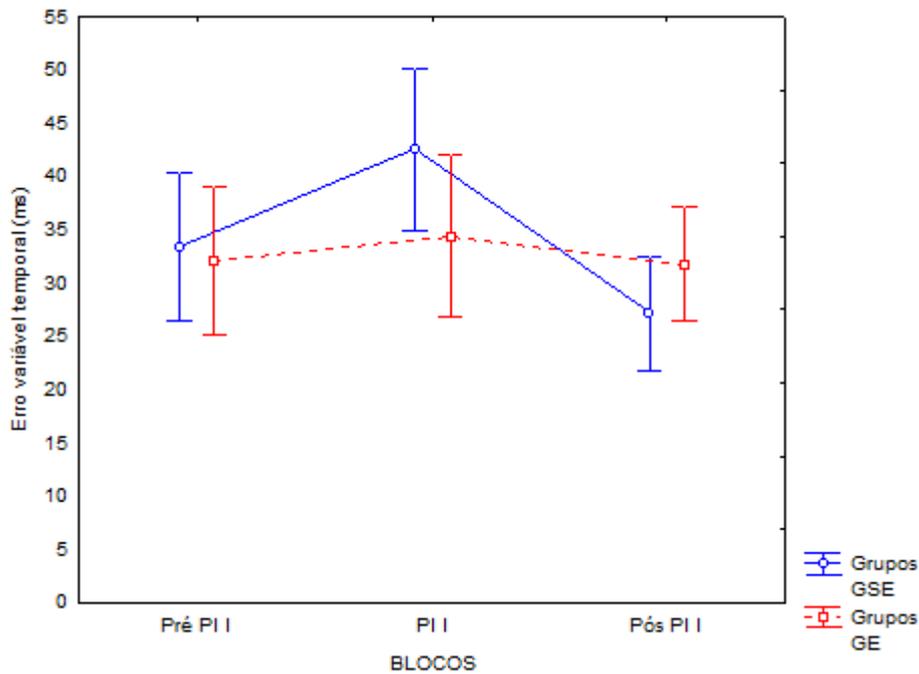
Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



A análise da consistência do desempenho (Desvio padrão do erro temporal constante) (Gráfico 32) do primeiro bloco pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação não indicou diferença significativa no fator grupos $F(1, 26)=,00171$, $p=,96$, blocos $F(2, 52)=,95227$, $p=,39$ e interação $F(2, 52)=2,0891$, $p=,13$.

Gráfico 32 - Média do desvio padrão do erro temporal do GSE e GE.

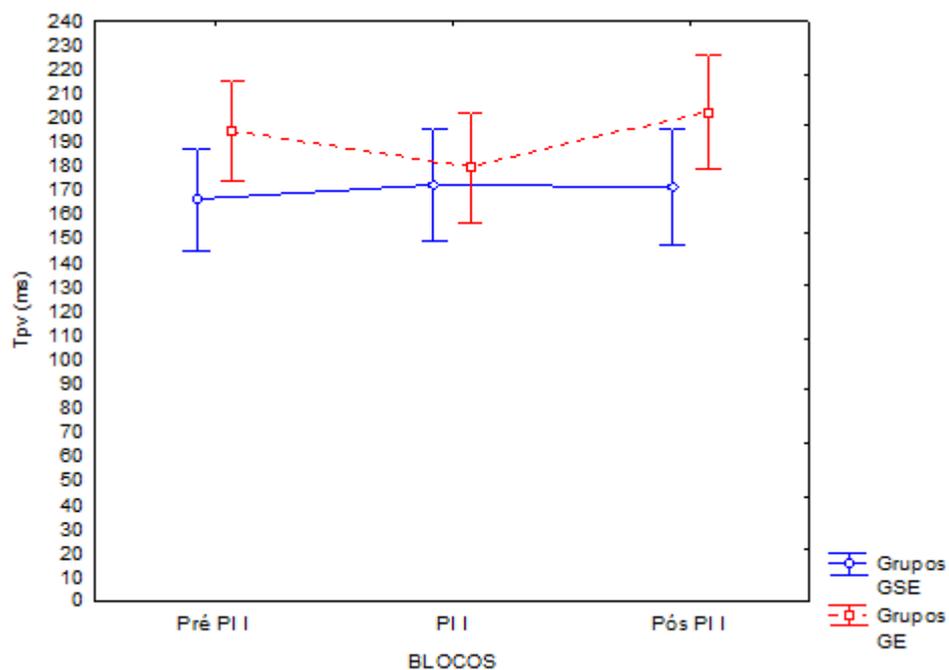
Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



A análise do tempo para o pico de velocidade (Gráfico 33) do primeiro bloco pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação não indicou diferença significativa no fator grupos $F(1, 26)=2,6301$, $p=,11$. Também não foi encontrada diferenças entre blocos $F(2, 52)=1,5820$, $p=,21$ e interação $F(2, 52)=2,1807$, $p=,12$.

Gráfico 33 - Média do tempo para o pico de velocidade do GSE e GE.

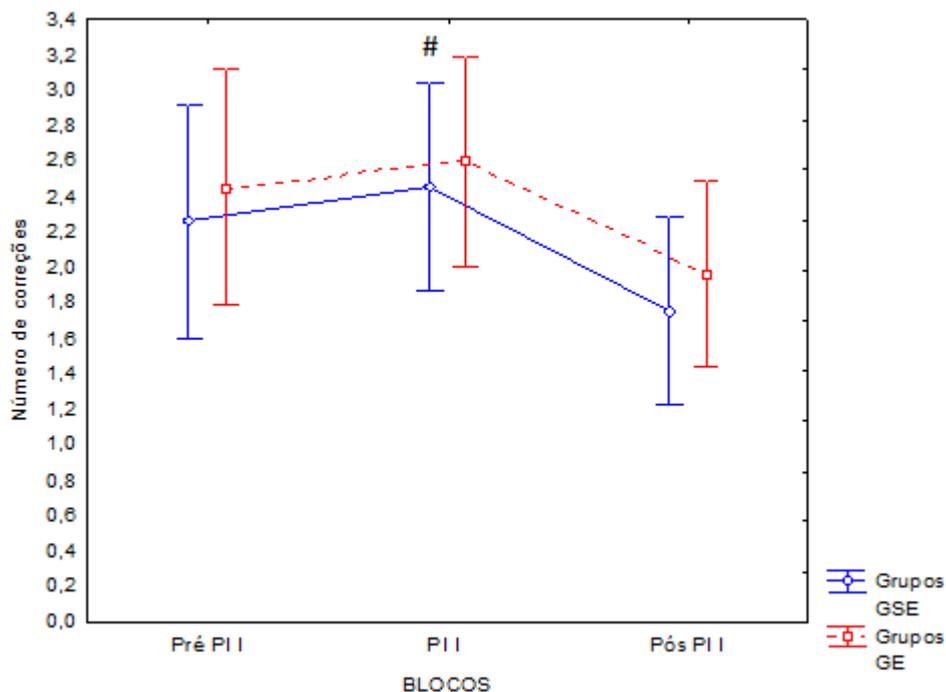
Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



A análise do número de correções (Gráfico 34) do primeiro bloco pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação não indicou diferença significativa no fator grupos $F(1, 26)=,21571$, $p=,64$ e nem interação $F(2, 52)=,03338$, $p=,96$. Foi encontrada diferenças entre blocos $F(2, 52)=16,593$, $p=,00$, sendo que quando foi inserida perturbação houve maior número de correções quando comparado ao bloco em que foi retirada a perturbação.

Gráfico 34 - Média do número de correções do GSE e GE.

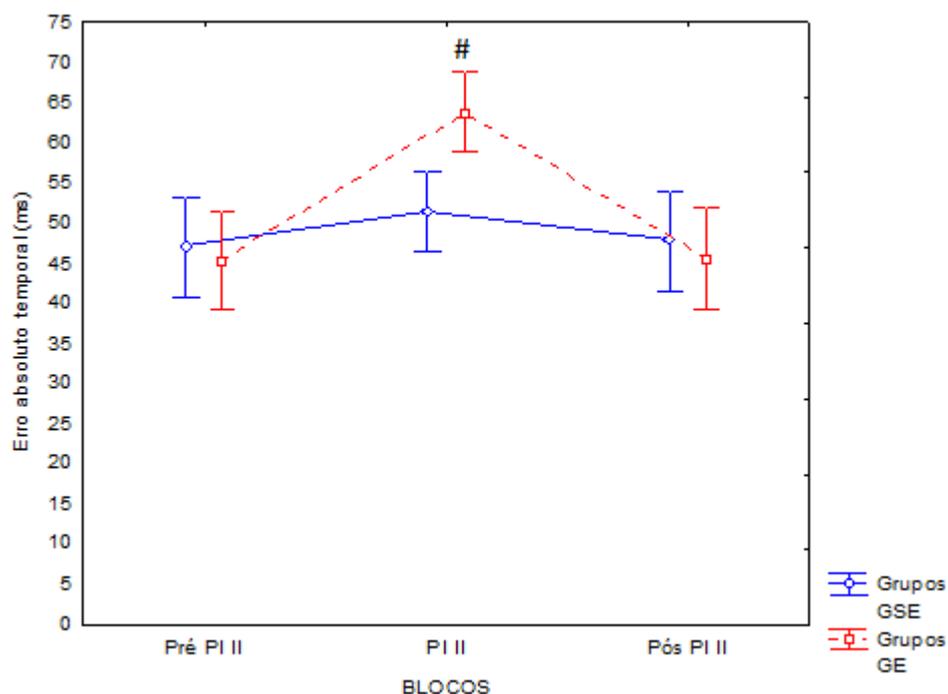
Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



A análise da precisão do desempenho (erro absoluto temporal) do segundo bloco não indicou diferença entre os grupos $F(1, 26)=1,0677$, $p=,31$, entretanto indicou diferenças entre blocos $F(2, 52)=13,128$, $p=,00$ e interação $F(2, 52)=5,4547$, $p=,00$. O post hoc da interação detectou que quando foi inserida perturbação apenas o GSE conseguiu manter o desempenho quando comparado ao bloco pré-perturbação ($p>,05$). Quando foi retirada a perturbação ambos os grupos retomaram o desempenho ($p>,05$) (Gráfico 35).

Gráfico 35 - Média do erro absoluto temporal (ms) para os grupos GE e GSE.

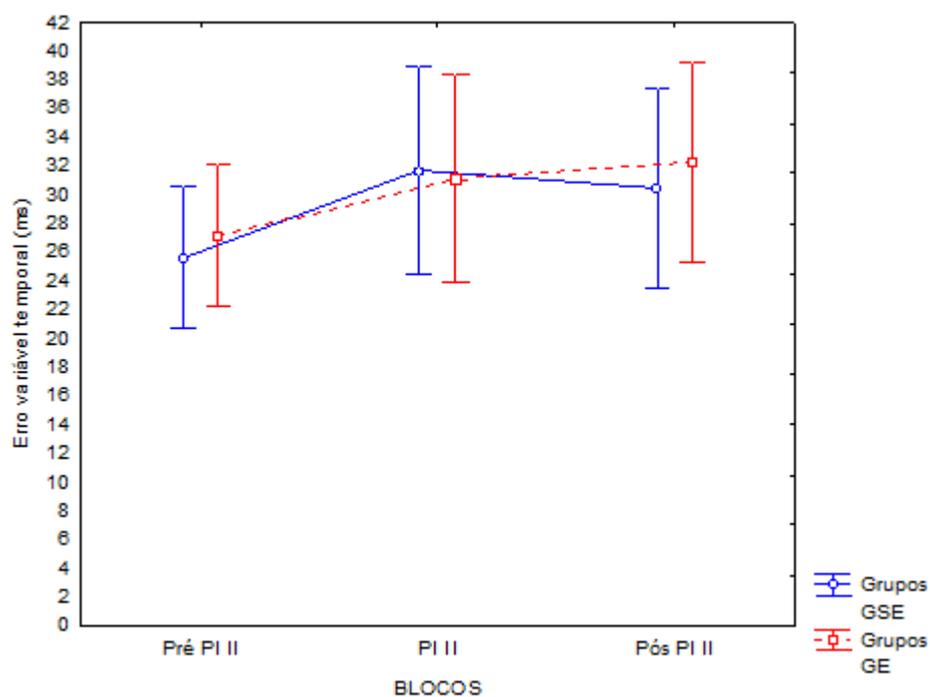
Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



A análise da consistência do desempenho (Desvio padrão do erro temporal) (Gráfico 36) do segundo bloco pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação não indicou diferença significativa no fator grupos $F(1, 26)=,44476$, $p=,51$, blocos $F(2, 52)=,08922$, $p=,91$, e interação $F(2, 52)=,25739$, $p=,77$.

Gráfico 36 - Média do desvio padrão do erro temporal do GSE e GE.

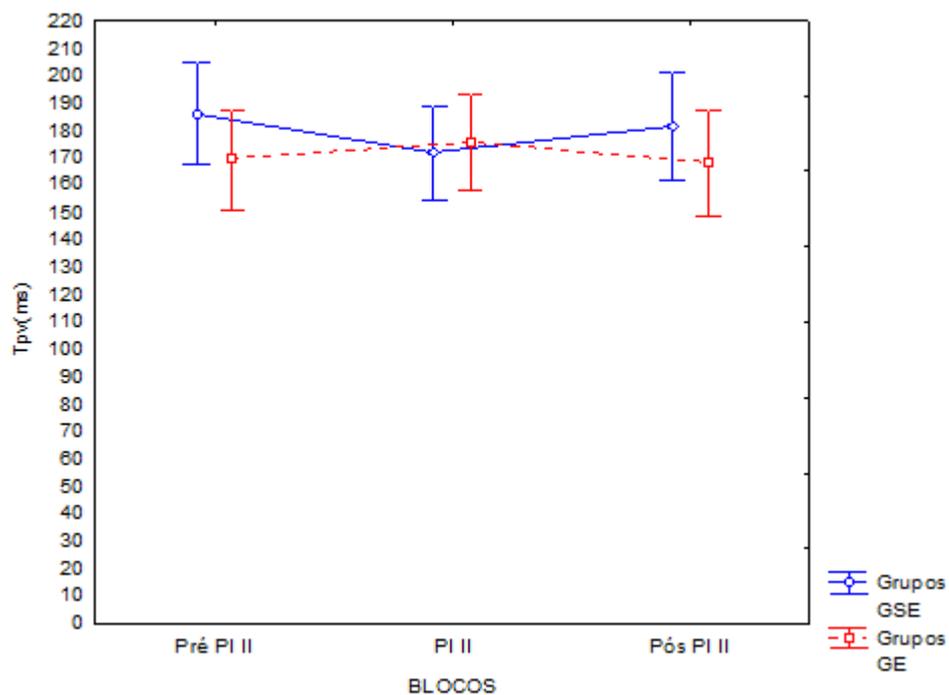
Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



A análise do tempo para o pico de velocidade (Gráfico 37) do segundo bloco pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação não indicou diferença significativa no fator grupos $F(1, 26)=2,6301$, $p=,11$. Também não foi encontrada diferenças entre blocos $F(2, 52)=1,5820$, $p=,21$ e interação $F(2, 52)=2,1807$, $p=,12$.

