**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA E ESPORTE**

**CONHECIMENTO DE RESULTADOS NO PROCESSO
ADAPTATIVO EM APRENDIZAGEM MOTORA**

Cássio de Miranda Meira Junior

**SÃO PAULO
2005**

**CONHECIMENTO DE RESULTADOS NO PROCESSO
ADAPTATIVO EM APRENDIZAGEM MOTORA**

CÁSSIO DE MIRANDA MEIRA JUNIOR

Tese apresentada à Escola de
Educação Física e Esporte da
Universidade de São Paulo, como
requisito parcial para a obtenção do
título de Doutor em Educação Física.

ORIENTADOR: PROF. DR. GO TANI

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Go Tani, por ter me permitido vôos mais altos com independência.

Ao Prof. Dr. José Roberto Cardoso, pela disposição e ação de ajudar.

Ao Prof. Dr. José António Ribeiro Maia, que, além de ter me “adotado” em Portugal, ensinou-me mais sobre a estatística e a vida.

À Profa. Dra. Andrea Michele Freudenheim, à Profa. Dra. Suzete Chiviacowsky Clark e ao Prof. Dr. Edison de Jesus Manoel, por todas as contribuições a mim e ao projeto.

Às duas instituições que, ao lado da Escola de Educação Física da Universidade de São Paulo, participam do doutorado interinstitucional tripartite: a Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física da Universidade do Porto e a Escola de Educação Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Ao Prof. Dr. António Teixeira Marques, coordenador português do doutorado interinstitucional.

Ao Prof. Dr. Adroaldo Cezar Araújo Gaya, coordenador gaúcho do doutorado interinstitucional.

À minha família, Cássio, Silvia, Fabiana e Norma, pelo suporte emocional.

Aos membros do Laboratório de Comportamento Motor, pelo suporte acadêmico.

Aos amigos Fábio, Carlos, Raquel e Paula, que me ajudaram na coleta de dados.

A todos que participaram da pesquisa como sujeitos.

Ao Prof. Dr. Ivan Eduardo Chabu, pela competência e paciência na construção do equipamento.

Ao Marcelo Ferraz, que se empenhou em colocar “a mão na massa”.

À minha família “portuguesa”: os amigos Flávio, Jerri, Renato, Alex Sandra, Rodrigo, Pedro, João Vinagre, Silvio, Leonardo, Rui e André.

À Cássia, amiga de todas as horas.

SUMÁRIO

Página

	LISTA DE TABELAS.....	v
	LISTA DE FIGURAS.....	vi
	LISTA DE QUADROS.....	ix
	LISTA DE ANEXOS.....	x
	RESUMO.....	xi
	ABSTRACT.....	xiii
1	INTRODUÇÃO.....	01
2	CONSIDERAÇÕES EPISTEMOLÓGICAS.....	04
3	<i>FEEDBACK</i> , CONHECIMENTO DE RESULTADOS E APRENDIZAGEM MOTORA.....	13
3.1	Informação e <i>feedback</i>	13
3.2	Conhecimento de performance.....	16
3.3	Conhecimento de resultados: definição, procedimentos metodológicos e funções.....	17
3.4	Conhecimento de resultados essencial: teorias clássicas de aprendizagem motora.....	19
3.5	Pesquisa sobre conhecimento de resultados.....	22
3.6	Precisão e frequência de conhecimento de resultados.....	24
3.7	Frequência relativa de conhecimento de resultados	26
3.8	Hipóteses explicativas para a superioridade da frequência reduzida de conhecimento de resultados.....	27
3.9	Estudo do conhecimento de resultados na perspectiva teórica do processamento de informação.....	29
3.10	Conhecimento de resultados e processo adaptativo.....	34
4	PROBLEMA E JUSTIFICATIVA.....	39
5	OBJETIVOS E HIPÓTESES.....	41
6	MÉTODO.....	44

6.1	Tarefa motora, equipamento, instrumentação e medidas.....	45
6.2	Variáveis e grupos experimentais.....	49
6.3	Sujeitos.....	50
6.4	Delineamento experimental e procedimentos.....	50
6.5	Organização e tratamento dos dados.....	52
7	RESULTADOS.....	59
7.1	Fase de estabilização.....	59
7.1.1	Teste da primeira hipótese.....	59
7.1.1.1	Erro absoluto (força).....	59
7.1.1.2	Erro absoluto (distância).....	61
7.1.2	Teste da segunda hipótese.....	63
7.1.2.1	Erro absoluto (força).....	63
7.1.2.2	Erro absoluto (distância).....	65
7.1.3	Teste da terceira hipótese.....	68
7.1.3.1	Erro absoluto (força).....	68
7.1.3.2	Erro absoluto (distância).....	71
7.2	Fase de adaptação.....	73
7.2.1	Teste da primeira hipótese.....	75
7.2.1.1	Erro absoluto (força).....	75
7.2.1.2	Erro absoluto (distância).....	79
7.2.2	Teste da segunda hipótese.....	84
7.2.2.1	Erro absoluto (força).....	84
7.2.2.2	Erro absoluto (distância).....	91
7.2.3	Teste da terceira hipótese.....	96
7.2.3.1	Erro absoluto (força).....	96
7.2.3.2	Erro absoluto (distância).....	98
7.2.4	Teste da quarta hipótese.....	101
7.2.4.1	Erro absoluto (força).....	101
7.2.4.2	Erro absoluto (distância).....	102
8	DISCUSSÃO.....	102

9	CONCLUSÕES.....	117
	REFERÊNCIAS.....	119
	ANEXOS.....	144

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1 – Parâmetros dos modelos descritivos do desempenho na demanda de força.....	88
TABELA 2 – Parâmetros dos modelos descritivos do desempenho na demanda de distância.....	94
TABELA 3 – Comparações pareadas entre grupos na demanda de força, considerando os valores de K totais.....	98
TABELA 4 – Comparações pareadas entre grupos na demanda de distância, considerando os valores de K totais.....	100
TABELA 5 – Sujeitos que apresentaram não aleatoriedade de erros ao longo das tentativas.....	101
TABELA 6 – Sujeitos que apresentaram não aleatoriedade de erros ao longo das tentativas.....	102

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1 – Esquematização do modelo de aquisição de habilidades motoras orientado à adaptação (adaptado de TANI, 1995).....	35
FIGURA 2 – Modelo simplificado de ações motoras (adaptado de TANI, 1995)...	38
FIGURA 3 – Ambiente de pesquisa.....	47
FIGURA 4 – Diagramas de extremos e quartis relativos às distribuições dos erros absolutos na demanda de força da amostra total e dos seis grupos na primeira tentativa de prática.....	60
FIGURA 5 – Comportamento das médias (intervalo de confiança a 95%) dos valores de erro absoluto da demanda de força na primeira tentativa de prática nos seis grupos.....	61
FIGURA 6 – Diagrama de extremos e quartis relativos às distribuições dos erros absolutos na demanda de distância da amostra total e dos seis grupos na primeira tentativa de prática.....	62
FIGURA 7 – Comportamento das médias (intervalo de confiança a 95%) dos valores de erro absoluto da demanda de distância na primeira tentativa de prática nos seis grupos.....	62
FIGURA 8 – Diagrama de extremos e quartis relativos às distribuições dos valores de erro absoluto na demanda de força da amostra total nas tentativas de prática.....	64
FIGURA 9 – Comportamento das médias (intervalo de confiança a 95%) dos valores de erro absoluto da demanda de força nas tentativas de cada grupo.....	65
FIGURA 10 – Diagrama de extremos e quartis relativos às distribuições dos valores de erro absoluto na demanda de distância da amostra total nas tentativas de prática.....	67

FIGURA 11 – Comportamento das médias (intervalo de confiança a 95%) dos valores de erro absoluto da demanda de distância nas 20 primeiras tentativas de cada grupo.....	67
FIGURA 12 – Comportamento das médias dos erros absolutos da demanda de força nas tentativas de cada grupo.....	69
FIGURA 13 – Comportamento das médias dos erros absolutos da demanda de força nas tentativas (frequência).....	70
FIGURA 14 – Comportamento das médias dos erros absolutos da demanda de força nas tentativas (precisão).....	70
FIGURA 15 – Comportamento das médias dos erros absolutos da demanda de distância nas tentativas de cada grupo.....	71
FIGURA 16 – Comportamento das médias dos erros absolutos da demanda de distância nas tentativas (frequência).....	72
FIGURA 17 – Comportamento das médias dos erros absolutos da demanda de distância nas tentativas (precisão).....	73
FIGURA 18 – Diagrama de extremos e quartis relativos às distribuições dos valores de erro absoluto na demanda de força da amostra total nas tentativas de prática.....	76
FIGURA 19 – Comportamento das médias (intervalo de confiança a 95%) dos valores de erro absoluto da demanda de força nas tentativas de cada grupo.....	76
FIGURA 20 – Comportamento das médias dos erros absolutos da demanda de força nas tentativas de cada grupo.....	78
FIGURA 21 – Comportamento das médias dos erros absolutos da demanda de força nas tentativas (frequência).....	78
FIGURA 22 – Comportamento das médias dos erros absolutos da demanda de força nas tentativas (precisão).....	79
FIGURA 23 – Diagrama de extremos e quartis relativos às distribuições dos valores de erro absoluto na demanda de distância da amostra total nas tentativas de prática.....	80