Gráfico 37 - Média do tempo para o pico de velocidade do GSE e GE.

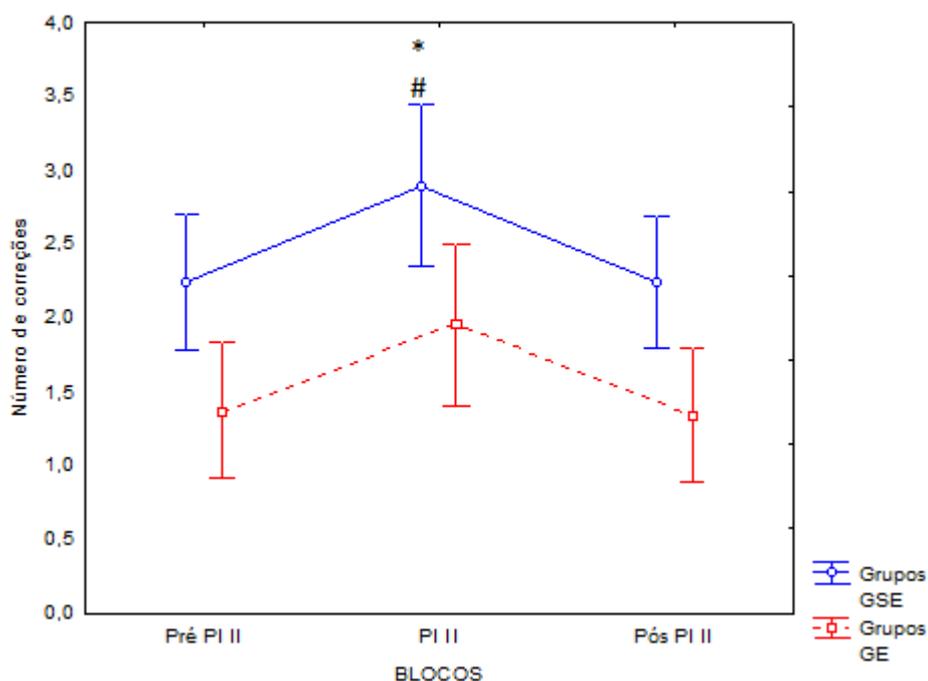
Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



A análise do número de correções (Gráfico 38) do segundo bloco pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação indicou diferença significativa no fator grupos $F(1, 26)=7,6147$, $p=,01$, sendo maior número de correção para o GSE. Também foi encontrada diferenças entre blocos $F(2, 52)=65,830$, $p=,00$ mas não foi encontrada interação $F(2, 52)=,17910$, $p=,83$.

Gráfico 38 - Média do número de correções do GSE e GE.

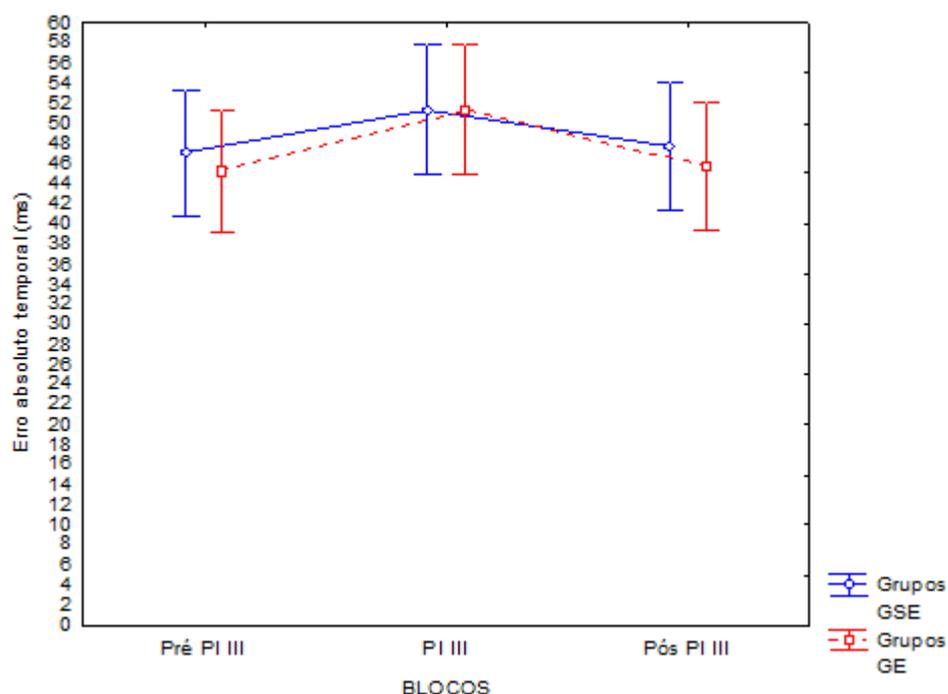
Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



A análise da precisão do desempenho (erro absoluto temporal) do terceiro bloco não indicou diferença entre os grupos $F(1,26)=,25399$, $p=,61$, entre blocos $(2,52)=1,7593$, $p=,18$ e nem interação $F(2, 52)=,06916$, $p=,93$. Isto significa que quando foi inserida perturbação ambos os grupos mantiveram o desempenho.

Gráfico 39 - Média do erro absoluto temporal (ms) para os grupos GE e GSE.

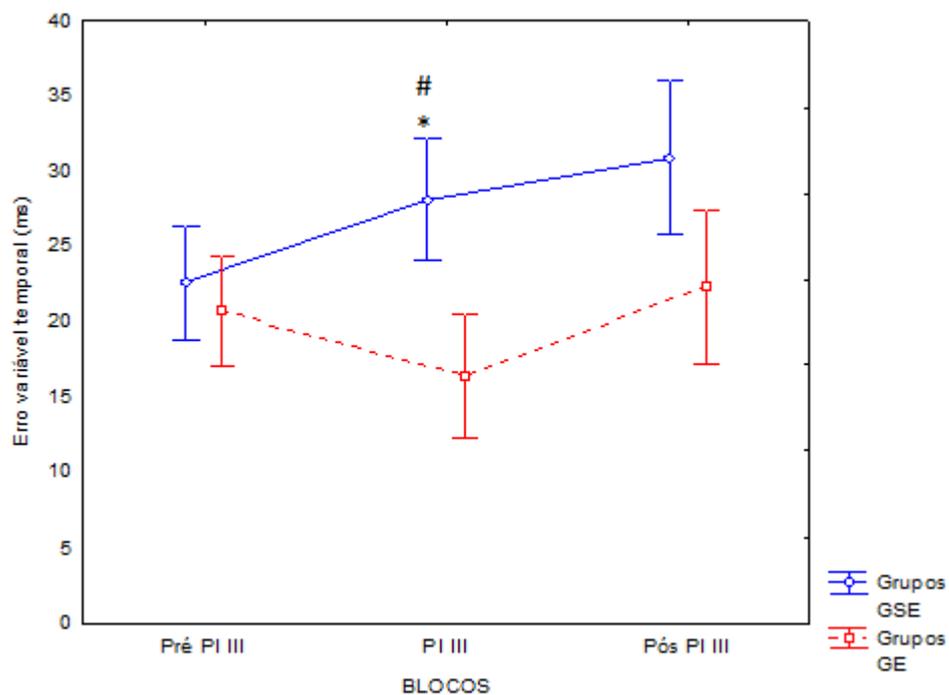
Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



A análise da consistência do desempenho (Desvio padrão do erro temporal) (Gráfico x) do terceiro bloco pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação indicou diferença significativa no fator grupos $F(1, 26)=16,923$, $p=,00$, sendo maior variabilidade para o GSE. Também foi encontrada diferença no fator blocos $F(2, 52)=3,4443$, $p=,03$ e interação $F(2, 52)=3,0405$, $p=,04$. O post hoc da interação detectou que quando inserida perturbação o GSE apresentou maior variabilidade que o GE ($p<,05$).

Gráfico 40 - Média do desvio padrão do erro temporal do GSE e GE.

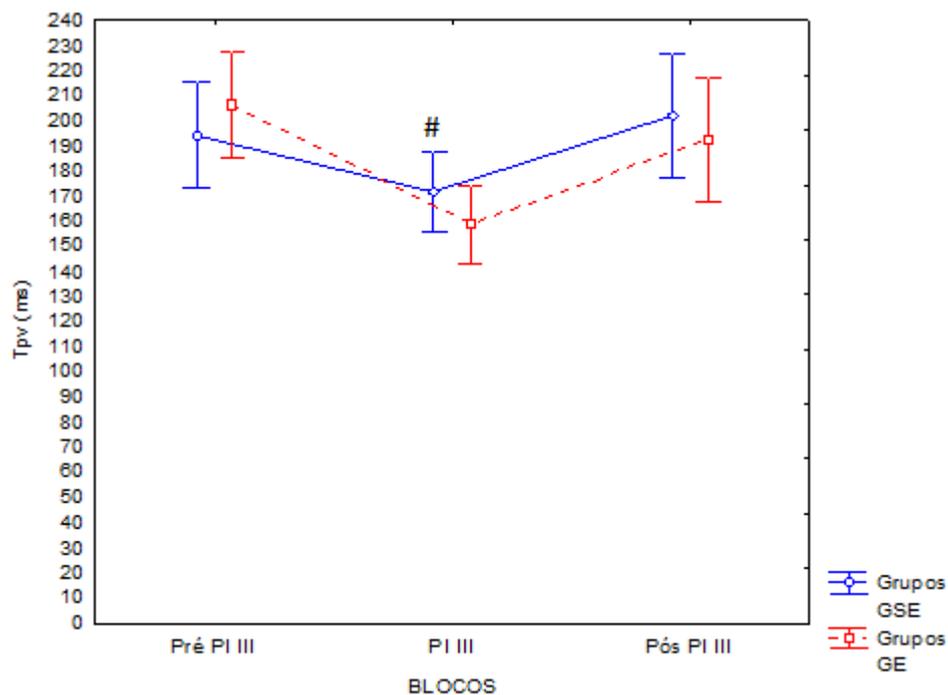
Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



A análise do tempo para o pico de velocidade (Gráfico 41) do terceiro bloco pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação não indicou diferença significativa no fator grupos $F(1, 26)=2,6301$, $p=,11$. Foi encontrada diferenças entre blocos $F(2, 52)=16,332$, $p=,00$, sendo que o tPV diminuiu no bloco com perturbação ($p<,05$). Não foi encontrada interação significativa $F(2, 52)=1,9610$, $p=,15$.

Gráfico 41 - Média do tempo para o pico de velocidade do GSE e GE.

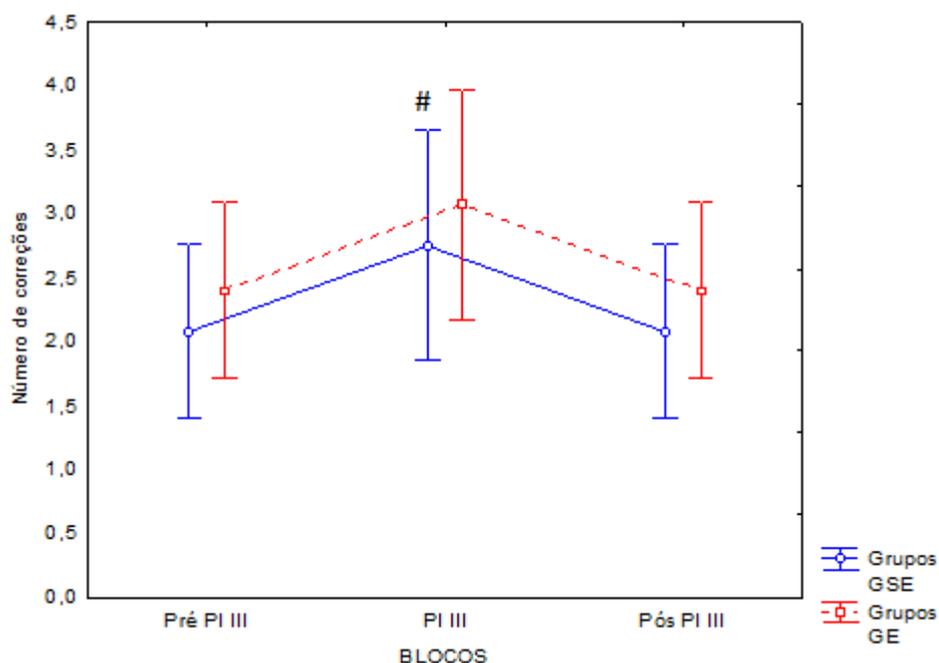
Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



A análise do número de correções (Gráfico 42) do terceiro bloco pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação não indicou diferença significativa no fator grupos $F(1, 26)=,37686$, $p=,54$. Foi encontrada diferença significativa entre blocos $F(2, 52)=53,541$, $p=,00$, sendo que o post hoc detectou maior número de correção no bloco de perturbação em relação ao pré e pós ($p<,05$). Não foi encontrada interação $F(2, 52)=,00456$, $p=,99$.

Gráfico 42 - Média do número de correções do GSE e GE.