FIGURA 24 – Comportamento das médias (intervalo de confiança a 95%) dos valores de erro absoluto da demanda de distância nas tentativas de cada grupo.....	81
FIGURA 25 – Comportamento das médias dos erros absolutos da demanda de distância nas tentativas de cada grupo.....	82
FIGURA 26 – Comportamento das médias dos erros absolutos da demanda de distância nas tentativas (frequência).....	83
FIGURA 27 – Comportamento das médias dos erros absolutos da demanda de distância nas tentativas (precisão).....	83
FIGURA 28 – Trajetórias individuais na demanda de força.....	84
FIGURA 29 – Curva das trajetórias individuais na demanda de força.....	85
FIGURA 30 – Trajetórias intraindividuais dos elementos de cada grupo na demanda de força.....	86
FIGURA 31 – Estabilidade estrita do comportamento interindividual na demanda de força.....	89
FIGURA 32 – Ausência de estabilidade interindividual no comportamento da demanda de força.....	89
FIGURA 33 – Histograma dos valores verdadeiros do desempenho de força no início (π_{0i}) da fase de adaptação.....	90
FIGURA 34 – Histograma dos valores verdadeiros das trajetórias de desempenho de força (π_{1i}) da fase de adaptação.....	90
FIGURA 35 – Trajetórias individuais na demanda de distância.....	91
FIGURA 36 – Curva ajustada das trajetórias individuais na demanda de distância.....	92
FIGURA 37 – Trajetórias individuais de cada grupo na demanda de distância....	93
FIGURA 38 – Histograma dos valores verdadeiros do desempenho de distância no início (π_{0i}) da fase de adaptação.....	95
FIGURA 39 – Histograma dos valores verdadeiros das trajetórias de desempenho de distância (π_{1i}) da fase de adaptação.....	95

LISTA DE QUADROS

	Página
QUADRO 1 – Principais diferenças entre a abordagem motora e a abordagem da ação (adaptado de ABERNETHY & SPARROW, 1992).....	06
QUADRO 2 – Grupos experimentais e variáveis independentes.....	49

LISTA DE ANEXOS

	Página
ANEXO I – Termo de consentimento livre e esclarecido.....	144
ANEXO II – Ilustrações adicionais do Aparelho de Posicionamento Linear com Dinamometria.....	146
ANEXO III – Detalhes do funcionamento do Aparelho de Posicionamento Linear com Dinamometria.....	151
ANEXO IV – Principais resultados do erro constante – fase de estabilização...	158
ANEXO V – Principais resultados do erro constante – fase de adaptação.....	162
ANEXO VI – Principais resultados do erro variável – fase de estabilização.....	170
ANEXO VII – Principais resultados do erro variável – fase de adaptação.....	174

RESUMO

CONHECIMENTO DE RESULTADOS NO PROCESSO ADAPTATIVO EM APRENDIZAGEM MOTORA

Autor: CÁSSIO DE MIRANDA MEIRA JUNIOR

Orientador: PROF. DR. GO TANI

A visão de processo adaptativo aplicada à aprendizagem pressupõe quebra da estabilidade, necessária para o aprendiz alcançar níveis superiores de complexidade. Dessa forma, instabilidade, incerteza, desordem e erro podem se constituir características positivas do processo. Considerando o CR como fonte de ordem/desordem, o presente trabalho teve o propósito de investigar quais regimes de frequência (33%, 66% e 100%) e precisão (geral e específico) de CR favorecem o processo adaptativo na aquisição de uma habilidade motora conjugada de preensão manual com posicionamento linear. Cento e vinte adultos universitários de 18 a 39 anos (média de 25 e desvio padrão de 4,5 anos) foram alocados a seis grupos de 20 sujeitos (dez do sexo masculino e dez do sexo feminino). Na primeira fase do estudo (estabilização), os sujeitos executaram a tarefa com CR verbal, que versou apenas sobre a tentativa recém finalizada de modo a informar sobre o alcance de 20% da força máxima e 35 cm de deslocamento. O critério para encerramento dessa fase foi a execução de duas tentativas dentro de uma faixa de tolerância de erro. Na fase de adaptação, os sujeitos foram testados em 15 tentativas sem CR na mesma tarefa, porém com a perturbação ambiental de uma força de translação de aproximadamente 2 kgf, no sentido contrário do movimento. O equipamento desenvolvido e utilizado foi o

Aparelho Eletromagnético de Posicionamento Linear com Dinamometria. As tentativas foram executadas com o membro superior não dominante e com oclusão visual. Da força aplicada no dinamômetro e do deslocamento do cursor originaram-se as medidas de erro: absoluto (EA), constante (EC) e variável (EV). Os resultados da fase de estabilização mostraram indicações de que CR freqüente e específico proporcionou melhor desempenho. Além disso, os grupos, em ambas as demandas (força e distância), reduziram o nível de erros de um ponto inicial a um ponto posterior no tempo com tendência exponencial, o que evidencia a ocorrência de aprendizagem da tarefa. Com base nos resultados da segunda fase, a adaptação à perturbação introduzida não se condicionou às manipulações de freqüência e precisão de CR da fase de estabilização. Os dados de ambas as demandas se ajustaram a um modelo caracterizado pela presença de variância substancial no momento inicial. Não obstante, houve heterogeneidade de resposta ao longo das tentativas na demanda de distância. Os resultados de ambas as demandas da tarefa evidenciaram *tracking* de baixo a moderado, ou seja, não houve estabilidade de desempenho dos sujeitos, o que implica em possibilidade muito reduzida para prever o desempenho de cada grupo e para cada sujeito. Uma quantidade muito reduzida de sujeitos apresentou não aleatoriedade de erros, reveladora de alguma tendência ou estratégia de desempenho consistente ao longo das tentativas. Pode-se concluir que não se faz necessário reduzir excessivamente a incerteza por intermédio de regimes de CR com muita freqüência e precisão.

Palavras-chaves: CR, conhecimento de resultados, aprendizagem motora, processo adaptativo

ABSTRACT

KNOWLEDGE OF RESULTS ON ADAPTIVE PROCESS IN MOTOR LEARNING

Author: CÁSSIO DE MIRANDA MEIRA JUNIOR

Adviser: PROF. DR. GO TANI

Motor learning is a cyclic, dynamic and adaptive process, in which motor skills are stabilised and used in more complex situations. To understand motor skill acquisition as an adaptive process, it is necessary to break down the achieved stability in order to reach higher levels of complexity. Thus, instability, uncertainty, disorder, and error might act as positive features in this process. Considering KR as a source of order/disorder, this study aimed to investigate which frequency (33%, 66% e 100%) and precision (general and specific) KR schedules benefit the adaptive process in the acquisition of a linear positioning and manual force control combination motor task. A hundred and twenty undergraduate students ranging from 18 to 39 years (mean age = 25 yr., standard deviation = 4.5 yr.) were randomly assigned to six groups of 20 subjects each (ten male and ten female). In the first phase of the experiment (stabilisation), the subjects performed the motor task receiving verbal KR about the immediately finished trial that provided information about accomplishing the goal of 20% of the maximum force and 35 cm of displacement. The criterion to complete this phase was to perform two consecutive trials inside the error bandwidth. In the adaptation phase, 15 non-KR trials were performed on the same task, but with an environmental perturbation involving a traction force of

about 2 kgf in the opposite direction of the movement. It was developed and used an apparatus enabling a linear positioning combined with a manual force control task. The subjects performed blindfolded and with the non-dominant hand. Absolute, constant, and variable errors measures were used to analyse the learning process. According to the stabilisation phase results, there were evidences that frequent and specific KR produced improvement of performance. The groups, on both task requirements (force and distance), reduced the level of errors from an initial to a posterior point in time with exponential trend, which is an evidence of learning occurrence. Results from the second phase indicated that the adaptation to the introduced perturbation was not related to KR frequency and precision provided in the stabilization phase. Data from both requirements fitted in a model with significant variance at the beginning. However, there was response heterogeneity throughout the trials in the distance requirement. Moreover, results revealed from low to moderate *tracking*, that is, subjects did not perform with stability, what reduces the probability to preview the performance of each group and each subject. A few amount of subjects exhibited absence of error randomness, which could express some performance trend, that is, a consistent strategy along trials. It can be concluded that it is not necessary to excessively diminish uncertainty by means of KR schedules with high frequency and precision.

Keywords: KR, knowledge of results, motor learning, adaptive process

1 INTRODUÇÃO

Treze de outubro de 2002, Buenos Aires, Argentina, partida final do campeonato mundial de voleibol masculino, quinto set, Brasil (14) x Rússia (13): Giovane se prepara para sacar, espera o apito do árbitro, olha o posicionamento dos adversários, lança a bola à esquerda e executa o movimento de saque para o lado direito. A bola viaja no ar e cai exatamente sobre a linha que demarca a lateral da quadra adversária. O atleta observa a sinalização do árbitro indicando que a bola caiu dentro da quadra. O Brasil consagra-se campeão mundial!

Numa situação esportiva como essa ou em outras no ambiente escolar ou do cotidiano, a habilidade motora é fundamental. A Aprendizagem Motora, campo de investigação do presente trabalho, busca investigar os mecanismos e processos subjacentes à aquisição de habilidades motoras e os fatores que a influenciam. Prática e *feedback* são dois fatores cruciais envolvidos nesse processo. “A prática cujos resultados são conhecidos leva à perfeição” é a alternativa apresentada por BARTLETT (1948) à máxima “a prática leva à perfeição”. Essa proposição expressa de forma mais completa o processo de aquisição de habilidades motoras porque estabelece uma vinculação entre prática e conhecimento de resultados (CR) – um tipo de *feedback*.