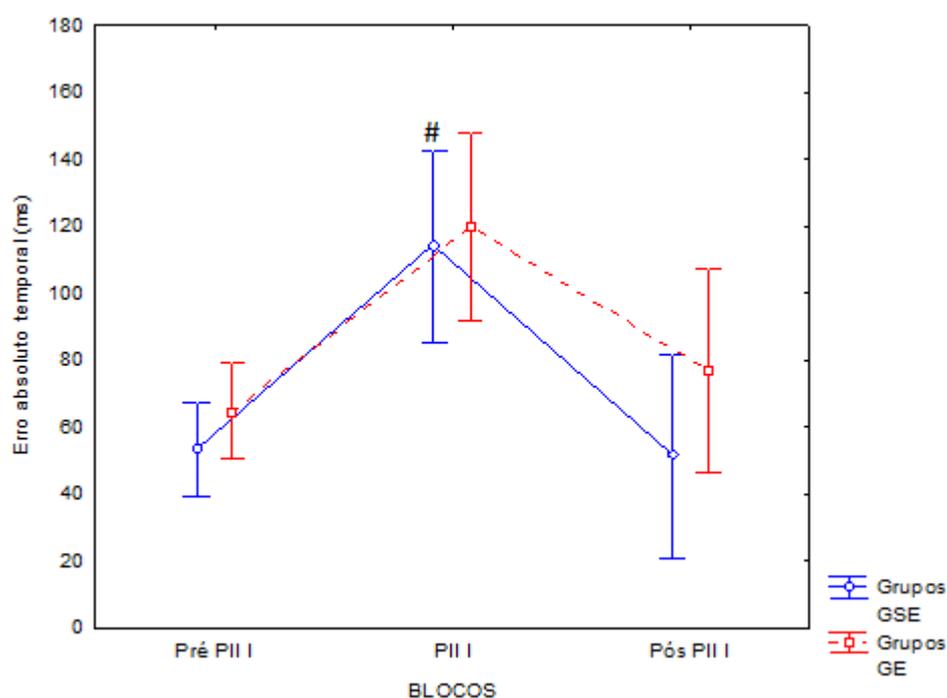
Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



b) Perturbação II (PII)

A análise da precisão do desempenho (erro absoluto temporal) (Gráfico 43) do primeiro bloco de perturbação indicou diferença significativa no fator blocos $F(2, 52)=13,891$, $p=,00$, sendo que o post hoc identificou que o desempenho no bloco com perturbação foi menos preciso do que no bloco Pré ($p<0,05$). Além disso, apesar dos grupos não manterem o desempenho no bloco de perturbação, ambos retomaram o desempenho quando foi retirada a perturbação. Não houve interação significativa entre grupos e blocos $F(2, 52)=,34385$, $p=,71$ e nem diferença no fator grupos $F(1, 26)=1,8256$, $p=,18828$.

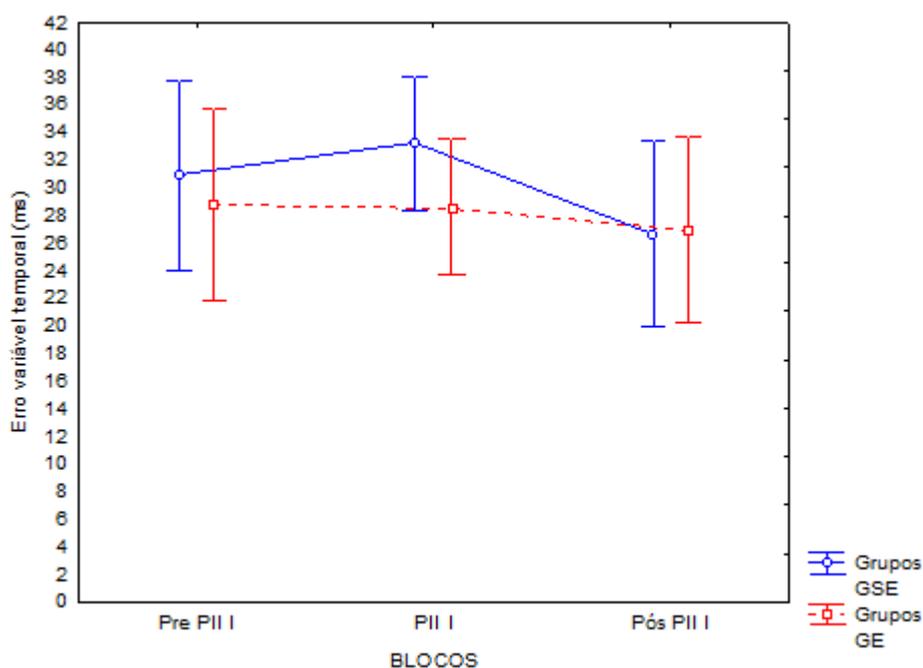
Gráfico 43 - Média do erro absoluto temporal (ms) para os grupos GE e GSE.



A análise da consistência do desempenho (Desvio padrão do erro temporal) (Gráfico 44) do primeiro bloco pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação não indicou diferença significativa no fator grupos $F(1, 26)=,06462$, $p=,80$, no fator blocos $F(2, 52)=1,1094$, $p=,33$ e nem interação $F(2, 52)=,04530$, $p=,95$.

Gráfico 44 - Média do desvio padrão do erro temporal do GSE e GE.

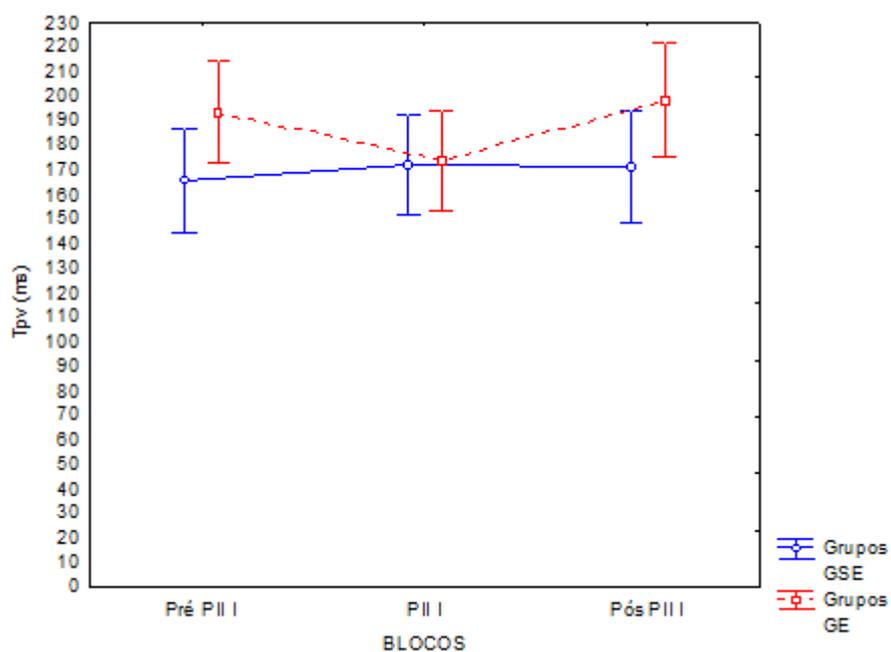
Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



A análise do tempo para o pico de velocidade (Gráfico 45) do primeiro bloco pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação não indicou diferença significativa no fator grupos $F(1, 26)=2,1184$, $p=,15$. Também não foram encontradas diferenças entre blocos $F(2, 52)=1,8405$, $p=,16$ e nem interação $F(2, 52)=2,9730$, $p=,05$.

Gráfico 45 - Média do tempo para o pico de velocidade do GSE e GE.

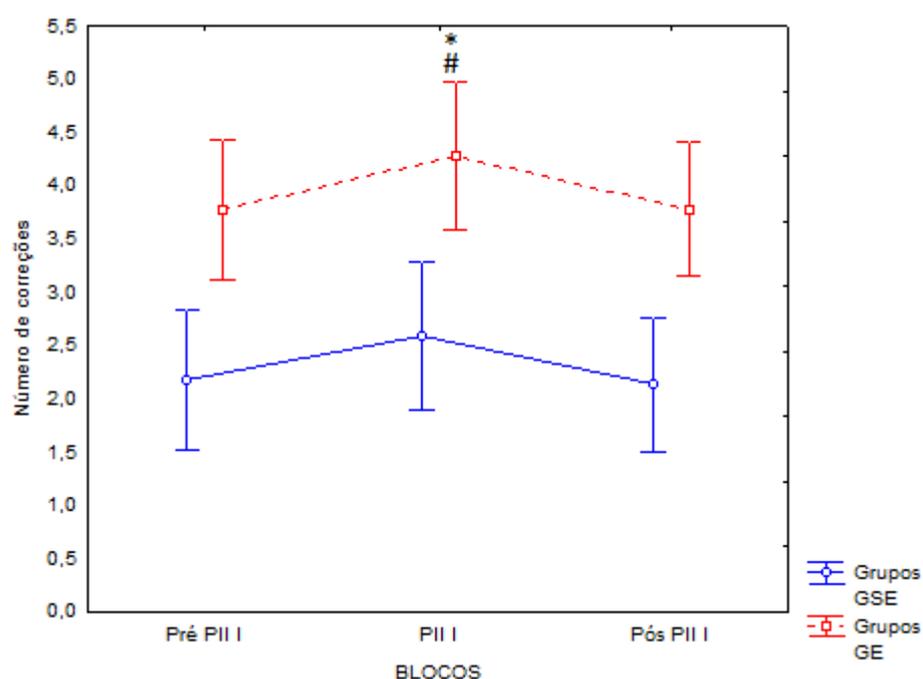
Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



A análise do número de correções (Gráfico 46) do primeiro bloco pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação indicou diferença significativa no fator grupos $F(1, 26)=13,227$, $p=,00$, sendo que o post hoc identificou maior número de correção do GE em relação ao GSE. Foi encontrada diferenças entre blocos $F(2, 52)=66,459$, $p=,00$ sendo maior número de correção no bloco de perturbação em relação ao pré e pós ($p<,05$). Não foi encontrada interação significativa $F(2, 52)=,47921$, $p=,62$.

Gráfico 46 - Média do número de correções do GSE e GE.

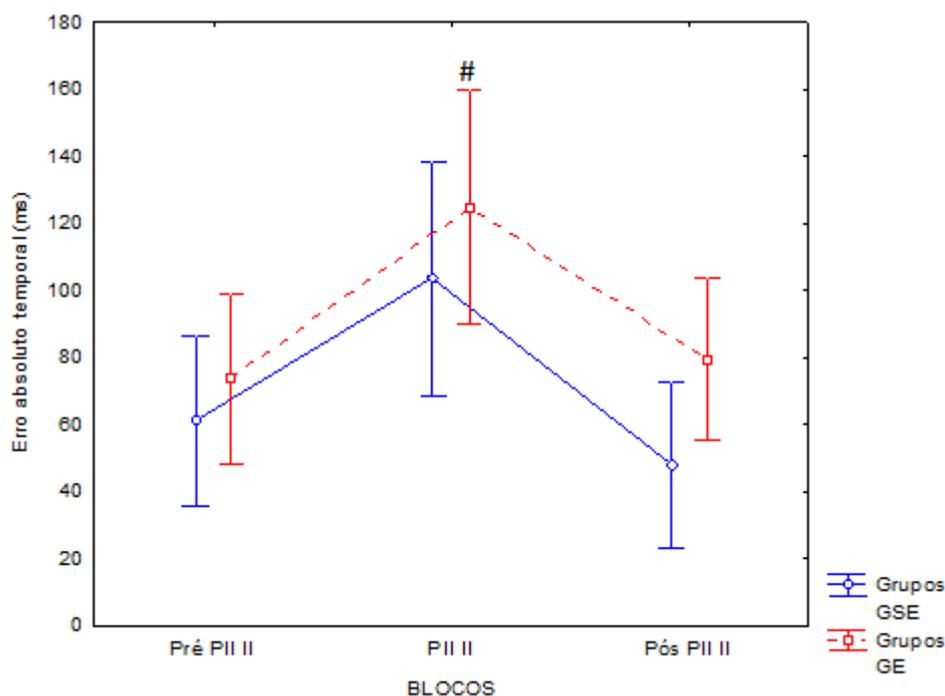
Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



A análise da precisão do desempenho (erro absoluto temporal) (Gráfico 47) do segundo bloco de perturbação indicou diferença significativa no fator blocos $F(2, 52)=10,654$, $p=,00$. O post hoc detectou que quando foi inserida perturbação o erro aumentou ($p<,05$), porém, quando retirada a perturbação, ambos os grupos retomaram o desempenho ($p>,05$). Não houve efeito significativo da interação grupos e blocos $F(2, 52)=,30714$, $p=,73$ e não houve diferença no fator grupos $F(1, 26)=2,4770$, $p=,12$.

Gráfico 47 - Média do erro absoluto temporal (ms) para os grupos GE e GSE.

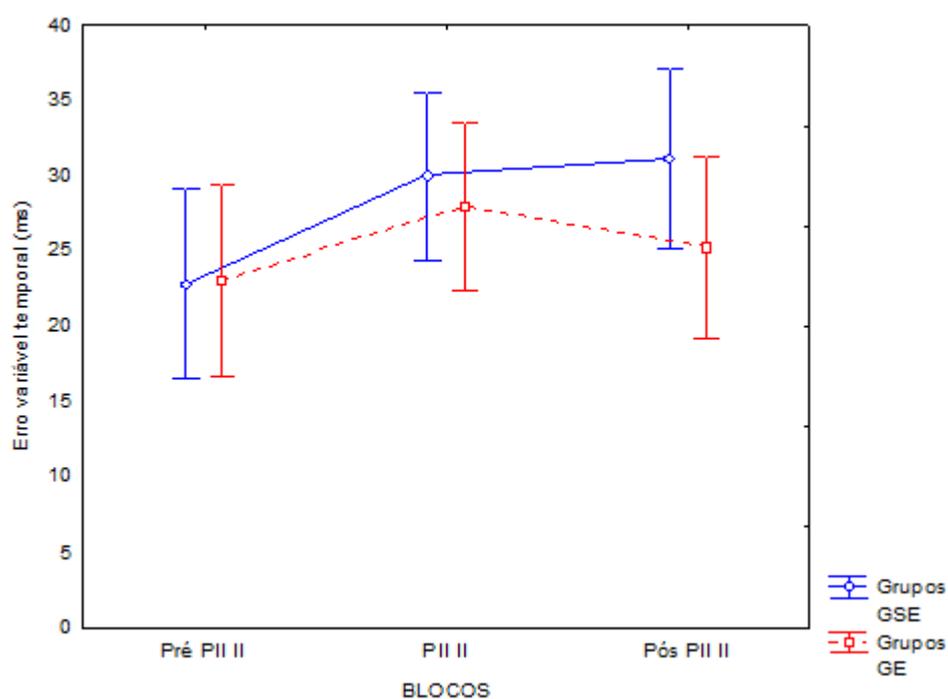
Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



A análise da consistência do desempenho (Desvio padrão do erro temporal) (Gráfico 48) do segundo bloco pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação não indicou diferença significativa no fator grupos $F(1, 26)=,71134$, $p=,40$, no fator blocos $F(2, 52)=3,1409$, $p=,051$ e nem interação $F(2, 52)=1,4626$, $p=,24$.