A associação desses dois fatores pode ser mais bem compreendida mediante uma apreciação do processo pelo qual um indivíduo aprende uma habilidade motora. Em primeiro lugar, o objetivo da performance é estabelecido. O objetivo é a solução de um problema motor que surge no meio ambiente externo. Definido o objetivo, o indivíduo procura desenvolver a melhor maneira de alcançá-lo, ou seja, processa informações, selecionando um plano de ação que atenda apropriadamente às demandas do momento e executando o movimento. Durante a execução, o indivíduo recebe informações sobre como está sendo executado o movimento e após a sua conclusão recebe informações que o permitem avaliar se o movimento executado alcançou ou não o objetivo almejado. Essas informações são denominadas genericamente de *feedback*.

É comum que as primeiras tentativas de execução resultem em grandes erros de performance. O indivíduo toma consciência desses erros mediante *feedback* e, com base no seu processamento, decide sobre qual

mudança introduzir na próxima tentativa. Em outras palavras, o mecanismo de detecção e correção de erros é acionado. Como resultado, um novo plano de ação é elaborado, executado, avaliado, e esse processo é repetido até a obtenção do objetivo ou a solução adequada do problema motor.

Durante esse processo, é natural que o indivíduo tome consciência do erro cometido, mas ainda não é capaz de detectar a sua origem e, conseqüentemente, de corrigi-lo. As informações que ele obtém do próprio sistema sensorial sobre a execução do movimento e o seu resultado no meio ambiente são denominadas *feedback* intrínseco ou inerente.

Numa situação de dificuldade para detectar a causa dos erros, o indivíduo necessita receber informações adicionais de fontes externas sobre a execução e o resultado do movimento. Essas informações, denominadas *feedback* extrínseco ou aumentado, são normalmente fornecidas pelo professor, pesquisador, técnico ou sistema de videoteipe. O *feedback* extrínseco é freqüentemente denominado de CR e o seu efeito na aprendizagem motora tem sido intensamente estudado desde o começo do século XX.

O interesse nuclear do presente trabalho é o CR, definido como informação fornecida ao executante, por uma fonte externa, sobre o resultado do movimento. Antes de sacar, o atleta Giovane estabeleceu um alvo a ser atingido na quadra adversária e por meio do padrão de movimento "saque" conseguiu alcançar o objetivo desejado. Após a execução do saque, o atleta recebeu informação acerca do alcance da meta, observando a queda da bola e a sinalização do árbitro. Portanto, conhecer o resultado obtido é fundamental para identificar se a ação executada alcançou ou não a meta. De posse da informação obtida pelos seus próprios meios (*feedback* intrínseco) e por meio do árbitro (CR), foi possível ao atleta avaliar a ação motora executada.

A maneira pela qual o CR é fornecido constitui-se uma preocupação central em situações reais de ensino-aprendizagem e em pesquisas de Aprendizagem Motora. O estudo do CR envolve essencialmente a manipulação de regimes com diferentes freqüências, conteúdos, localização temporal, entre outros. As pesquisas têm sido conduzidas numa perspectiva teórica de processamento de informações, em que pode-se identificar duas vertentes: 1) a clássica (ADAMS, 1971; SCHMIDT, 1975), segundo a qual quanto mais freqüente

e preciso o CR, tanto mais otimizada é a aquisição da habilidade motora; e 2) a atual (SALMONI, SCHMIDT & WALTER, 1984; SCHMIDT, 1991; WINSTEIN & SCHMIDT, 1990), que defende CR menos freqüente e menos preciso para que a aprendizagem seja mais eficaz. Ambas vêem o aprendiz como um processador de informações que estabelece relações entre o resultado obtido e a ação motora executada, com a finalidade de diminuir a discrepância entre a meta desejada e o que realmente aconteceu (erro) na tentativa subsequente. Nessa visão, o CR desempenha um papel associativo de orientação em direção à meta, com ênfase em processos cognitivos.

Nas teorias correntes de aprendizagem motora (ADAMS, 1971; SCHMIDT, 1975), a aquisição de habilidades motoras é explicada como um processo finito, que se encerra na automatização ou estabilização da performance. Caracteriza, portanto, um modelo de equilíbrio, orientado à estabilização que enfatiza aspectos como ordem, certeza, consistência e redução de erro. Contudo, a aquisição de habilidades motoras é um processo contínuo e dinâmico, em que habilidades motoras são estabilizadas e utilizadas em situações similares ou diferentes, via de regra, mais complexas do que as experimentadas no período de estabilização (CHOSHI, 2000; MANOEL, 1992, 1993, 1998; MANOEL & CONNOLLY, 1997; TANI, 1982, 1989, 1995, 1998, 2000a). Segundo essa visão de aprendizagem motora, a quebra da estabilidade é fundamental para o aumento de complexidade do sistema (no caso, o aprendiz), de forma que instabilidade, incerteza, desordem e erro não se configuram como elementos negativos do processo. Além da formação e manutenção de estruturas, essa visão considera a adaptação a novas situações por meio de flexibilidade ou reorganização das estruturas adquiridas, caracterizando a aquisição de habilidades motoras como um processo adaptativo, ou seja, um processo contínuo em direção à complexidade crescente.

O presente trabalho tem o propósito de estudar o CR no processo adaptativo em Aprendizagem Motora. Especificamente, pretende-se investigar regimes de CR enfatizando as variáveis freqüência e precisão. Essas duas variáveis, a considerar o CR como fonte provocadora de ordem/desordem no sistema, permitem manipular o nível de incerteza que o sistema experimenta no processo de aquisição de habilidades motoras.

O texto percorrerá os seguintes tópicos: a) panorama epistemológico geral da área de Comportamento Motor; b) referencial teórico da variável de estudo (CR); c) problema, justificativa, objetivos e hipóteses; d) método e resultados; e e) discussão e conclusões.

2 CONSIDERAÇÕES EPISTEMOLÓGICAS

A Aprendizagem Motora é um campo de investigação com mais de cem anos de tradição. Há reconhecimento de que os estudos pioneiros foram de BRYAN e HARTER (1897) e WOODWORTH (1899), respectivamente, sobre a aquisição de habilidades de recepção e envio do código Morse e a relação entre velocidade e precisão em movimentos manuais. Atualmente, pode-se dizer que a Aprendizagem Motora é um campo consolidado, como pode ser verificado pela sua presença recorrente nas estruturas curriculares de graduação e pós-graduação, pela existência de laboratórios na maioria das faculdades de Educação Física e Esporte das universidades de todo o mundo e pela publicação de um volume notável de trabalhos em periódicos científicos de boa reputação.

Os estudos sobre a aquisição de habilidades motoras - preocupação central da Aprendizagem Motora - têm mostrado fases peculiares ao longo da história. No início da década de 1970, duas teorias de controle e aprendizagem opuseram-se (a teoria de circuito aberto e a teoria de circuito fechado), o que ficou conhecido como "debate centralista-periferalista", cujo foco principal estava na diferença acerca do papel do *feedback* no controle de movimentos. De forma resumida, para a teoria do circuito fechado (teoria periferalista - ADAMS, 1971), a informação sensorial durante a execução do movimento é crucial, uma vez que ela é comparada com uma referência de avaliação armazenada na memória e, caso haja discrepância, essa informação é levada em conta na correção do movimento subsequente. Em contrapartida, na teoria centralista de circuito aberto (KEELE, 1968), o *feedback* não desempenha papel importante, uma vez que o movimento é controlado por um programa motor, o qual age em nível central e, uma vez acionado, especifica a seqüência e o *timing* do movimento, sem necessidade de informação sensorial. Essa controvérsia foi resolvida pela aceitação de que cada teoria explicava uma determinada categoria de

movimentos (ABERNETHY & SPARROW, 1992; BEEK & MEIJER, 1988; MEIJER & ROTH, 1988). Hoje é consenso a compreensão de que há fatores tanto centrais como periféricos no controle de movimentos, interferindo em maior ou menor grau dependendo do tipo de movimento - lento ou balístico. Ao final desse embate, as duas teorias foram de certa forma acomodadas na teoria de esquema motor (SCHMIDT, 1975), o que se constituiu um claro exemplo de integração entre duas correntes teóricas rivais (TANI, 1995).

Embate mais profundo foi estabelecido a partir do início da década de 1980, na chamada "controvérsia abordagem motora versus abordagem da ação" (MEIJER & ROTH, 1988). Essa última surgiu como rival da primeira, hegemônica até então, o que estabeleceu uma divergência não apenas nas possíveis explicações sobre os mecanismos de controle e aprendizagem (como no debate centralista-periferalista), mas também na fundamentação teórica em que se alicerçava as duas abordagens. O QUADRO 1 destaca as principais diferenças entre elas. Para descrever o *establishment* da área nesse período, é importante considerar a quantidade de artigos publicados, por exemplo, no *Journal of Motor Behavior*, um dos mais importantes periódicos da área (incluindo-se artigos sobre controle, aprendizagem e desenvolvimento motor). No início da década de 1980, de cada quatro artigos, três tinham como pano de fundo a abordagem motora e um a emergente abordagem da ação. No final dos anos 1980, metade das publicações era em uma abordagem e a outra metade, na outra (ABERNETHY & SPARROW, 1992). No início da década de 90 do século passado, o número de publicações na abordagem da ação já suplantava os da abordagem motora (até 1995, com uma proporção de 2:1; de 1996 a 1999, com uma proporção de 3:1; de 2000 a 2003, novamente de 2:1). Em suma, de 1989 a 2003, de cada três artigos publicados, dois eram baseados na abordagem da ação. Atualmente, a proporção continua em 2:1, com leve tendência a um aumento nas publicações na abordagem motora, sugerindo um novo equilíbrio. Além disso, pode-se perceber que em outros periódicos que contêm seções de Comportamento Motor, a quantidade de artigos na abordagem motora é similar ao número de artigos publicados na abordagem da ação (*Human Movement Science*, *Journal of Sports Sciences*) ou até maior (*Journal of Human Movement Studies*, *Perceptual and Motor Skills*, *Research Quarterly for Exercise and Sport*).

Apesar desse quadro geral mostrar o aumento substancial de pesquisas na abordagem da ação quando considerada toda a área de Comportamento Motor, é possível afirmar que, especificamente em relação a Aprendizagem Motora, a abordagem motora foi e tem sido o “carro-chefe” nos estudos. Dois tipos de pesquisa são desenvolvidos nessa abordagem: a) investigação dos mecanismos e processos subjacentes à aquisição de habilidades motoras e b) investigação dos fatores que afetam essa aquisição. Historicamente, maior ou menor ênfase foi e tem sido dada a um desses dois tipos de pesquisa, dependendo das condições operacionais e metodológicas viabilizadas pelo avanço teórico e tecnológico de cada momento.

QUADRO 1 - Principais diferenças entre a abordagem motora e a abordagem da ação (adaptado de ABERNETHY & SPARROW, 1992).

	Abordagem Motora	Abordagem da Ação
Teorias-base	Processamento de informações Modelos computacionais Modelos cognitivos e representacionais	Sistemas dinâmicos Abordagem ecológica Termodinâmica Idéias de Bernstein
Origens filosóficas	Metáfora homem-máquina Separação entre organismo e ambiente	Realismo ecológico Sinergia entre organismo e ambiente
Controle de movimento	Hierárquico de cima para baixo	Heterárquico de baixo para cima
Estrutura de controle	Programas motores	Estruturas coordenativas
Representação central	Presente	Ausente
Papel do músculo	Subserviente aos comandos centrais	Determinado pela dinâmica e forma do movimento
Relação com a percepção	Percepção precede a ação	Acoplamento percepção e ação
Explicação sobre a aprendizagem	Aumento de estratégias de processamento de informação	Aumento da sintonia entre aspectos invariantes e controle em condições de variabilidade
Papel da memória sobre a aprendizagem	Fundamental	Mínimo

Desde os trabalhos pioneiros até a década de 1970, predominaram os estudos sobre os fatores que afetam o processo de aprendizagem motora em tarefas específicas, com ênfase no produto ou na tarefa. Isso porque, nesse período, as pesquisas foram fortemente influenciadas pelas correntes teóricas da Psicologia (behaviorismo e cognitivismo) que eram limitadas para explicar mecanismos internos responsáveis pelo movimento. Alguns dos fatores estudados nesse período foram a prática das partes e do todo, a prática massificada e distribuída, a prática física e mental, o CR, a motivação, entre outros (TANI, 1992). Somente a partir da década de 70 do século passado, com o início da abordagem motora alicerçada na teoria de processamento de informações, houve uma escalada de pesquisas sobre mecanismos e processos subjacentes à aquisição de habilidades motoras, destacando-se estudos sobre operações mentais que precedem o movimento, como a seleção da resposta, a programação do movimento, a avaliação de erros pelo sistema sensorial, etc. (MANOEL, 1995; TANI, 2000a). Ocorreu, na realidade, uma mudança de enfoque do estudo das variáveis que afetam a aprendizagem para a investigação dos mecanismos e processos subjacentes à aquisição de habilidades motoras (PEW, 1970). Entretanto, essa transição no foco dos estudos provocou uma certa estagnação das pesquisas em Aprendizagem Motora, pois o fenômeno de controle motor tornou-se o centro das atenções, concentrando interesses e esforços da maioria dos pesquisadores durante longo período.

Conforme ficou evidenciado anteriormente, a “controvérsia” criada entre as abordagens motora e da ação ainda não foi devidamente solucionada e não tem sido fácil prever os próximos desdobramentos. Para alguns, após a fase inicial do embate teórico em que as diferenças foram fortemente apontadas e enfocadas, há um movimento em direção à reconciliação (COLLEY, 1989; COLLEY & BEECH, 1989; SUMMERS, 1989, 1992), apoiado fundamentalmente em dois aspectos: na visão de que as duas abordagens não são mutuamente exclusivas, mas complementares (PAILLARD, 1986), e na proposição de que a ênfase a uma das duas depende fundamentalmente do nível de organização em que a observação é feita (VAN WIERINGEN, 1988). No entanto, para outros, essa reconciliação não é tão simples assim em virtude das profundas diferenças conceituais e filosóficas que existem na base dessas abordagens (ABERNETHY &

SPARROW, 1992). De qualquer forma, se não uma reconciliação, uma possível aproximação poderia ser esperada caso algumas posições radicais fossem abandonadas, como por exemplo a negação de qualquer forma de representação por parte da abordagem da ação (SCHMIDT, 1988). Na realidade, essa tendência tem se fortalecido mais recentemente (LATASH, 1993; SUMMERS, 1992; VAN INGEN SCHENAU, VAN SOEST, GABREELS & HORSTINK, 1995), com a aceitação da existência de alguma forma de representação por parte dos defensores da abordagem da ação (BEEK, PEPER & STEGEMAN, 1995; MICHAELS & BEEK, 1995; SCHÖNER, 1996).

Apesar dessa situação ainda indefinida no que se refere aos futuros desdobramentos da controvérsia, existe uma constatação de que a abordagem da ação tem alcançado mais sucesso nos campos de Controle Motor e Desenvolvimento Motor, especialmente no estudo de tarefas motoras cíclicas e movimentos filogeneticamente determinados (ver KELSO, 1995 e THELEN & SMITH, 1994, como exemplo de obras que sintetizam achados nesses dois campos de investigação). Em Aprendizagem Motora, no entanto, há um reconhecimento de que pouco se avançou (BARELA & BARELA, 2001; MICHAELS & BEEK, 1995) além dos estudos pioneiros desenvolvidos por ZANONE e KELSO (1992a, 1992b).

Por outro lado, na abordagem motora, estudos sobre o processo de aquisição de habilidades motoras foram retomados com muito vigor a partir do final da década de 1980, especialmente no que se refere a fatores que afetam esse processo. Isso ocorreu, fundamentalmente, em razão de uma mudança de postura dos pesquisadores, daquela que via os estudos em Aprendizagem Motora dependentes do avanço nos estudos em Controle Motor, para uma outra que via esse campo de investigação possuidor de temas e problemas de pesquisa genuinamente intrínsecos, os quais poderiam ser atacados utilizando-se dos conhecimentos produzidos em Controle Motor, mas sem deles depender (PÚBLIO & TANI, 1993). Entre esses fatores, o CR tem sido foco de inúmeros estudos e receberá atenção especial também no presente trabalho.

A justificativa para se tratar de questões epistemológicas, ainda que de forma não profunda, é a atual fase de crise que a área de Comportamento Motor atravessa. Sob o ponto de vista de KUHN (2000 [1962, 1970]), um dos

teóricos de destaque sobre as questões filosóficas e sociológicas da ciência, a reflexão filosófica sobre uma disciplina científica é sintomática em períodos de crise.

Assumindo que a coexistência de duas abordagens ainda vai perdurar por mais alguns anos, a adoção de um modelo integrativo seria uma estratégia importante na medida em que se aproveitariam as qualidades positivas de ambas as abordagens, respeitando simultaneamente os achados que a área de Comportamento Motor vem acumulando no decorrer de sua história.

O referencial teórico que será utilizado na condução deste trabalho (processo adaptativo em Comportamento Motor) tem caráter integrativo, uma vez que utiliza conceitos das duas abordagens coexistentes na área. O modelo baseia-se no paradigma sistêmico ou evolucionista (LASZLO, 1994), constituído de teorias macroscópicas da ciência que influenciam o pensamento científico nos dias atuais, entre elas, a teoria geral dos sistemas (BERTALANFFY, 1976, 1977; PRIGOGINE & STENGERS, 1998), a teoria hierárquica (PATTEE, 1973; WEISS, 1971), a teoria da complexidade (LEWIN, 1994; WALDROP, 1992), a teoria da auto-organização (JANTSCH, 1980; YATES, 1987), a teoria do caos (GLEICK, 1989; LORENZ, 1996), entre outras. Os conceitos centrais do paradigma sistêmico são: a) sistema aberto; b) organização hierárquica; c) complexidade; d) complementaridade. Essa nova maneira de ver o mundo surgiu como reação ao paradigma clássico que dominou o pensamento ocidental durante quase 300 anos. A mudança ocorreu de um pensamento cartesiano, newtoniano (a física newtoniana reinou desde o fim do século XVII até o fim do século XIX), moderno, para o pensamento contemporâneo, pós-moderno, novo-paradigmático ou de sistemas (WIENER, 1984). A ciência clássica, que enfatizava essencialmente as relações de causa e efeito, pode ser caracterizada pelos seguintes pressupostos: objetividade, simplicidade, estabilidade, linearidade, determinismo, homeostase, reducionismo e reversibilidade.