Gráfico 48 - Média do desvio padrão do erro temporal do GSE e GE.

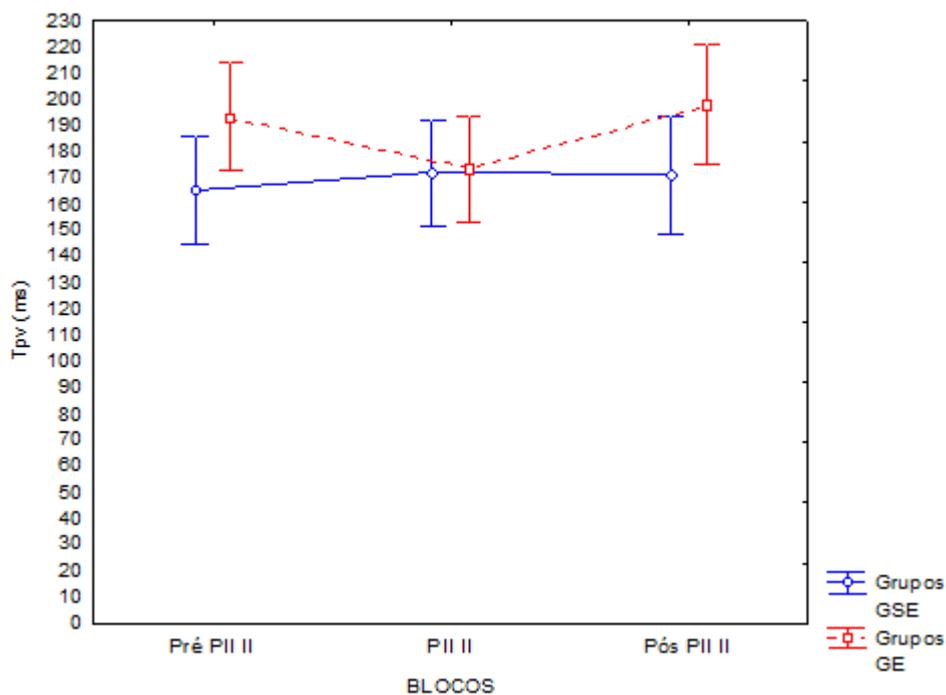
Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



A análise do tempo para o pico de velocidade (Gráfico 49) do segundo bloco pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação não indicou diferença significativa no fator grupos $F(1, 26)=2,1184$, $p=,15$. Também não foram encontradas diferenças entre blocos $F(2, 52)=1,8405$, $p=,16$ e nem interação $F(2, 52)=2,9730$, $p=,05$.

Gráfico 49 - Média do tempo para o pico de velocidade do GSE e GE.

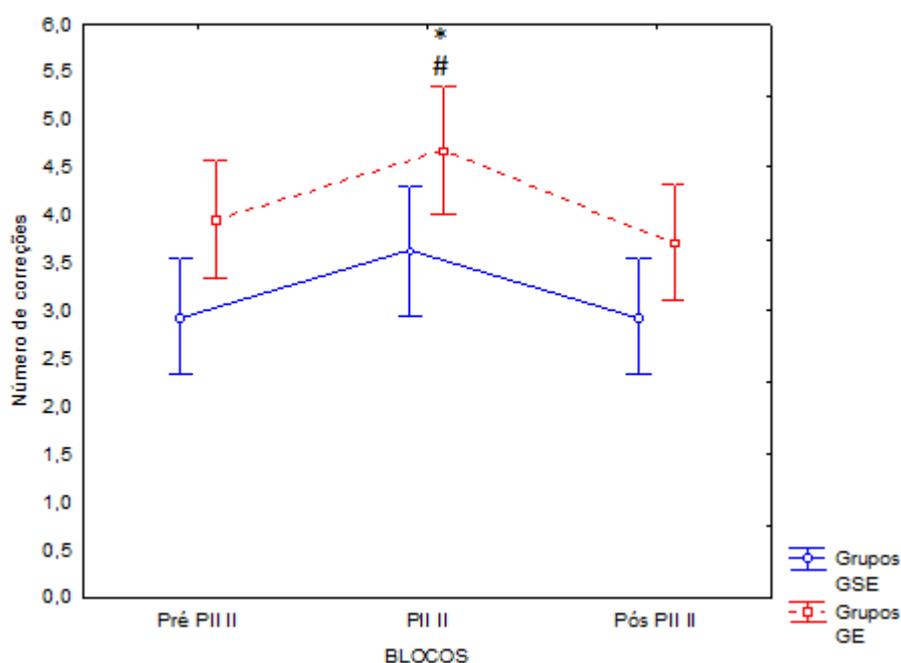
Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



A análise do número de correções (Gráfico 50) do segundo bloco pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação indicou diferença significativa no fator grupos $F(1, 26)=5,1410$, $p=,03$, sendo maior número de correção do GE em relação ao GSE. Foi encontrada diferenças entre blocos $F(2, 52)=44,291$, $p=,00$ sendo maior número de correção no bloco de perturbação em relação ao pré e pós ($p<,05$). Não foi encontrada interação $F(2, 52)=1,2606$, $p=,29$.

Gráfico 50 - Média do número de correções do GSE e GE.

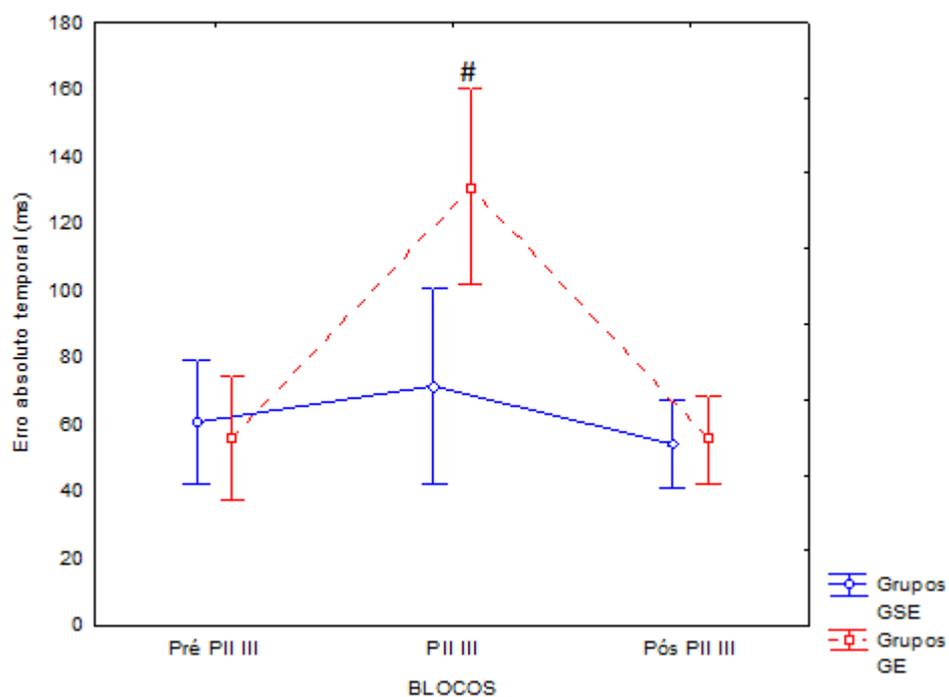
Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



A análise da precisão do desempenho (erro absoluto temporal) (Gráfico 51) do terceiro bloco de perturbação indicou diferença significativa no fator blocos $F(2, 52)=15,985$, $p=,00$ e interação $F(2, 52)=7,6772$, $p=,00$. O post hoc da interação detectou que o GSE manteve o desempenho no bloco de perturbação ($p>,05$), mas o GE piorou ($p<,05$). Quando foi retirada a perturbação ambos os grupos mantiveram o desempenho do bloco pré.

Gráfico 51 - Média do erro absoluto temporal (ms) para os grupos GE e GSE.

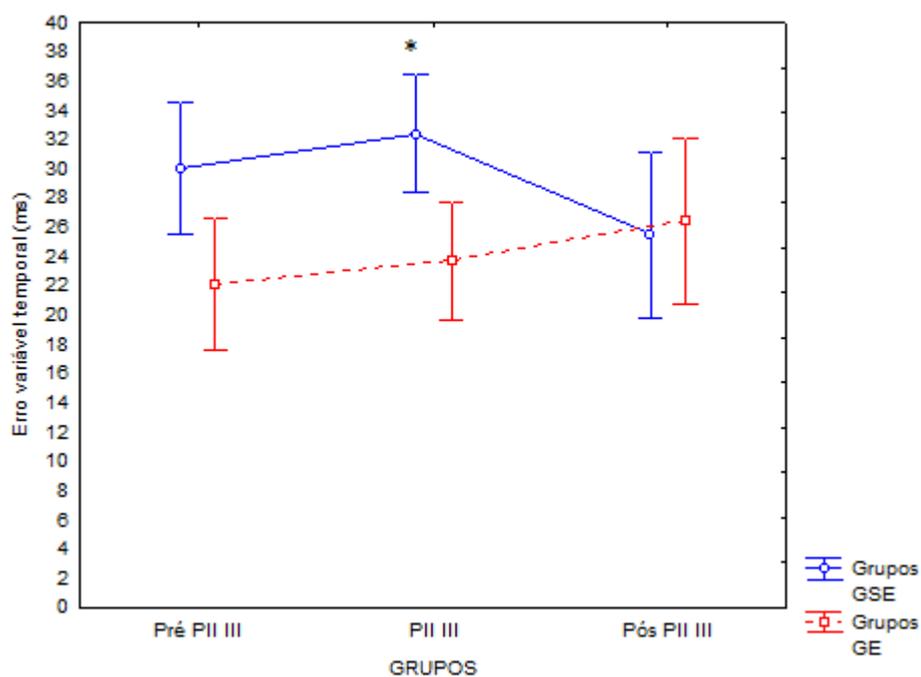
Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



A análise da consistência do desempenho (Desvio padrão do erro temporal) (Gráfico 52) do terceiro bloco pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação indicou diferença significativa no fator grupos $F(1, 26)=11,222$, $p=,00248$, sendo maior variabilidade para o GSE. Não foi encontrada diferenças significantes entre blocos $F(2, 52)=,57338$, $p=,56$ e nem interação $F(2, 52)=2,9735$, $p=,059$.

Gráfico 52 - Média do desvio padrão do erro temporal do GSE e GE.

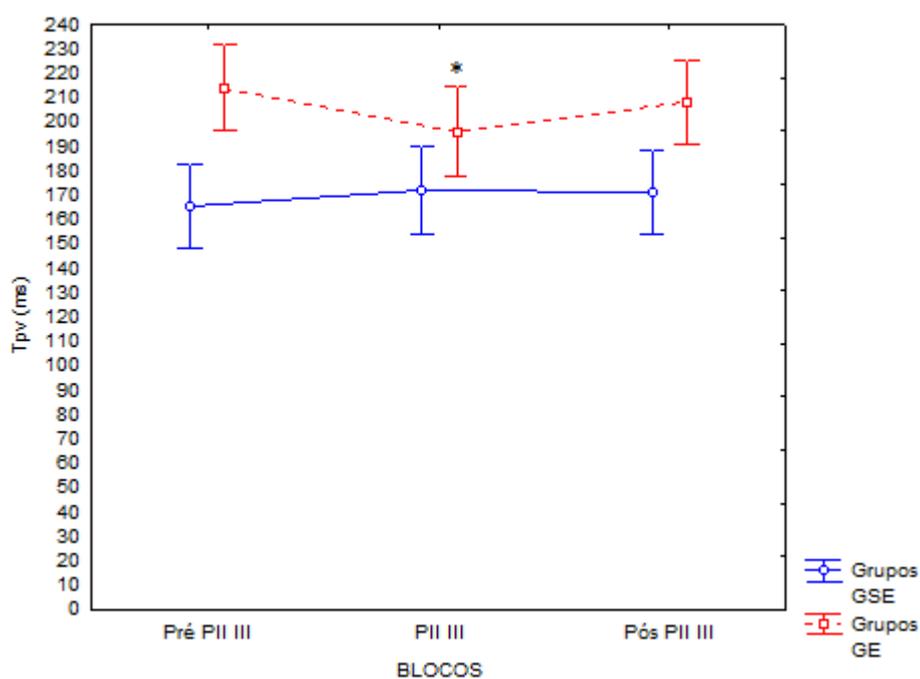
Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



A análise do tempo para o pico de velocidade (Gráfico 53) do terceiro bloco pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação indicou diferença significativa no fator grupos $F(1, 26)=12,645$, $p=,00$, sendo menor tempo para o pico de velocidade do GSE em relação ao GE. Não foram encontradas diferenças entre blocos $F(2, 52)=,66243$, $p=,51$ e nem interação $F(2, 52)=2,3736$, $p=,10$.

Gráfico 53 - Média do tempo para o pico de velocidade do GSE e GE.

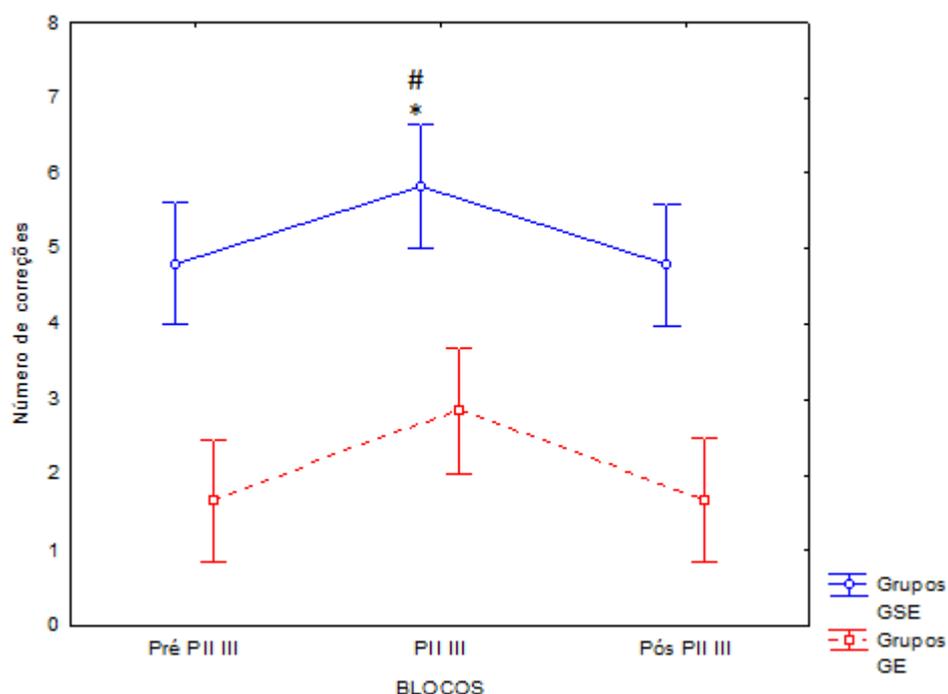
Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos



A análise do número de correções (Gráfico 54) do terceiro bloco pré-perturbação, perturbação e pós-perturbação indicou diferença significativa no fator grupos $F(1, 26)=31,260$, $p=,00$, sendo maior número de correção do GSE em relação ao GE. Foi encontrada diferenças entre blocos $F(2, 52)=74,388$, $p=,00$, sendo maior número de correção no bloco de perturbação em relação ao pré e pós. Não foi encontrada interação $F(2, 52)=,44951$, $p=,64$.

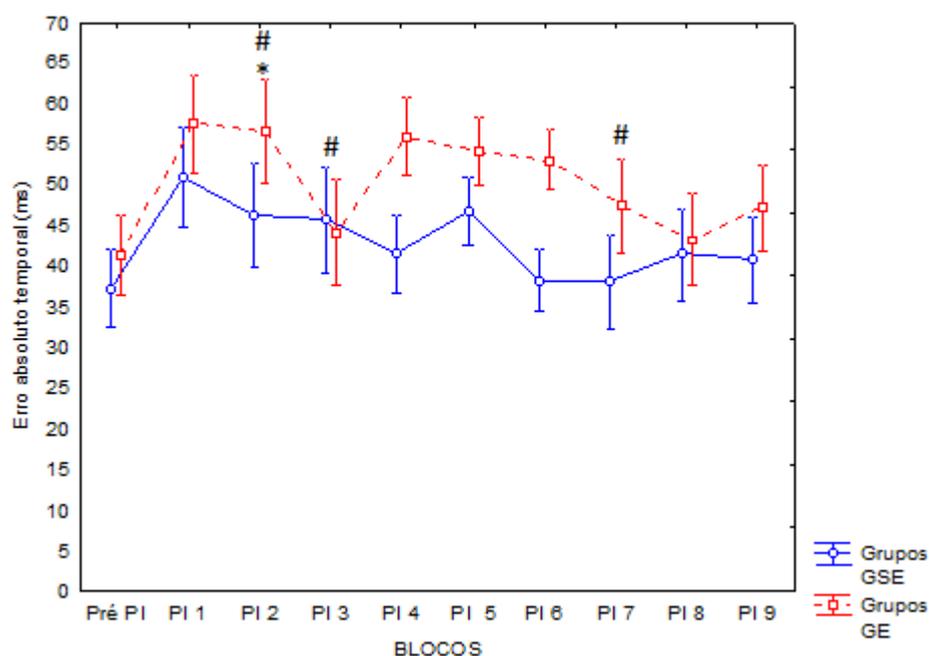
Gráfico 54 - Média do número de correções do GSE e GE.

Os blocos assinalados com (#) representa diferença entre blocos e assinalados com (*) representa diferença entre os grupos

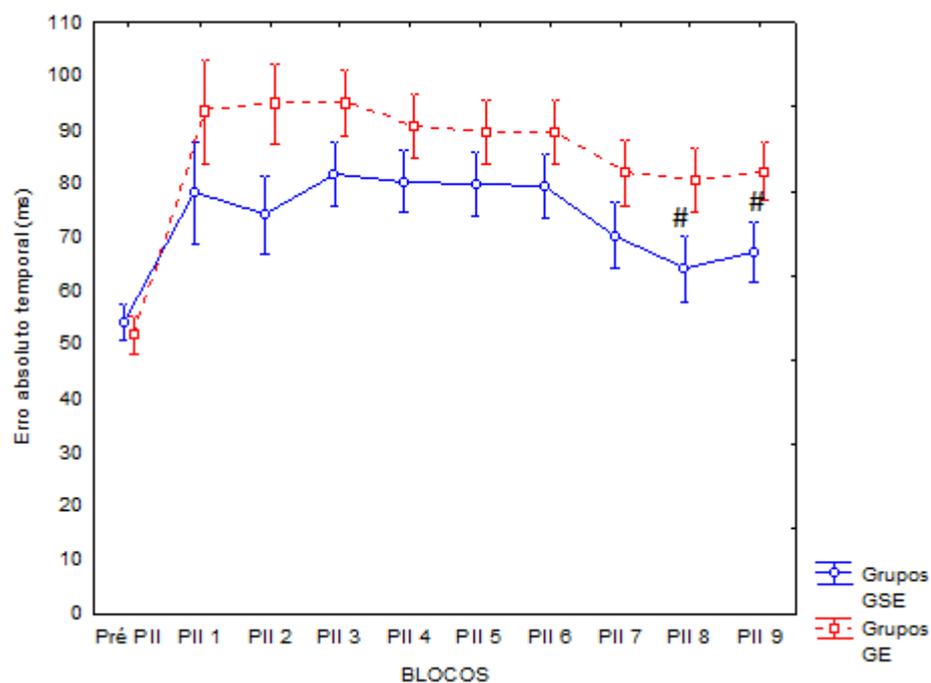


Assim como no experimento 1, abaixo será apresentado a análise das nove perturbações em comparação com as três tentativas iniciais da fase de exposição. Para esta análise foram conduzidas ANOVAS *two way* (2 grupos x 10 blocos), comparando GE e GSE. O teste de Tukey (*post hoc*) foi utilizado na comparação par a par, quando necessário. O nível de significância adotado foi de $p \leq 0,05$.

A análise do erro absoluto temporal da PI (Gráfico 54) indicou diferença significativa no fator grupos $F(1, 26)=22,864$, $p=,00$ com o GSE apresentando menor erro. Também foram encontrados efeitos significativos no fator blocos $F(9, 234)=4,5647$, $p=,00$ e na interação $F(9, 234)=2,9044$, $p=,00$. O post hoc da interação mostrou que o GSE conseguiu se adaptar a partir da terceira perturbação e o GE se adapta na terceira perturbação, mas volta a piorar o desempenho e se adapta novamente ao final da fase 7°, 8° e 9° blocos.



A análise do erro absoluto temporal da PII (Gráfico 54) indicou diferença significativa no fator grupos $F(1, 26)=36,410$, $p=,00$ com o GSE apresentando menor erro, blocos $F(9, 234)=27,154$, $p=0,00$ e interação $F(9, 234)=2,2073$, $p=,02$. O post hoc da interação mostrou que o GSE conseguiu se adaptar nos três últimos blocos e o GE não se adapta em nenhum bloco.



8.2 Síntese dos resultados

A análise da PI mostrou que a prática até a superestabilização do desempenho levou a um melhor desempenho frente a perturbação e à adaptação mais rápida (segundo e terceiro bloco de perturbação) enquanto o nível de estabilização se adapta apenas no terceiro bloco. O GSE apresentou maior variabilidade no terceiro bloco em relação a GE. Sobre as medidas de controle, os dois grupos foram semelhantes na medida de tempo para pico de velocidade, mas se diferiram com relação à correção no movimento. O GSE apresenta maior correção no segundo bloco de perturbação, bloco em que também se adapta.

Com relação à PII a prática até a superestabilização levou a um melhor desempenho sendo que este grupo se adaptou no terceiro bloco enquanto que o nível de estabilização não se adaptou em qualquer bloco de perturbação. Ainda no terceiro bloco, a variabilidade do GSE foi maior em relação ao GE. Com relação às medidas de controle, os grupos foram semelhantes no primeiro e segundo blocos, mas se diferiram no terceiro bloco, sendo o GSE teve menor tempo para o pico de velocidade. Com relação às correções no movimento observamos um resultado interessante; o GE no primeiro e segundo bloco apresenta maior número de correções, mas não se adapta. Em contrapartida, o GSE apresenta maior número de correção no terceiro bloco de perturbação e se adapta.

Novamente ao analisar as tentativas de perturbações como forma de processo, observamos que nossos resultados foram parecidos com a análise em blocos de três, mostrando os efeitos do maior nível de estabilização também mediante perturbações imprevisíveis.

8.3 Discussão

O objetivo deste estudo foi investigar como indivíduos que se encontram em dois diferentes níveis de estabilização do desempenho se adaptam a perturbações imprevisíveis inseridas após o movimento ter sido iniciado em uma tarefa de interceptação. Os resultados mostraram que o GSE se adaptou melhor às perturbações do que o GE.

A primeira hipótese do estudo foi que, na primeira fase do experimento, o desempenho dos grupos estabilização e superestabilização seria semelhante no que

se refere à precisão do desempenho, mas seria diferente no se que se refere a variabilidade do desempenho e também que o mecanismo de controle predominante seria o *feedforward*. Durante a primeira fase, a manipulação do critério de desempenho refletiu em diferença na quantidade de prática realizada por cada grupo. O GSE praticou mais do que o GE, o que realmente resultou em dois diferentes níveis de estabilização do desempenho (COUTO, 2012). Conforme esperado, esta diferença no nível de estabilização não influenciou no desempenho nem na cinemática dos grupos na condição de velocidade constante de deslocamento do alvo, já que seus comportamentos foram similares no início e no final desta fase. Mais especificamente, no último bloco da pré-exposição o desempenho dos grupos foi mais preciso (menor erro absoluto) e mais consistente (menor erro variável) do que no primeiro bloco, mas sem diferença entre ambos. Esperava-se que ao final desta fase o grupo GSE apresentasse uma maior variabilidade, mas para esta tarefa não foi o caso, portanto no que se refere ao desempenho, nossa hipótese foi confirmada somente em relação à precisão. Estudos anteriores mostraram que o nível de superestabilização tem maior variabilidade ao final da pré-exposição (COUTO, 2012; UGRINOWITSCH et al, 2014). Uma possibilidade é que o critério de desempenho neste estudo, com um maior número de tentativas consecutivas, resultou em uma estrutura mais consistente, visto que a tarefa é a mesma no estudo de Couto (2012), o que inviabiliza a hipótese da especificidade da tarefa. Esta questão ainda deve ficar para estudos futuros.

Os diferentes níveis de estabilização do desempenho alcançados durante a pré-exposição também não influenciaram o tempo para o pico de velocidade (tPV). Em tarefas de interceptação rápida a alvos móveis (inferiores a 500 ms), um comportamento comum observado é que, após aprenderem a tarefa, os sujeitos programam sua ação antes de iniciarem o movimento. Isso reflete no alcance do pico de velocidade no momento ou próximo ao momento da interceptação, ou seja, na porção final do movimento (SMEETS; BRENNER, 1995; TRESILIAN, 2005). Este comportamento foi observado tanto no GE quanto no GSE, sendo o tPV maior no último bloco da pré-exposição em relação ao primeiro, indicando que a estratégia de controle predominante utilizada pelos grupos quando é atingida a estabilização do desempenho foi a pré-programação. Estudos anteriores com tarefa de interceptação apresentam resultados semelhantes (TRESILIAN; PLOY, 2006b; COUTO, 2012).

Estes resultados poderiam representar o processo finito de aprendizagem motora encontrado no estágio automatizado de aprendizagem (FITTS; POSNER, 1967). Consequentemente, poder-se-ia inferir que o nível de estabilização de ambos os grupos foi suficiente para organizar uma estrutura similar que controla a habilidade motora. Entretanto, se estamos assumindo que a aprendizagem motora é um processo contínuo que vai além da estabilização do desempenho (TANI et al., 2014), é possível esperar que a superestabilização do desempenho garantiria melhor desempenho sob condições que requereria mudanças na habilidade previamente aprendida (UGRINOWITSCH et al., 2011; FONSECA et al., 2012). Esta foi nossa segunda hipótese, e que foi testada na segunda fase do experimento, quando houve a exposição à perturbação.

Apesar de diferenças entre os grupos não terem sido observadas durante a pré-exposição, estas se tornaram visíveis na exposição, quando os indivíduos se depararam com demandas na tarefa diferentes daquelas com as quais aprenderam a lidar durante a primeira fase. As diferenças entre os grupos, resultantes da primeira fase de formação de uma estrutura de controle, devem aparecer quando é exigida a capacidade de modificar (FONSECA et al., 2012). Estes resultados confirmam a segunda hipótese deste estudo.

No primeiro bloco de análise da PI (PI I), a precisão do desempenho dos grupos diminuiu, mas foi retomada no bloco Pós PI I. Provavelmente, no nosso experimento os grupos não conseguiram se adaptar às três primeiras perturbações (PI) porque as perturbações foram além da capacidade dos dois grupos de modificarem o planejamento para atingir a meta. Esta hipótese foi baseada na ausência de mudança no tPV (indicativo de planejamento), o que diminuiu a possibilidade de correções. Contudo, os dois grupos aumentaram o número de correções na tentativa com perturbação (Pré PI I e PI I). Estes resultados indicam que ambos os grupos planejaram seus movimentos fundamentados nas tentativas anteriores, tentaram modifica-lo quando identificaram a perturbação, mas não o suficiente para atingir a meta.

Esta dificuldade nas modificações observada nos dois grupos pode ser devido às características da perturbação: a imprevisibilidade. A dificuldade de adaptação a perturbações imprevisíveis é maior quando comparada às previsíveis (MARINOVIC; PLOOY; TRESILIAN; 2010). Os resultados indicam que os dois grupos tiveram a

mesma capacidade de identificar as alterações na velocidade, e também tiveram a mesma falta de capacidade de realizar as correções necessárias para atingir a meta.

Contudo, a continuidade da prática nesta segunda fase permitiu mostrar os efeitos da variável independente manipulada na primeira fase, pois no segundo bloco da PI (PI II) o GSE foi mais preciso que o GE. Mais especificamente, mesmo com a modificação da velocidade do alvo (aumento de velocidade), o GSE atingiu a meta com precisão. Neste bloco já apareceram as diferenças para enfrentar a perturbação resultantes do diferente nível de estabilização do desempenho atingido na primeira fase, corroborando com os resultados anteriores obtidos nas perturbações previsíveis (UGRINOWITSCH et al 2011; 2014) ou ainda com perturbações imprevisíveis (COUTO, 2012).