Algumas breves considerações sobre o paradigma sistêmico serão apresentadas a seguir (para leituras aprofundadas ver TANI, 1995 e TANI, CORRÊA, BENDA & MANOEL, 2005). Uma descrição do modelo teórico do processo adaptativo na aquisição de habilidades motoras é apresentada no item 3.10 do presente trabalho.

Sistemas abertos são aqueles que obtêm, utilizam e trocam matéria, energia e informação com o meio ambiente. Por meio dessas trocas, eles podem modificar o conteúdo e a organização de seus contextos. Diferente dos sistemas fechados que tendem a estados de máxima desorganização ou entropia positiva, os sistemas abertos possuem tanto entropia positiva como negativa. Esta última, também denominada neguentropia, é importante porque evita a máxima desordem e auxilia a manutenção em estados estacionários pela importação de energia livre. Um exemplo de sistemas abertos são os organismos vivos, os quais se desenvolvem no sentido de estados de ordem e organização crescentes (BERTALANFFY, 1976, 1977; PRIGOGINE, 1996; PRIGOGINE & STENGERS, 1984).

Produzir e repor continuamente energia para realização de trabalho por meio de processos metabólicos faz com que os seres humanos atuem afastados do equilíbrio termodinâmico. Essa característica é vital porque, além de criar e manter a estabilidade, propicia o aparecimento de novos comportamentos, que são irreversíveis (BERTALANFFY, 1976, 1977; JANTSCH, 1980; KAUFFMAN, 1997; PRIGOGINE, 1996; PRIGOGINE & STENGERS, 1984).

A troca contínua com o meio ambiente expõe os sistemas abertos a mudanças constantes, e portanto sujeitos a perturbações que podem provocar quebra de estabilidade. Dessa forma, constata-se um paradoxo: se por um lado o ser humano é visto como uma unidade funcional-estrutural organizada coerentemente em um ambiente, por outro, os vários processos da vida rompem continuamente essa organização, exigindo adaptação. Em sistemas vivos, então, não só o modo como um padrão ou uma estrutura mantém a estabilidade deve ser considerado, mas também como esse padrão se adapta num ambiente em mudança (FORD & LERNER, 1992; KAUFFMAN, 1997; KELSO & HAKEN, 1997; SCHNEIDER & KAY, 1997).

Sistemas abertos podem ser concebidos como uma hierarquia de muitos níveis de subtodos semi-autônomos, que se ramificam em subtodos de uma ordem inferior e assim por diante. Em qualquer parte da hierarquia, os subtodos podem ser referidos como hólons (KOESTLER, 1969), sistemas abertos auto-reguláveis, que apresentam tanto propriedades autônomas dos todos como propriedades dependentes das partes, ou seja, há um equilíbrio entre autonomia

e restrição em todos os níveis da hierarquia. Ao considerar um sistema, é possível que ele possa se integrar com outros sistemas de mesmo nível e formar um todo maior, superior ao primeiro. Da mesma forma, na outra direção, pode tornar-se o todo em relação aos elementos do nível inferior. Cada hólon tem a tendência dupla de preservar e afirmar sua individualidade como um todo autônomo e de funcionar como parte integrada de um todo maior. A dualidade auto-afirmação/integração, inerente ao conceito de ordem hierárquica, é uma característica da vida e está diretamente associada ao aumento da complexidade. É preciso que os componentes do sistema executem suas funções da melhor forma possível (auto-afirmação), simultaneamente à busca de harmonia no relacionamento entre si (integração). Essa é a combinação perfeita para que o sistema possa evoluir. A regularidade que o sistema como um todo manifesta em nível macroscópico dissolve-se progressivamente ao descer para o nível microscópico. Assim, a variância do todo é menor que a variância das partes (KOESTLER, 1969; WEISS, 1969, 1971).

Um sistema aberto pode manter sua organização via estabilidade ou utilizar instabilidade para criar uma nova organização. A quebra da estabilidade pode ser pequena e, portanto, ajustada pela organização existente, ou seja, pela própria flexibilidade do sistema; ou ela pode ser grande e exigir reorganização dos padrões existentes (FORD & LERNER, 1992).

Um processo de *feedback* negativo atua no sentido de diminuir discrepâncias e é responsável pela manutenção da estabilidade. Já a aquisição de um estado estável novo envolve um processo de *feedback* positivo, que age para aumentar as discrepâncias (desvios) dos estados especificados, provocando instabilidades ou aumento de desorganização. Dessa forma, o aumento de complexidade pode ocorrer mediante inter-relação de *feedback* positivo e negativo (MARUYAMA, 1963).

Outro fator que pode levar o sistema a estados superiores de complexidade é a perturbação. Perturbar um sistema em equilíbrio termodinâmico (isolado do ambiente) ou próximo ao equilíbrio provocará alguma reação, porém não capaz de afastar o sistema do estado anterior. Desse modo, independentemente das condições iniciais, um sistema fechado atinge um estado final previsível e homogêneo, com máxima desordem. Em contrapartida, um

sistema aberto situado longe do equilíbrio pode atingir um novo estado ordenado em consequência de uma perturbação. Esses sistemas também são chamados de estruturas dissipativas (ordem/perda) porque realizam trocas com o ambiente e se afastam do estado de equilíbrio. Perturbar um sistema longe do equilíbrio pode desencadear um processo de reestruturação, ao longo do qual o sistema atinge um estado de organização mais complexo. Em razão disso, a perturbação é um ponto-chave para que o sistema possa evoluir para níveis superiores de complexidade (PRIGOGINE, 1996; PRIGOGINE & STENGERS, 1984).

O conceito de complementaridade diz respeito a participação tanto de estabilidade (ordem) como de instabilidade (desordem), o que caracteriza um processo cíclico de instabilidade/estabilidade. Ressalta-se que os momentos de instabilidade são essenciais para que o sistema possa se estabilizar num grau superior de complexidade (ATLAN, 1992; KELSO & HAKEN, 1997; MORIN, 1990b; PATTEE, 1987; PRIGOGINE, 1996).

Embora a presença de perturbações seja um dos principais fatores para que sistemas abertos evoluam, de nada adianta uma perturbação que não possa impelir alguma resposta adaptativa. Isso tem relações diretas com o estado de organização em que se encontra o sistema. Segundo a teoria do caos, o sistema pode estar em regime: a) estável (fixo): manutenção das características; b) cíclico (periódico): alternância de dois padrões; e c) caótico: não linearidade e imprevisibilidade. Um sistema caótico apresenta simultaneamente comportamentos desordenados e ordenados. Em outras palavras, um comportamento caótico, embora aparentemente desordenado e aleatório, tem ordem e organização (GLEICK, 1989; LORENZ, 1996; MAY, 1974; RUELLÉ, 1993).

O processo de emergência de ordem e estrutura por parte do próprio sistema sem a imposição de requisitos especiais provindos do exterior tem sido denominado auto-organização. No entanto, esse conceito apresenta problemas porque dificilmente uma estrutura emerge sem a interação com o meio ambiente (GARFINKEL, 1987; GELL-MANN, 1997; MORIN, 1990a).

O conceito de adaptação está inserido em várias teorias sobre o surgimento da vida e a evolução do ser humano. Segundo a definição darwiniana do termo, a adaptação é resultado de um processo casual não denotando uma

capacidade do organismo solucionar as dificuldades encontradas. Mais recentemente (HOLLAND, 1997), adaptação tem sido entendida como o processo de ajuste ao ambiente pelo sistema, exigindo alterações na sua estrutura. A organização num estado crítico (entre a ordem e a desordem ou “no limite do caos”) confere ao sistema consistência e flexibilidade simultaneamente. O alcance desse estado permite ao sistema manter o seu padrão ou se adaptar às perturbações por meio da reorganização para um estado superior de complexidade. E há uma relação diretamente proporcional entre a complexidade do comportamento dos sistemas e suas flexibilidades adaptativas em relação ao ambiente. Uma estrutura totalmente rígida e uma estrutura muito flexível provavelmente não são capazes de se adaptar: a primeira por se encontrar em equilíbrio e a segunda por não apresentar um padrão, podendo ser alterada a qualquer momento (ATLAN, 1992; KAUFFMAN, 1997; LANGTON, 1992; LORENZ, 1996; MORIN, 1990a; PACKARD, 1988; PRIGOGINE & STENGERS, 1984).

Com o termo “sistemas adaptativos complexos”, pode-se sintetizar a concepção de sistemas complexos que se auto-organizam e se adaptam em busca de um grau superior de complexidade (GELL-MANN, 1997; HOLLAND, 1992, 1997; LEWIN, 1994). É assim que se pretende considerar o processo de aquisição de habilidades motoras.

3 *FEEDBACK*, CONHECIMENTO DE RESULTADOS E APRENDIZAGEM MOTORA

3.1 Informação e *feedback*

Os estudos pioneiros de CR remontam à década de 20 do século passado (THORNDIKE, 1927, 1931). Embora seja de interesse antigo, até hoje o estudo dessa variável “não perdeu fôlego”. Isso porque o CR, implicitamente, carrega o clássico conceito de “informação”, a qual é entendida como um processo de remoção de incertezas. O dado é um componente do processo, e esse processo caracteriza-se pela sucessão de dados. Uma garagem guarda carros, não informação; da mesma forma, uma biblioteca guarda livros, não informação; um computador guarda arquivos, não informação. Para deter

informação, é necessário apanhar o livro na estante, abri-lo, folheá-lo, lê-lo e absorver os conteúdos impressos nas folhas; para locomover-se não basta possuir o automóvel, é preciso saber guiá-lo; não é possível usufruir de um computador sem a competência de operá-lo. Portanto, para que haja informação é essencial a ação de um ator competente para transformar dados em redução de incertezas.

Na teoria da comunicação (ou da informação - SHANNON & WEAVER, 1975), geração de informação pressupõe redundância, isto é, algum conjunto pré-determinado de dados. Por exemplo, o conhecimento prévio que temos acerca de algo se configura como redundância. Sabemos com algum grau de certeza que ao transpor o sinal vermelho num cruzamento movimentado, a probabilidade de colisão é altíssima. O conhecimento, então, é fonte e limite de incerteza e constitui-se de dados e eventos necessários ao processamento de alguma informação. A informação, pois, é produzida com base no conhecimento de modo a reduzir a incerteza. Consequentemente, após a obtenção da informação, aumenta-se a base de conhecimento. Estabelece-se, portanto, uma relação temporal entre esses conceitos: conhecimento é passado e futuro (algo realizado ou algo a ser obtido); informação é presente, algo em curso. Assim, informação relaciona-se a ação e toda ação sofre limite físico. A ação não pode ser superior a um determinado espaço, tampouco pode ser superior a um dado esforço. Quanto menor a energia requerida ao longo do processo, mais útil a informação. Quanto mais rápida é a busca a um livro numa biblioteca, mais útil terá sido a informação que guiou a busca, portanto a informação terá maior valor. Logo, o tempo da ação guiada pela informação fornece o valor da informação para a ação (ATLAN, 1992; EPSTEIN, 1986; WADDINGTON, 1979).

Não há dúvida de que, no decorrer do processo de aquisição de uma habilidade motora, o aprendiz recebe dados sobre os movimentos que executa, provenientes de seu próprio sistema sensorial (*feedback* intrínseco) ou de fontes externas (*feedback* extrínseco). Obviamente, esse processo pressupõe redução de incerteza, com o propósito de diminuir a diferença entre o resultado desejado e o resultado real. O aprendiz é, então, um ator que trabalha com a informação que lhe é disponibilizada e, dependendo do esforço que é empregado, a informação tem maior ou menor valor. O valor ou relevância da informação será

a função de seu processamento (grau de incerteza removida) no tempo: baixo grau de incerteza agregará pouco valor à informação; alto grau de incerteza agregará muito valor à informação.

A informação de *feedback* origina-se de várias fontes e pode ter diferentes graus de importância para a ação motora em questão. O conteúdo de *feedback* pode referir-se ao resultado da ação ou sobre o que causou esse resultado. As informações que realmente são importantes para a execução e a avaliação da ação motora denominam-se *feedback* relevante (por exemplo, a nota dos juizes atribuída a uma apresentação nas barras paralelas da ginástica artística). Existem também informações que não precisam ser percebidas na execução de uma ação motora e que são definidas como *feedback* irrelevante (por exemplo, o *outdoor* de propaganda enquanto se dirige um automóvel). Com relação às informações relevantes sobre a ação motora, pode-se destacar duas fontes principais: a intrínseca e a extrínseca.

O papel de fontes de informação intrínseca, advindas do sistema sensorial, é fundamental para que o aprendiz tome consciência da posição de seu corpo. O sistema proprioceptivo informa ao indivíduo a posição de partes do corpo e a relação entre elas mediante fontes cinestésicas aferentes, tais como receptores articulares, fusos musculares e órgãos tendinosos de Golgi. As informações sobre a posição do corpo são fornecidas pelo sistema exteroceptivo, por meio dos órgãos dos sentidos, sobretudo a visão, a audição e o tato (ROSE, 1997; SAGE, 1984; SHUMWAY-COOK & WOOLLACOTT, 2001). O *feedback* intrínseco configura-se em fonte de informação indispensável para a aquisição de habilidades motoras. Isso se torna mais evidente quando se pensa em alguém aprendendo uma habilidade motora sem a possibilidade de utilização dessas fontes, por exemplo, em indivíduos com privação sensorial, tanto em consequência de acidentes, como por procedimentos experimentais de oclusão visual, deaferenciação, bloqueio nervoso e anestesia (TANI, 2000b). O *feedback* intrínseco (sensorial, interno ou inerente), portanto, compreende informações advindas do próprio sistema sensorial do indivíduo enquanto executa uma ação motora ou depois que a ação é concluída.

Além de obter *feedback* intrínseco, o aprendiz também recebe informação originária de fontes externas. Por exemplo, quando um professor

informa ao aluno se a execução da rebatida foi correta ou não, ou quando um nadador é informado sobre o tempo de prova. A esse tipo de informação, a qual é acrescentada às informações sensoriais do próprio indivíduo, dá-se o nome de *feedback* extrínseco, aumentado ou externo. O *feedback* extrínseco pode ser analisado sob várias dimensões. Em relação ao momento de fornecimento, pode ser simultâneo (durante a execução da ação) ou terminal (assim que a ação for concluída). Ainda em relação ao momento de fornecimento, especificamente o *feedback* terminal pode ser fornecido imediatamente (imediato) ou após algum tempo (atrasado). O *feedback* extrínseco também pode ser fornecido sobre uma única execução (separado) ou sobre um bloco de ações (acumulado). Além de ser fornecido verbalmente, o *feedback* extrínseco pode ser transmitido de formas não verbais, ou seja, por meio de gestos, fotografias ou filmes. A mensagem contida no *feedback* extrínseco pode ser referente ao que causou o resultado (conhecimento de performance - CP), ou então ao próprio resultado da ação motora (conhecimento de resultado - CR).

3.2 Conhecimento de performance

O CP carrega informação sobre características do movimento responsáveis pelo resultado e, via de regra, é fornecido sobre o padrão de movimento utilizado para alcançar a meta - por exemplo, quando o técnico diz ao judoca em que posição o quadril estava no momento em que o golpe foi executado, a despeito de o próprio atleta ter condições de "sentir" a posição de seu próprio corpo. Outra maneira de informar o indivíduo sobre o andamento da ação motora é a utilização de *feedback* cinemático, isto é, fornecer dados sobre variáveis cinemáticas do movimento, tais como velocidade e aceleração. Normalmente, esse procedimento é viabilizado pela utilização de monitores de computador ou de uma seqüência de gráficos ou fotografias. Existe ainda, principalmente em situações de reabilitação, o CP do tipo *biofeedback*. Trata-se da utilização de instrumentos que fornecem informações sobre processos fisiológicos (atividade eletromiográfica, frequência cardíaca, etc.) envolvidos na execução das ações motoras (MAGILL, 2000; SCHMIDT & WRISBERG, 2001).

3.3 Conhecimento de resultados: definição, procedimentos metodológicos e funções

CR é uma informação externa apresentada ao aprendiz sobre o resultado ou sobre o alcance da meta da ação motora em curso ou finalizada (MAGILL, 2000). A informação dada pelo mestre a um aprendiz sobre uma nota musical desafinada é um exemplo de fornecimento de CR numa situação de aprendizagem de piano. Da mesma forma, depois de ter executado o salto em distância, o atleta fica esperando o resultado sobre quantos metros e centímetros conseguiu saltar. O CR também pode ser fornecido não sobre o resultado exato alcançado, mas sobre o alcance da meta-critério estabelecida; por exemplo, em uma tarefa de controle de força, o CR é fornecido quando soa uma campainha no momento em que a força estipulada foi alcançada.

Em estudos de Aprendizagem Motora, o CR possui importância especial porque se constitui uma forma objetiva de fornecer informação - é fornecido em forma de números ou em forma de "sim ou não" ou "acertou ou errou". Os estudos pioneiros sobre CR remontam a um dos experimentos clássicos de THORNDIKE (1931) sobre a lei do efeito. Essa lei, em linhas gerais, estabelece relação entre a natureza da resposta e a avaliação posterior que lhe está associada, e portanto, o CR constitui-se um fator vital para ocorrência de aprendizagem. O experimento em questão constou de habilidades motoras em que os sujeitos, com os olhos vendados, desenhavam linhas de diferentes tamanhos. O CR foi fornecido na forma "errado" e "certo" (quando estava dentro de uma faixa de tolerância). Segundo os resultados, o grupo que praticou com CR evoluiu de uma porcentagem de respostas corretas de 13% no pré-teste para 55% ao final da fase de aquisição; porém o grupo sem CR não obteve melhoras ao longo das tentativas. TROWBRIDGE e CASON (1932) corroboraram as conclusões de Thorndike e foram além, propondo que regimes de CR mais precisos (em valores quantitativos) produziam melhor aprendizagem comparados a regimes de CR geral. Esse foi o panorama conceitual e experimental do qual se originaram os estudos acerca do CR.