Durante a perturbação o GSE manteve o tPV, e, apesar disso, conseguiu realizar um maior número de correções do que o apresentado pelo GE. Elliot et al., (2010) ressaltam que uma estratégia que auxilia na correção dos movimentos está relacionada ao adiantamento do pico de velocidade. Quando os indivíduos agem desta maneira, eles se beneficiam de um tempo “extra” após o pico de velocidade que é utilizado para realização de correções no final do movimento. Apesar do GSE não ter agido desta forma, ainda assim aumentou o número de correções e se adaptou. A prática além da estabilização, provavelmente possibilitou que o GSE se tornasse mais competente do que o GE para processar o *feedback* de maneira mais rápida e eficiente, e conseqüentemente se adaptar às perturbações.

Ugrinowitsch et al., (2011), Fonseca et al., (2012) e Couto (2012) também observaram resultados semelhantes em uma tarefa de *timing* coincidente. Nestes estudos também foram manipulados diferentes níveis de estabilização do desempenho e o grupo superestabilização também apresentou melhores resultados, sendo que o nível de supesestabilização deixou mais tempo para o último componente, o que implica em maiores possibilidades de correções na parte final da tarefa. O presente estudo vem propor na perspectiva do Processo Adaptativo que a reserva/sobra adquirida do grupo superestabilização proporcionou uma maior quantidade de informação, a qual foi utilizada para reorganizar a tentativa e conseguir se adaptar. Esta reserva de capacidade proporciona mais competência ao sistema motor para usar recursos e enfrentar mudanças ambientais (PINHEIRO et al., 2015).

No bloco PI III, quando inserida a perturbação, os dois grupos mantiveram a precisão em relação ao bloco pré-perturbação e, portanto ambos adaptaram. Esta capacidade tardia adquirida pelo GE para se adaptar também foi observada no estudo de Ugrinowitsch et al (2011; 2014) e corrobora com a proposta de Tani (2005) de entender o processo de aprendizagem como indo além da estabilização do desempenho. Assim como no experimento 1, o GSE apresentou maior variabilidade no PI III. A alta variabilidade do GSE no bloco de perturbação em relação ao GE como já colocado anteriormente, especula-se que não está relacionado à inconsistência, mas sim a uma espécie de reserva do sistema, ou seja, o sistema flutua devido ao domínio da tarefa (TANI et al. 2014). Ainda corroborando com esta questão, Toner; Moran (2011) colocam que a variabilidade observada em algumas condições específicas pode ser uma consequência da dificuldade na tarefa, mas também pode ser uma estratégia para encontrar a melhor solução para uma nova restrição. No presente estudo a restrição é a perturbação, e a variabilidade frente à perturbação pode ser resultante da combinação do nível de estabilização atingido na primeira fase à quantidade de prática da segunda fase. Esta combinação daria ao sistema neuro-motor a possibilidade de buscar novas estratégias para atingir a meta da tarefa mesmo diante de perturbações.

Com relação à perturbação de menor magnitude (PII – diminuição da velocidade do alvo) os dois grupos perderam a precisão nas tentativas nas quais a velocidade do alvo era diminuída. A análise descritiva apresentou alguns resultados interessantes, por exemplo, o maior número de correções do GE tanto no primeiro quanto no segundo bloco. Entretanto, o aumento nas correções não proporcionou mudança o suficiente para que pudesse manter a precisão. No terceiro bloco de perturbação, apenas o GSE manteve a precisão quando foi inserida perturbação. Neste bloco, o GSE apresentou maior variabilidade, um menor tempo para o pico de velocidade, aumentou o número de correções, e também se adaptou. Assumindo que as características cinemáticas mudam a fim de atender às demandas da tarefa, Elliot et al., (1999) destacam que a redução do tPV ocorre para que o indivíduo tenha tempo para usar a visão depois do pico e assim modular a desaceleração, ou ainda realizar ajustes, quando necessário.

Ainda com relação à perturbação de menor magnitude, apenas o GSE manteve a precisão no terceiro bloco de perturbação. Parece que, quando a velocidade do alvo foi diminuída, foi mais difícil manter a precisão e adaptar. Brenner

et al. (2012) colocam que para obter maior precisão temporal é vantagem o indivíduo mover-se mais rápido. Tresilian e Lonergan (2002) compararam a precisão temporal durante a interceptação de alvos que se deslocavam com diferentes velocidades. Os resultados mostraram que uma maior precisão temporal era alcançada diante de alvos mais rápidos, do que diante de alvos que se deslocavam mais lentamente. A estratégia utilizada pelos sujeitos era esperar o alvo chegar o mais próximo da zona de interceptação para iniciar a ação, o que resultou em aumento da velocidade de movimento e consequente redução do tempo de movimento (MARINOVIC; PLOOY; TRESILIAN, 2009).

LE RUNIGO et al. (2005); TEIXEIRA et al. (2006a) investigaram as correções *on line* nas dimensões temporais de movimentos de interceptação e constataram que a transição de movimentos lentos para movimentos rápidos foi implementada através de processos mais eficientes e precisos do que quando a transição a ser feita era de rápidos para lentos. Quando os movimentos precisam ser acelerados, as ações corretivas acontecem na mesma direção do movimento, o que parece ser menos prejudicial para a ação motora que já se encontra em curso. Neste caso, a mesma estrutura do comando motor seria mantida por apenas aumentar a ativação dos músculos agonistas. Em situações nas quais a velocidade do alvo diminuiu, a desaceleração de um movimento já iniciado é implementada pela ativação de músculos antagonistas simultaneamente com a redução da ativação dos agonistas (MARINOVIC, et al., 2009a).

Em situações de desaceleração, a competição entre inibição de respostas e processo de ativação resulta em uma modificação mais dramática na estrutura de controle motor do que frente a demandas de aceleração (NETO; TEIXEIRA, 2011).

O desempenho do GSE frente às perturbações corrobora com os resultados apresentados por Couto (2012) que também verificaram adaptação quando havia diminuição da velocidade do alvo apenas para o grupo com maior nível de estabilização. Provavelmente somente o GSE conseguiu se adaptar devido à dificuldade de modificação para reduzir a velocidade indicada por Neto e Teixeira (2011). Assim, a terceira hipótese deste estudo foi parcialmente confirmada no qual preconizava que a adaptação dos grupos ocorreria graças à utilização predominante de *feedback*. Esta proposição foi aceita apenas para o GSE, visto que este grupo antecipa o tempo para o pico de velocidade (reorganiza a medida de macroestrutura) e consegue se adaptar. Se o grupo estabilização não consegue manter a precisão

em bloco algum quando o alvo diminui a velocidade, além disso, não modifica o tPV, talvez este grupo não soube utilizar as informações adquiridas durante a busca da estabilização do desempenho para reajustar seu comportamento e se adaptar.

No geral, os resultados apresentados indicaram que alcançar a superestabilização do desempenho é suficiente para a situação experimental testada. A superestabilização do desempenho poderia ser entendida como a capacidade de formação de um programa de ação flexível, que pode ser generalizada em contextos nos quais mudanças imprevisíveis são inseridas (FONSECA et al., 2012). A utilização dos mecanismos de *feedback* responsáveis por retroalimentar esta estrutura, permite que os seres humanos modifiquem um movimento já iniciado diante de mudanças ambientais imprevisíveis e alcancem a meta da tarefa.

8.4 Conclusão

No geral, os resultados com a perturbação previsível foram replicados agora com as perturbações imprevisíveis, pois o GSE mostrou melhor desempenho quando comparado ao GE quando as perturbações imprevisíveis foram inseridas. Além disso, também foi mais efetivo nas medidas de ajustes e de correções, com maior precisão no uso do mecanismo de *feedback*. Estes resultados ficam ainda mais expressivos quando é observada a perturbação de menor magnitude, que é mais difícil para se adaptar.

9. DISCUSSÃO GERAL

Nas últimas décadas, um grande número de pesquisas tem sido desenvolvido no intuito de investigar a generalização de predições de teorias e modelos relativos à aprendizagem motora para as áreas da Educação Física e do Esporte (CORRÊA et al., 2010a).

O presente estudo investigou os efeitos de níveis superiores de estabilização do desempenho na adaptação motora às perturbações imprevisíveis em tarefas com características de controle distintas. Na tarefa de força, os resultados mostraram que o grupo com maior nível de estabilização apresenta melhor desempenho, maior

variabilidade (terceiro bloco), menor número de correção, menor tempo para atingir o pico de força quando inserida a perturbação e menor erro neste pico. Na tarefa de interceptação o GSE também apresenta melhor desempenho, maior variabilidade (terceiro bloco), maior número de correção e apresenta um menor tempo para pico de velocidade no terceiro bloco (quando a velocidade do alvo diminuía). Com relação aos mecanismos de controle, o mecanismo predominante para se os grupos se adaptarem foi o de *feedback* sensorial nas duas tarefas.

Na perspectiva do Processo adaptativo, onde está a diferença para o grupo com maior nível de estabilização? Uma possível resposta é que estas diferenças aparecem quando as perturbações são enfrentadas. Por exemplo, tanto na nossa tarefa de controle de força, quanto na de interceptação, o grupo superestabilização foi capaz de enfrentar a perturbação de maior e menor magnitude com um melhor desempenho. Como discutido anteriormente, como um sistema organizado hierarquicamente, quando a habilidade motora é formada (no nosso caso, na fase de pré-exposição), assume-se que houve a estabilização da função motora, com consequente formação de um programa de ação com padrões de movimentos consistentes (macroestrutura), e, além disso, este programa de ação também apresenta variabilidade resultante da microestrutura permitindo flexibilidade (TANI et al., 2014). É possível que a prática além da estabilização do desempenho pode ter interagido com a variabilidade inerente da microestrutura e levado a habilidade motora para um estado crítico suficiente ao ponto de possibilitar mudanças para um novo estado adaptativo (Kelso, 2012). Neste sentido, é possível que o grupo com maior nível de estabilização, ao encarar as perturbações, são capazes de reorganizar a reserva adquirida e apresentar um melhor desempenho quando a perturbação aparece diversas vezes, mesmo que seja de forma imprevisível. Neste estudo, temos as medidas de macroestrutura para suportar evidências de reorganização, as quais já mostram que o desempenho frente às perturbações só foi mantido quando houve mudança nesta medida que no caso do experimento I é a de tempo para o pico de força ou tempo para pico de velocidade no experimento II. Essa parece ser a explicação da melhor capacidade de adaptação do GSE quando comparado ao GE.

Ao fazer uma análise conjunta dos dois experimentos, é possível fazer um questionamento. Quais são as diferenças nas tarefas que permitem observar um comportamento diferente? Possivelmente a resposta se refere ao modo como as

habilidades são controladas. Por exemplo, na fase de pré-exposição o tempo para o pico de força não modificou ao passo que na tarefa de interceptação o pico de velocidade aconteceu no final do movimento, ou seja, o controle acontece predominantemente via *feedforward*. Na segunda fase, para se adaptar às novas demandas seria necessário atingir o pico de velocidade mais rapidamente o que permitiria sobrar tempo para as mudanças necessárias no final do movimento. Este comportamento foi observado no terceiro bloco da PI nos quais ambos os grupos adaptaram e no terceiro bloco da PII, mas neste caso apenas o GSE se adaptou. Na tarefa de força, o tempo para o pico de força no início da tentativa não modificou. Foi observado mudança nesta medida no momento de inserção de perturbação (1500ms) sendo que o GSE atinge o tempo de pico de força mais rapidamente na PI e também se adapta. Na PII ambos os grupos modificam o tempo para o pico de força e ambos se adaptam. Estes resultados mostram uma hierarquia, de que para a perturbação mais fácil não é preciso atingir a superestabilização para se adaptar. Contudo, quando a perturbação requer um maior esforço é necessário atingir a super-estabilização do desempenho, resultado similar à Ugrinowitsch (2003).

A medida de tPF é uma medida que indica planejamento (referência) e, no nosso modelo teórico, foi adotada como uma medida de macroestrutura. A macroestrutura é responsável pelo padrão de movimento e, no nosso nível de análise (cinemático), ela foi sensível para indicar as modificações nas ações e a diferença nos dois níveis de estabilização manipulados durante a primeira fase. Neste caso, o GSE modificou a macroestrutura para conseguir se adaptar, o que mostra uma estrutura flexível deste grupo. Esta flexibilidade da estrutura é resultante da manipulação da variável independente da primeira fase do experimento. Estes resultados foram replicados para a tarefa de interceptação, e no conjunto corroboram com a proposta de que a combinação da precisão do desempenho com um certo nível de inconsistência (i.e., variabilidade) propicia melhor adaptação (BENDA et al, 2000; TANI, 2000), o que foi observado por Ugrinowitsch et al (2014). A maior variabilidade do GSE na primeira fase do experimento de força pode ser característica da tarefa de controle de força, que tem uma alta variabilidade de resposta. Esta questão ainda precisa ser melhor investigada.

Como conclusão, os resultados se replicaram com tarefas que possuem características distintas daquelas utilizadas no delineamento clássico de processo adaptativo. Assim, a possibilidade dos efeitos do maior nível de estabilização do

desempenho ser generalizada para tarefas com características de controle distintas foi confirmada. Contudo, os níveis de estabilização produzem efeitos diferentes dependendo das demandas das tarefas.

REFERÊNCIAS

ABBS, J. H.; GRACCO, V. L.; COLE, K. J. Control of multimovement coordination: Sensorimotor mechanisms in speech motor programming. **Journal of motor Behavior**, v. 16, p. 195-231, 1984.

ADAMS, J.A. A closed-loop theory of motor learning. **Journal of Motor Behavior**, Washington, v.3, p.111-50, 1971.

BARROS, J.A.C. **Estrutura de prática e processo adaptativo em aprendizagem motora: efeitos da especificidade da tarefa**. 2006. Tese (Doutorado) - Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

BASSO, L. **Aumento de complexidade na aprendizagem motora: efeitos dos níveis de estabilização e dos canais de desempenho**. 146 f. Tese (Doutorado em Educação Física) - Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

BENDA, R. N. Sobre a natureza da aprendizagem motora: mudança e estabilidade... e mudança. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**, São Paulo, v. 20, supl. 5, p. 43-45, set. 2006. Disponível em: <<http://cev.org.br/arquivo/biblioteca/sobre-natureza-aprendizagem-motora-mudanca-estabilidade-mudanca.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2013.