A despeito de receberem críticas pela utilização de tarefas de aprendizagem relativamente simples e pelo fato da informação fornecida sobre o

resultado no meio ambiente ser redundante (KILDUSKI & RICE, 2003; SCHMIDT & YOUNG, 1991), os estudos sobre CR ainda são conduzidos com extremo vigor. Isso porque se trata de uma variável crucial no decorrer do processo e por constituir-se uma informação de fácil obtenção e transmissão, porquanto de fácil manipulação em situações experimentais. O procedimento metodológico que viabiliza o uso de CR é a supressão total ou parcial da informação sobre o resultado da ação, forçando assim o uso de *feedback* extrínseco do indivíduo (por exemplo, por meio de técnicas de oclusão visual ou auditiva ou perturbação cinestésica). O pesquisador manipula o CR dificultando ou omitindo o resultado da ação para que ele seja utilizado pelo aprendiz do modo como deseja o pesquisador. Agindo dessa forma, o pesquisador reveste de mais valor e significado a informação sobre o resultado da ação, evitando que ela se torne irrelevante ou óbvia.

É importante ponderar que, dependendo do procedimento metodológico, a importância do CR tem maior ou menor grau. Por exemplo, em estudos conduzidos com tarefas de posicionamento de membros comparando sujeitos de olhos vendados com sujeitos de olhos abertos, os resultados obviamente foram favoráveis aos videntes (THORNDIKE, 1931; TROWBRIDGE & CASON, 1932). Nesse contexto, em que um grupo obteve CR em todas as tentativas e outro que não teve acesso à informação sobre o resultado (mesmo que o *feedback* intrínseco proprioceptivo estivesse disponível), a vantagem dos videntes já era esperada. Essa situação confere ao CR um *status* prioritário, e portanto, o fornecimento dele deve ser o mais freqüente e o mais preciso possível.

Dentro dessa perspectiva, depois de fornecido o CR, o indivíduo melhorará a performance em virtude de aspectos motivacionais (ARPS, 1920; ELWELL & GRINDLEY, 1938) e associativos (conferindo ao CR função orientadora - THORNDIKE, 1931; BILODEAU, E.A., 1953; BILODEAU, I.M., 1966; BILODEAU, BILODEAU & SCHUMSKY, 1959).

Duas vertentes enfatizam a função orientadora do CR: a primeira, que prevaleceu até os anos 1960, sustenta-se num paradigma experimental de estímulo-resposta e confere ao CR a função de reforço (se a resposta é adequada ao estímulo) ou punição (se a resposta não é adequada ao estímulo), sem a

intermediação de processos mentais conscientes (ADAMS, 1978; 1987; LITTLE & McCULLAGH, 1989; LOCKE, CARTLEDGE & KOEPEL, 1968; SOLMON & LEE, 1996; THORNDIKE, 1927); a segunda vertente de função orientadora do CR entende o aprendiz como um processador de informações que estabelece relações entre o resultado obtido e a ação motora executada, a fim de diminuir a discrepância entre a meta desejada e o que realmente aconteceu na tentativa subsequente (CHIVIACOWSKY, 2000).

Sob influência da abordagem motora, duas importantes teorias de aprendizagem motora foram elaboradas com base na função associativa orientadora do CR com ênfase em processos cognitivos: a teoria de circuito fechado (ADAMS, 1971) e a teoria de esquema (SCHMIDT, 1975).

3.4 Conhecimento de resultados essencial: teorias clássicas de aprendizagem motora

ADAMS (1971) propôs a teoria de circuito fechado em oposição à teoria de circuito aberto (KEELE, 1968). Como apontado no item 2 do presente trabalho, a diferença básica entre as duas posições teóricas reside no papel que o *feedback* desempenha no controle de movimentos. A teoria de circuito aberto não destaca o *feedback* como elemento necessário, já que o seqüenciamento e o *timing* dos movimentos são controlados por um mecanismo central, denominado programa motor. Em contrapartida, na teoria de Adams, o *feedback* é crucial, já que se constitui informação que é comparada a uma referência de correção armazenada na memória e o resultado dessa comparação é aproveitado na correção da próxima execução. Segundo a teoria de circuito fechado, o CR, fonte de informação que resulta em correções que levam o aprendiz a uma resposta correta, é o principal responsável pela resolução dos problemas motores. Depois de executada uma tentativa, o sujeito relaciona o CR e o *feedback* intrínseco a uma referência de correção construída com base em movimentos passados. Essa referência, chamada de traço perceptivo, é um constructo teórico que fundamentalmente determina a amplitude do movimento. O início do movimento desencadeia o traço, que é fortalecido com *feedback* intrínseco e CR a cada tentativa. O conceito de traço está baseado na idéia de traço ou imagem que o

mecanismo perceptivo lança mão para reconhecer estímulos externos (como reconhecer uma música ou uma obra artística). No início da aprendizagem, o indivíduo comete muitos erros porque não tem experiência de movimentos passados (o traço é indistinto). Para que haja aprendizagem, o indivíduo deve usar o CR para que a próxima resposta seja diferente das anteriores. Aos poucos, o traço perceptivo é construído e à medida que é fortalecido, a relação entre ele e o CR torna o processo de comparação mais sólido, proporcionando melhor ajuste à resposta seguinte e diminuindo a quantidade de erros. Outro constructo importante proposto por Adams, mas relacionado à produção do movimento, é o traço de memória, responsável por selecionar e iniciar a resposta. O indivíduo utiliza o traço de memória antes do traço perceptivo.

A teoria de esquema (SCHMIDT, 1975), além de integrar o conceito de programa motor (KEELE, 1968), preencheu algumas lacunas teóricas deixadas pela teoria de circuito fechado, sobretudo quanto ao surgimento de movimentos novos e à capacidade de armazenamento. Segundo a teoria de Adams, o ser humano não é capaz de gerar movimentos corretos sem que tenham sido previamente executados, e embora não explicitado, faz deduzir que cada movimento aprendido é armazenado individualmente na memória. Quando se pensa nas inúmeras possibilidades de movimento do ser humano e as associa ao fato de que não é possível executar dois movimentos idênticos (BARTLETT, 1932), percebe-se que a quantidade de informações a serem armazenadas na memória, segundo a teoria de circuito fechado, tenderia ao infinito. SCHMIDT (1975) destaca que isso poderia causar uma superlotação na memória e, ao mesmo tempo, salienta a importância de executar movimentos novos, não explicados pela teoria de ADAMS (1971). A cada movimento realizado, segundo SCHMIDT (1975), o indivíduo armazena quatro informações na memória de curto prazo: a) condições iniciais; b) especificações da resposta (parâmetros); c) conseqüências sensoriais; d) resultado da resposta. Essas informações são armazenadas por um breve período de tempo para que as relações entre elas - e não as informações isoladamente - possam ser abstraídas e armazenadas na memória de longo prazo. Com a prática de movimentos em uma determinada categoria, são armazenadas várias relações, que ao serem confrontadas, formam a estrutura de regras abstratas denominada de esquema motor, o qual se

constitui de dois tipos que atuam separadamente: o esquema de lembrança (responsável pela produção de movimento) e o esquema de reconhecimento (responsável pela correção de movimento).

O esquema de lembrança é responsável pela parametrização do programa motor generalizado (PMG) em virtude da categoria de movimento em questão; em seguida, informações sobre o resultado desejado e condições iniciais atuais são transmitidas ao esquema, onde, confrontadas com as regras armazenadas, possibilitam estimar o conjunto de especificações da resposta adequado para alcançar a meta. O esquema de reconhecimento atua simultaneamente, com a comparação das conseqüências sensoriais esperadas com as reais, obtendo informações sobre o erro. As conseqüências sensoriais, em conjunto com o CR, servem de base para as correções a serem feitas pelo esquema de lembrança na produção do próximo movimento, ou ainda durante a própria execução. Assim, pode-se detectar erros em movimentos nunca executados, bem como produzir movimentos novos com base no PMG.

Uma predição da teoria é a variabilidade de prática (MOXLEY, 1979), por meio da qual o esquema é fortalecido, possibilitando a formação de um conjunto de regras abstratas mais complexo, o que resulta em maior flexibilidade das respostas motoras e maior precisão na sua correção. A cada tentativa, o indivíduo acrescenta dados para a formação da regra responsável por selecionar os parâmetros e as conseqüências sensoriais esperadas. Portanto, com a variabilidade de prática, quando existe a demanda de execução de um movimento novo, ele poderá ser executado quase com tanta precisão como se tivesse sido praticado repetidas vezes. O desenvolvimento da capacidade de detecção de erros facilita o processo de aprendizagem, pois o indivíduo torna-se progressivamente capaz de detectar seus próprios erros com mais eficácia. Vale acrescentar que na teoria de esquema, um erro é tido como um dado que tem as mesmas relações abstraídas que um movimento correto. Logo, o fortalecimento do esquema ocorre da mesma forma, tendo ou não o indivíduo alcançado seu objetivo.

Essas duas teorias clássicas enfatizam a formação de representações internas por meio de relações e conferem ao CR um *status* prioritário. Nessas teorias, de forma implícita, existe a proposição de que o processo de

aprendizagem de habilidades motoras é otimizado com CR freqüente, preciso e imediato, já que quanto mais disponível a informação recebida, tanto maior é a solidez das relações internas.