BENDA, R. N. **Variabilidade e processo adaptativo na aquisição de habilidades Motoras**. 314 f. Tese (Doutorado em Educação Física) - Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

BENDA, R. N.; CORRÊA, U.C.; LUSTOSA DE OLIVEIRA, D.; TANI, G. Variabilidade e processo adaptativo na aprendizagem de uma tarefa de controle da força manual. In: BARREIROS, J.; MELO, F.; SARDINHA, E. B. (Eds.). **Percepção & Acção III**. Lisboa: Edições FMH, 2000.

BERTALANFFY, L.V. **Teoria Geral dos Sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1975.

BERTHOUZE, L.; LUNGARELLA, M. Motor skill acquisition under the environmental perturbations: On the necessary of alternative freezing and freeing of degrees of freedom. **Adaptive Behavior**, v. 12, p. 47-64, 2004.

BRENNER, E. *et. al.* Timing the moment of impact in fast human movements. **Acta Psychologica**, v.141, p. 104–111, 2012.

BRENNER, E.; SMEETS, J. B. J. Continuous visual control of interception. **Human Movement Science**, v. 30, p. 475-494, jun. 2011.

BRENNER, E.; SMEETS, J. B. J. Hitting moving targets: co-operative control of 'when' and 'where'. **Human Movement Science**, Amsterdam, v. 15, n. 1, p. 39-53, feb. 1996.

BRENNER, E.; SMEETS, J. B. J.; LUSSANET, M. H. E. Hitting moving targets: continuous control of the acceleration of the hand on the basis of the target's velocity. **Experimental Brain Research**, Berlin, v. 122, n. 4, p. 467-474, oct. 1998.

BROWER, A. M.; BRENNER, E.; SMEETS, J. B. J. Hitting moving objects: the dependency of hand velocity on the speed of the target. **Experimental Brain Research**, Berlin, v. 133, n. 2, p. 242-248, jul. 2000.

CALJOUW, S. R.; VAN DER KAMP, J.; SALVESBERGH, G. J. P. Biphasic hitting with constraints on impact velocity and temporal precision. **Human Movement Science**, Amsterdam, v. 24, p. 206-217, may. 2005.

CARVALHO, M. F. S. **Efeitos da faixa de amplitude de conhecimento de resultados na adaptação às perturbações imprevisíveis em uma tarefa de força isométrica**. 2011. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Esporte) – Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/KMCM-92MLY3/maria_flavia___completo.pdf?sequence=1>. Acesso em: 12 jun. 2013.

CARVALHO, M. F. S. et al. The effects of bandwidth feedback in adaptation to unpredictable perturbations in an isometric task force. **Journal of Sport e Exercise Psychology**, Champaign, v. 34, suppl., S1-S4, jun. 2012

CHOSHI, K. Aprendizagem motora como um problema mal definido. [Motor learning as an ill-posed problem]. **Revista Paulista de Educação Física**, Suppl. 3, p. 16-23, 2000.

COCA-UGRINOWITSCH, A. A. et al.. Bandwidth knowledge of results on the learning of the saloon dart throwing task. **Perceptual and Motor Skills**, v. 118, p. 462-474, 2014.

CORDO, P. J.; FLANDERS, M.. Sensory control of target acquisition. **Trends Neurosci.**, v. 12: p. 110-116, 1989.

CORRÊA, U. C. ; et. al.. Em busca da quantidade ótima de prática constante na estrutura constante-variada: Um olhar para a validade ecológica e a especificidade da tarefa. **Revista da Educação física** (UEM. Online), v. 24, p. 195-205, 2013.

CORRÊA, U. C. *et al.* Effects of practice schedule on the adaptive process of motor learning. **Portuguese Journal of Sport Sciences**, v. 10, nr 1, p. 158-171, 2010a.

CORRÊA, U. C. Timing coincidente e diferenças individuais: efeitos da quantidade de prática no desempenho de crianças. In: BARREIROS, J.; CORDOVIL, R. & CARVALHEIRO, S. (Org.). **Desenvolvimento motor da criança. Desenvolvimento motor da criança**. Lisboa: FHM Edições, p. 115-124, 2007.

CORRÊA, U. C. *et al.* A prática constante-aleatória e o processo adaptativo de aprendizagem motora: efeitos da quantidade de prática constante. [The constant-random practice and the adaptive process of motor learning: effects of amount of constant practice]. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**, v. 21, p. 301-314. 2007.

COUTO, C. R. **Efeitos do nível de estabilização do desempenho na adaptação a perturbações imprevisíveis inseridas após o início do movimento**. 2012. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Esporte) – Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

DAVIS, N. J. Memory and coordination in bimanual isometric finger force production. **Experimental Brain Research**, Berlin, v. 182, n. 1, p. 137-142, set. 2007.

PINHEIRO, J. P. *et al.* Diversification of motor skills rely upon an optimal amount of variability of perceptive and motor task demands. **Adaptive Behavior**, v. 23, n 2, p. 83-96, mar. 2015.

DESMURGET, M.; GRAFTON, S. Forward modeling allows feedback control for fast reaching movements. **Trends in Cognitive Science**, v. 4, n. 11, p. 423-431, nov. 2000. Disponível em: <<http://homepages.inf.ed.ac.uk/svijayak/teaching/MLSC/HW2papers/Desmurget.pdf>> . Acesso em: 10 jan. 2014.

ELLIOTT, D. *et al.* Goal-Directed Aiming: two components but multiple processes. **Psychological Bulletin**, Washington, v. 136, n. 6, p. 1023-1044, nov. 2010.

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. 3, p. 342-357, may. 2001.

ELLIOTT, D.; BINSTED, G.; HEATH, M. The control of goal-directed limb movements: correcting errors in the trajectory. **Human Movement Science**, Amsterdam, v. 18, n. 2-3, p. 121-136, jun. 1999.

FIALHO, J. V. A. **A prática constante-aleatória: efeitos da manipulação do aspecto da habilidade e o tipo de perturbação no processo adaptativo em aprendizagem motora**. 2007. 265 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Esporte) - Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

FITTS, P. M.; POSNER, M. I. **Human performance**. Belmont, California: Brooks-Cole, 162 p., 1967.

FONSECA, F. S. et al. Extensive practice improves adaptation to unpredictable perturbations in a sequential coincident timing task. **Neuroscience Letters**, Amsterdam, v. 517, n. 2, p. 123-127, may 2012.

GOMES, T. V. B. **Efeitos da prática mental na adaptação motora a perturbações previsíveis e a perturbações imprevisíveis**. 2014. 100f. Tese (Doutorado em Ciências do Esporte) - Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.

GORDON, J.; GHEZ, C. Trajectory control in targeted force impulses II. Pulse height control. **Experimental Brain Research**, Berlin, v. 67, n. 2, p. 241-252, 1987.

JOHANSSON, R. S.; WESTLING, G. Programmed and triggered actions to rapid load changes during precision grip. **Experimental Brain Research**, Berlin, v. 71, p. 72-86, 1988.

HEATH, M.; HODGES, N.J.; CHUA, R.; ELLIOTT, D.. On-line control of rapid aiming movements: unexpected target perturbations and movement kinematics, **Can. J. Exp. Psychol.**, v. 52, nr. 4, p. 163-173, nov. 1998.

HERMSDORFER, J. et al. The representation of predictive force control and internal forward models: evidence from lesion studies and brain imaging. **Cognitive Processing**, Rome, v. 6, n. 1, p. 48-58, mar. 2005.

HINDER, M. R. et al. The contribution of visual feedback to visuomotor adaptation: how much and when? **Brain Research**, Amsterdam, v. 1197, p. 123-134, mar. 2008.

HU, X.; NEWELL, K. M. Adaptation to selective visual scaling of short time scale processes in isometric force. **Neuroscience Letters**, Amsterdam, v. 469, n. 1, p. 131-134, jan. 2010.

KHAN, M. A. et al. Inferring online and offline processing of visual feedback in target-directed movements from kinematic data. **Neuroscience and Biobehavioral Reviews**, New York, v. 30, n. 8, p. 1106-1121, may. 2006.

KELSO, J. A. S. Multistability and metastability: Understanding dynamic coordination in the brain. **Philos Trans R Soc B Sci.**, v. 367, n 1591, p. 906-918, 2012.

KELSO, J. A. S. Relative timing in brain and behavior: some observations about generalized motor program and self-organized coordination dynamics. **Human Movement Science**, v. 16, p. 453-60. 1997.

KELSO, J. A. S.; DING, M.. Fluctuations, intermittency, and controllable chaos in biological coordination. In NEWELL, K. M.; CORCOS, D. M., **Variability and motor control**. Champaign, IL: Human Kinetics. 1993. p. 291–316.

LE RUNIGO, C.; BENGUIGUI, N., BARDY B.G.. Perception-action coupling and expertise in interceptative actions. **Human Movement Science**, v. 24, n. 3, p. 425 – 445, 2005.

LEITE, C. *et al.* Distribution of Practice Effects on Older and Younger Adults- Motor-Skill Learning Ability. **Human Movement**, v. 14, p. 20-26, 2013.

LEWIN, R. **Complexity: life at the edge of chaos**. Universidade da Califórnia: Collier Books, 1993, 208 p.

MAGILL, R.A. **Aprendizagem: conceitos e aplicações**. Tradução de Aracy Mendes da Costa. São Paulo: Edgard Blucher, 2000.

MANOEL, E. J. *et al.* Modularity and hierarchical organization of action programs in human acquisition of graphic skills. **Neurosci. Lett.**, v. 335, nr. 2, p. 83-86, dec. 2002.

MANOEL, E.J.; CONNOLLY, K. Variability and the development of skilled actions. **International Journal of Psychophysiology**, Amsterdam, v.2, n.19, p.129-147, 1995.

MARINOVIC, W.; PLOOY, A. M.; TRESILIAN, J. R. The effect of priming on interceptive actions. **Acta Psychologica**, Amsterdam, v. 135, n. 1. p. 30-37, sep. 2010.

MARINOVIC, W., PLOOY, A. M. TRESILAIN, J. R.. Preparation and inhibition of interceptative actions. **Experimental brains Research**, v. 197, p. 311 –319, 2009a.

MARINOVIC, W.; PLOOY, A. M.; TRESILIAN, J. R. The utilization of visual information in the control of rapid interceptative actions. **Exp Psychol.**, Göttingen, v. 56, n. 4, p. 265-273, feb. 2009b.

MASSIGLI, Marcela. *et al.* Estrutura de prática e validade ecológica no processo adaptativo de aprendizagem motora. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**, v. 25, p. 39-48, 2011.

MEYER, D.E. *et al.* Optimality in human motor performance: Ideal control of rapid aimed movements. **Psychol. Rev.**, v. 95, nr. 3, p. 340-70, jul.1988.

NETO, R. M. A.; TEIXEIRA, L. A.. Intercepting moving targets: does memory from practice in a specific condition of target displacement affect movement timing? **Experimental Brain Research**, v. 211, p. 109-117, 2011.

NEWELL, K. M.; MACDONALD, P. V. Information, coordination and the control in a prehensile force task. **Human Moviment Science**, Amsterdam, v. 13, issues 3-4, p. 375-391, aug. 1994.

NEWELL, K.M.; CORCOS, D.M. (1993). Issues in variability and motor control. In: _____ **Variability and motor control**. Champaign, Illinois: Human Kinetics Publishers, 1993, p. 1-12.

OLDFIELD, R. C. The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. **Neuropsychologia**, v. 9, Issue 1, p. 97-113, mar. 1971.

OKAZAKI, V. A. *et al.* Restrições espaciais no controle motor de movimentos rápidos e precisos. **Motricidade**, v. 9, n. 2, p. 73-83, jan. 2013.

PIPEREIT, K.; BOCK, O.; VERCHER, J. L. The contribution of proprioceptive feedback to sensorimotor adaptation. **Experimental Brain Research**, Berlin v. 174, n. 1, p. 45-52, sept. 2006.

PROFETA, V. L. S. **Nível de estabilização na resposta a perturbações imprevisíveis**: efeitos sobre o *feedback* corrente e o *feedforward*. 2009. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Esporte) - Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.

POPPER, K. **Lógica da pesquisa científica**. 16 ed. São Paulo: Cultrix, 2011. 568 p.

RICHTER, S.; *et al.* Adaptive motor behavior of cerebellar patients during exposure to unfamiliar external forces. **Journal of Motor Behavior**, v. 36, n. 1, p. 28 –38, 2004.

SALVESBERGH, G. J.; VAN DER KAMP, J. Adaptation in the timing of catching under changing environmental constraints. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, Washington, v. 71, n. 2, p. 195-200, jun. 2000.

SANTOS-NAVES, S. P.; BENDA, R. N.; UGRINOWITSCH, H.. Extensive practice improves adaptation to unpredictable perturbation in a task of isometric force. In: NORTH AMERICAN SOCIETY FOR THE PSYCHOLOGY OF SPORT AND PHYSICAL ACTIVITY, 2012, Honolulu. **Journal of Sport & Exercise Psychology**. Champaign, IL: Human Kinetics, 2012. v. 34. p. 114-115.

SCHMIDT, R. A.; WRISBERG, C. A. **Aprendizagem e performance motora**: uma abordagem da aprendizagem baseada na situação. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 416 p.

SCHMIDT, R. A.; LEE, T. D. **Motor control and learning**: A behavioral emphasis. 4th ed., Champaign, IL: Human Kinetics, 2005.

SCHMIDT, R. A. A schema theory of discrete motor skill learning. **Psychological Review**, Washington, v. 82, n. 4, p. 225-260, 1975. Disponível em: <http://bucksplace.tamu.edu/WebPage/Kine640_MNSII_PostedArticles/1975_Schmidt.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2013.

SHADMEHR, R.; MUSSA-IVALDI, S. **Biological learning and control**: how the brain builds representations, predicts events, and makes decisions. Cambridge: MIT Press, 2012. p. x-x.

SHERWOOD, D.E; SCHMIDT, R.A. The relationship between force and force variability in minimal and near-maximal static and dynamic contractions. **Journal of Motor Behavior**, v.12, n.1, p.75-89, 1980.

SHERWOOD, D.E.; SCHMIDT, R.A; WALTER, CB. The force/force variability

relationship under controlled temporal conditions. **Journal of Motor Behavior**, v.20, n.2, p.106-116, 1988.

SCHOLLHORN, W. I. *et al.* Time scales of adaptive behavior and motor learning in the presence of stochastic perturbations. **Human Movement Science**, v. 28, Issue 3, p. 319-333, jun. 2009.

SHUMWAY-COOK, A.; WOOLLACOTT, M. **Controle motor: teoria e aplicações práticas**. 3. ed. São Paulo: Manole, 2010. 621 p.

SLIFKIN, A. B.; VAILLANCOURT, D. E.; NEWELL, K. M. Intermittency in the control of continuous force production. **Journal of Neurophysiology**, Bethesda, v. 84, n. 4, p. 1708-1718, oct. 2000.

SMEETS, J.B.J.; BRENNER, E.. Perception and action are based on the same visual information: Distinction between position and velocity. **Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance**, v.21, p. 19-31, 1995.

STERGIOU, N.; DECKER, L. M.; Human movement variability, nonlinear dynamics, and pathology: Is there a connection?, **Human Movement Science**, v. 30, p. 869-888, 2011.

TANI, G. *et al.* An adaptive process model of motor learning: insights for the teaching of motor skills. **Nonlinear Dynamics Psychol. Life Sci.**, Pewaukee, v. 18, n. 1, p. 47-65, jan. 2014.

TANI, G. *et al.* Pesquisa na área de comportamento motor: modelos teóricos, métodos de investigação, instrumentos de análise, desafios, tendências e perspectivas. **Revista da Educação Física/UEM**, Maringá, v. 21, n. 3, p. 329–380, 3 trim. 2010.

TANI, G. ; MEIRA JR., C. M. ; GOMES, F. R. F. . Freqüência, precisão e localização temporal de conhecimento de resultados e o processo adaptativo na aquisição de uma habilidade motora de controle da força manual. **Revista Portuguesa de Ciências do Desporto**, Porto, v. 5, n.1, p. 59-68, 2005.

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

TANI, G. Processo adaptativo em aprendizagem motora: o papel da variabilidade. **Revista Paulista de Educação Física**, supl.3, p. 55-61, 2000.

TANI, G.; CONNOLLY, K. J.; MANOEL, E. J. Pattern formation and hierarchical organization of motor skills. In: ENCONTRO BRASILEIRO INTERNACIONAL DE CIÊNCIA COGNITIVA, 3., 1998, Campinas. **Anais ...** Campinas: Universidade Estadual de Campinas. 1998. p. 65.

TANI G. **Organização hierárquica do comportamento motor humano**. São Paulo, Departamento de Pedagogia do Movimento do Corpo Humano/Escola de Educação

Física e Esporte da Universidade de São Paulo, 1995. (Relatório final de atividades de Pós-Doutoramento).

TEIXEIRA, L. A. **Controle motor**. Barueri: Manole, 2006. 396 p.

TEIXEIRA, L. A.; *et al.*. Reprogramming of interceptive actions: time course of temporal corrections for unexpected target velocity change. **Journal of Motor Behavior**, v.38, n.6, p.467-477, 2006a.

TONER, J.; MORAN, A. The effects of conscious processing on golf putting proficiency and kinematics. **J. Sports Sci.**, v. 29, n. 7, p. 673-683, apr. 2011.

TRACY, B. L. Visuomotor contribution to force variability in the plantarflexor and dorsiflexor muscles. **Human Movement Science**, Amsterdam, v. 26, n. 6, p. 796-807, dec. 2007.

TRESILIAN, J. R.; HOUSEMAN, J. H. Systematic variation in performance of an interceptive action with changes in the temporal constraints. **Q. J. Exp. Psychol. A.**, Washington, v. 58, n. 3, p. 447-466, apr. 2005.

TRESILIAN, J. R.; LONERGAN, A. Intercepting a moving target: effects of temporal precision constraints and movement amplitude. **Experimental Brain Research**, Berlin, v. 142, n. 2, p. 193-207, jan. 2002.

TRESILIAN, J. R.; OLIVER, J.; CARROL, T. J. Temporal precision of interceptive action: differential effects of target size and speed. **Experimental Brain Research**, Berlin, v. 148, n. 4, p. 425-438, feb. 2003.

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**, Berlin, v. 171, n. 4, p. 421-435, jun. 2006a.

TRESILIAN, J. R.; PLOOY, A. Effects of acoustic startle stimuli on interceptive action. **Neuroscience**, Oxford, v. 142, n. 2, p. 579-594, oct. 2006b.

TRESILIAN, J. R.; PLOOY, A.; CARROL, T. J. Constraints on spatiotemporal accuracy of interceptive action: effects of target size on hitting a moving target. **Experimental Brain Research**, Berlin, v. 155, n. 4, p. 509-526, apr. 2004.

TRESILIAN, J.R.. Hitting a moving target: perception and action in the timing of rapid interceptions. **Perception & Psychophysics**, v. 67, n. 1, p. 129 –149, 2005.

UGRINOWITSCH, H. et al. Extensive practice improves adaptation to predictable perturbations in a sequential coincident timing task. **American Journal of Life Sciences**, Califórnia, v. 2, n. 2, p. 90-95, apr. 2014.

UGRINOWITSCH, H. et al. Motor skill adaptation depends on the level of learning. **International Journal Human and Social Sciences**, Los Angeles, v. 6, n. 3, p. 177-181, jul. 2011.

UGRINOWITSCH, H.; CORRÊA, U.C.; TANI, G. Perturbação perceptiva e processo adaptativo em aprendizagem motora. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**, São Paulo, v. 19, n. 4, p. 277-284, out./dez. 2005.

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

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

UYGUR, M. et al. Two-dimensional static manipulation tasks: does force coordination depend on change of the tangential force direction? **Experimental Brain Research**, Berlin, v. 222, n. 4, p. 365-375, oct. 2012.

VON BERTALANFFY, L. The open systems in physics and biology. **Science**, v. 111, p. 23-29. 1950.

MUGGE, W. et al. Force control in the absence of visual and tactile feedback. **Exp Brain Res.**, v. 224, p. 635-645, 2013.

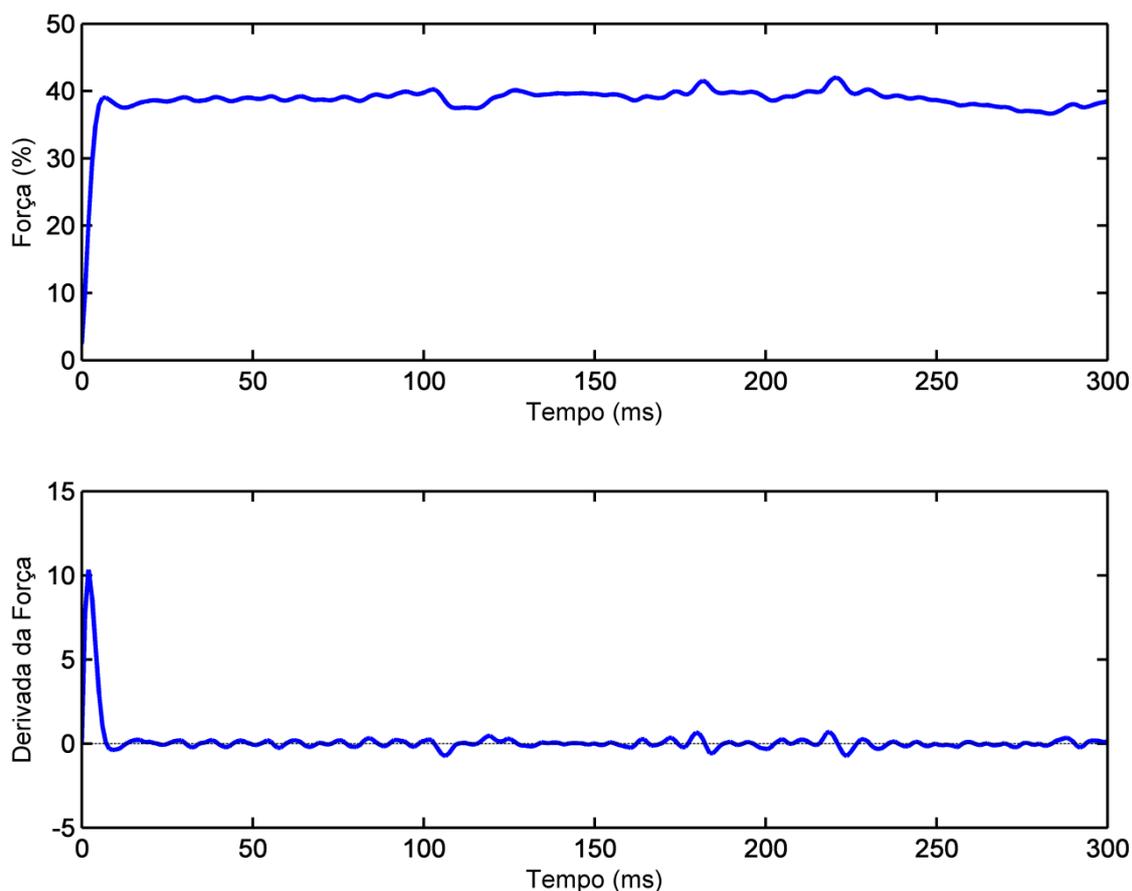
WOODWORTH, R.S. The accuracy of voluntary movement. **Psychological Review**, v.3, n.3, p.1-119, 1899

ANEXO

DEFINIÇÃO DE NÚMERO DE CORREÇÕES NA TAREFA DE FORÇA

Cada tentativa de um voluntário possui tipicamente a forma indicada na figura 2a abaixo. Ao se calcular a derivada no tempo, obtemos curvas como a da figura 2b. Pode-se notar neste último gráfico um primeiro pico, seguido de uma sucessão de vales de amplitudes menores. Cada um desses vales equivale a um movimento corretivo, sendo representado como a porcentagem do valor do primeiro pico, e sua contagem é um parâmetro relevante. Entretanto, nem todos os vales são importantes. O critério adotado para decidir quais vales serão contados e quais serão desprezados neste trabalho é o valor mediano dos vales.

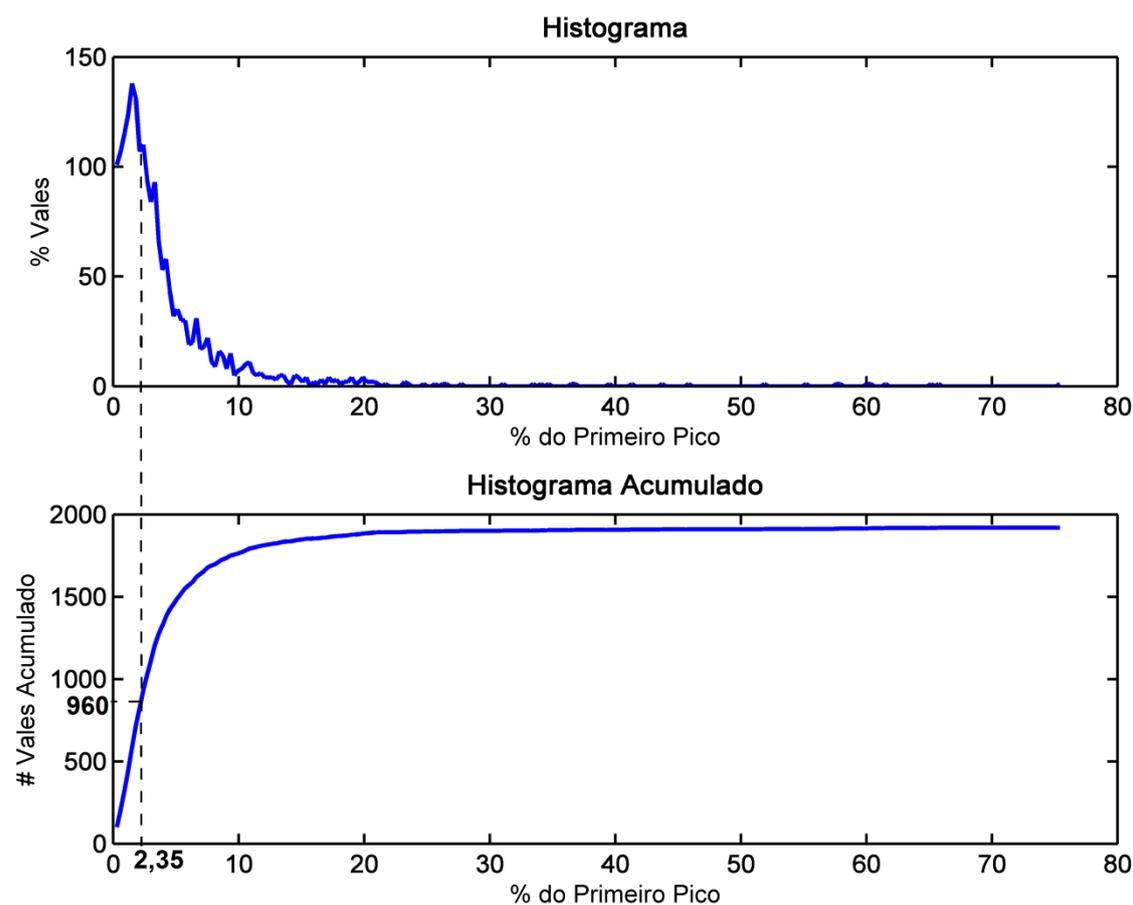
Figura 2a: Percentual de força em função do tempo e figura 2b: Derivada da força em função do tempo



Para realizar o cálculo da mediana, foi realizado um levantamento de todos os vales em um conjunto de 5 tentativas na fase de pré-exposição e de 5 tentativas na fase

de exposição para oito voluntários diferentes, totalizando 80 tentativas. Todos os vales encontrados, cujos valores foram devidamente colocados como porcentagens do primeiro pico, foram dispostos em um histograma como o da figura 2a. A mediana pode ser definida como a porcentagem que delimita a metade da área do histograma. Ela pode ser encontrada dividindo o valor máximo do histograma acumulado (figura 2b) ao meio.

Figura 2a: Porcentagem de vales em relação a porcentagem do primeiro pico



O valor máximo do histograma acumulado encontrado foi 1920. A metade deste valor, 960, equivale à porcentagem de 2,35%. Deste modo, pode-se estabelecer que o critério de 2,5% como valor mínimo de um vale para ser considerado movimento corretivo é adequado.