3.5 Pesquisa sobre conhecimento de resultados

Ao longo do tempo, várias pesquisas foram conduzidas com o intuito de estudar o CR (ver CHIVIAKOWSKY, 2000; SALMONI, SCHMIDT & WALTER, 1984; SWINNEN, 1996), as quais, salvo poucas exceções, tiveram como base a abordagem motora. Dentre as variáveis estudadas, pode-se destacar:

- fornecimento ou não de CR: presença ou ausência de CR na prática de uma tarefa motora (BILODEAU, BILODEAU & SCHUMSKY, 1959; HO & SHEA, 1978; WRISBERG & SCHMIDT, 1975);
- localização temporal do CR: momento de fornecimento de CR depois de uma resposta (GALLAGER & THOMAS, 1980; LORGE & THORNDIKE, 1935; MAGILL, 1977; MULDER & HULSTIJN, 1985; SWINNEN, SCHMIDT, NICHOLSON & SHAPIRO, 1990);
- atividade durante o intervalo entre tentativas: presença ou ausência de atividades motoras e cognitivas durante o intervalo entre duas respostas (ANDERSON, MAGILL & SEKIYA, 1994; BENEDETTI & McCULLAGH, 1987; MAGILL, 1988; MARTENIUK, 1986; SWINNEN, 1990; TANI, MEIRA JUNIOR & GOMES, 2005);
- CR errôneo: fornecimento de CR errado sobre o resultado obtido (BUEKERS, MAGILL & HALL, 1992; BUEKERS, MAGILL & SNEYERS, 1994; McNEVIN, MAGILL & BUEKERS, 1994);
- precisão de CR: grau de exatidão contido na informação de CR (BENNETT & SIMMONS, 1984; CHIVIAKOWSKY & GODINHO, 1997; MAGILL & WOOD, 1986; SCARINGE, CHEN & ROSS, 2002; WRIGHT, SMITH-MUNYON & SIDAWAY, 1997);
- freqüência de CR: quantidade de CRs fornecidos e regime de distribuição de CR durante a prática de uma tarefa motora (CHEN, 2002; CHIVIAKOWSKY & TANI, 1993, 1997; CHIVIAKOWSKY & WULF, 2002; DUNHAM & MUELLER,

1993; LUSTOSA DE OLIVEIRA, 2002; SHERWOOD, 1988; WULF & SCHMIDT, 1996; YAO, 2003).

Quanto ao fornecimento ou não de CR, a conclusão a que se pode chegar é que CR é uma variável indispensável, mesmo se o acesso a ele se der por meio de recursos próprios. Qualquer pessoa já aprendeu habilidades motoras sem auxílio de CR fornecido por fontes externas (por exemplo, quando a bola cai em uma cesta de basquetebol depois da execução de um arremesso, o aprendiz vê onde a bola caiu e dispensa a informação advinda de fontes externas). Em estudos em que a informação de CR era essencial, os grupos sem CR obtiveram desempenho e aprendizagem significativamente inferiores quando comparados a grupos que receberam CR ao longo das tentativas (CHIVIAKOWSKY, 2000).

Não existe um panorama definido sobre as pesquisas que investigaram a localização temporal do CR. Sabe-se que o intervalo entre tentativas não deve ser muito longo (acima de 10 segundos) nem muito curto (1 ou 2 segundos). Mais especificamente, o intervalo pré-CR parece obedecer à mesma regra; já o intervalo pós-CR não deve ser curto (CHIVIAKOWSKY, 2000). Sugere-se intervalos pré-CR de aproximadamente três segundos - o CR não deve ser fornecido imediatamente após a execução da tentativa porque o aprendiz pode não se engajar nos processos de análise do *feedback* intrínseco, essencial para o desenvolvimento apropriado da capacidade de detecção de erro; visto que no intervalo pós-CR o aprendiz tem acesso tanto às informações de seu próprio corpo como a informação de CR, deve-se respeitar um tempo de mais ou menos cinco segundos (MAGILL, 2000).

Outro procedimento metodológico associado à localização temporal do CR é a execução de atividades interpoladas no intervalo entre tentativas. Atividade interpolada durante o intervalo pré-CR tem efeito positivo na aprendizagem da tarefa principal quando ela exige estimativa subjetiva do erro, por exemplo, em tarefas com os olhos vendados. Por outro lado, não é recomendável executar atividades interpoladas durante o intervalo pré-CR quando a tarefa principal é complexa. No que concerne ao intervalo pós-CR, a atividade interpolada de caráter cognitivo prejudica a aprendizagem da tarefa

principal; já a atividade motora interpolada pode otimizar a aprendizagem da tarefa principal (MAGILL, 2000).

O conjunto de pesquisas sobre o CR errôneo permite concluir que se a maioria da informação recebida num regime de prática for errada, os aprendizes deixam-se influenciar por tal informação, conferindo suporte à hipótese de que o CR desempenha o papel de guia em direção ao alcance da meta (CHIVIACOWSKY, 2000).

3.6 Precisão e frequência de conhecimento de resultados

De maior importância para os objetivos deste trabalho, constituem-se as variáveis precisão e frequência de CR.

A forma de manipulação de regimes de precisão de CR se dá pela informação sobre a direção do erro, a magnitude do erro, ou ambas. A primeira forma de manipulação também recebe a denominação de CR qualitativo e a última de CR quantitativo. Em adultos, alguns estudos têm indicado que tanto melhor o desempenho quanto maior for a precisão do CR (MAGILL & WOOD, 1986; REEVE, DORNIER & WEEKS, 1990; WRIGHT, SMITH-MUNYON & SIDAWAY, 1997). Já os estudos de ROGERS JUNIOR (1974), BENNETT e SIMMONS (1984) e SCARINGE, CHEN e ROSS (2002) com adultos e os estudos de CHIVIACOWSKY e GODINHO (1997) e NEWELL e KENNEDY (1978) com crianças não apontam diferenças entre graus de precisão de CR distintos. MAGILL e WOOD (1986) também concluíram que, em estágios iniciais de aprendizagem, a informação deve ser mais geral e qualitativa, diferente do CR em estágios mais avançados, que deve ser tanto qualitativo como quantitativo, além de mais específico.

É oportuno destacar que, comparativamente a outras variáveis de CR (especialmente a sua frequência), os estudos acerca da precisão são ainda reduzidos, o que inibe uma revisão mais abrangente.

A pesquisa no âmbito da frequência de CR é a mais recorrente. Dentre as formas principais de manipular a frequência de CR, destacam-se os regimes de CR:

- decrescente: mais CR no início da prática e menos CR no final (DUNHAM & MUELLER, 1993; WINSTEIN, POHL & LEWTHWAITE, 1994; WULF & SCHMIDT, 1989);
- médio: CR de um valor médio acerca de uma série de tentativas (WEEKS & SHERWOOD, 1994; WULF & SCHMIDT, 1996; YAO, 2003; YOUNG & SCHMIDT, 1992);
- sumário: fornecimento de informações acerca de uma série de tentativas apenas após a execução da última tentativa da série (GABLE, SHEA & WRIGHT, 1991; GUADAGNOLI, DORNIER & TANDY, 1996; LAVERY, 1962; SCHMIDT, LANGE & YOUNG, 1990; SIDAWAY, MOORE & SCHOENFELDER-ZOHDI, 1991);
- com faixa de amplitude: CR apenas sobre erros que extrapolem uma faixa de amplitude pré-determinada (CHEN, 2002; GOODWIN & MEEUWSEN, 1995; SHERWOOD, 1988; SMITH, TAYLOR & WITHERS, 1997);
- autocontrolado: fornecimento de CR apenas quando solicitado pelo aprendiz (CHIVIAKOWSKY, 2000; CHIVIAKOWSKY & WULF, 2002; JANELLE, BARBA, FREHLICH, TENNANT & CAURAUGH, 1997; JANELLE, KIM & SINGER, 1995);
- com frequência relativa: razão entre a quantidade de CRs fornecidos em uma série de tentativas e o número total de tentativas executadas, isto é, a porcentagem de tentativas em que CR é fornecido (BILODEAU & BILODEAU, 1958; CASTRO, 1988; CHIVIAKOWSKY & GODINHO, 2004; CHIVIAKOWSKY & TANI, 1993, 1997; GODINHO, 1992; LAI & SHEA, 1999; LUSTOSA DE OLIVEIRA, 2002; WRISBERG & WULF, 1997; WULF, LEE & SCHMIDT, 1994).

A literatura tem mostrado que o CR não deve ser fornecido em todas as tentativas. Pesquisas comparando CR decrescente, CR crescente e CR constante não indicam vantagem para nenhum desses regimes. Da mesma forma, estudos que compararam CR médio com outros regimes apontam tendências contrárias, ora com vantagem para o grupo que recebeu CR médio, ora com vantagem para grupos de 100% de CR, 33% de CR e CR sumário. Panorama diferente ocorre com o CR sumário; tem-se observado otimização na aquisição de habilidades motoras com CR sumário na comparação com fornecimento de 100% de CR. No que se refere ao CR com faixa de amplitude, o

conjunto de pesquisas sobre o tema indica que esse regime, comparado a 100% de CR, é mais eficiente para aprender habilidades motoras. Regimes de CR autocontrolados, a tomar por base as principais pesquisas realizadas, mostram-se significativamente superiores a regimes controlados pelo pesquisador (CHIVIACOWSKY, 2000).

3.7 Frequência relativa de conhecimento de resultados

A frequência relativa de CR é de interesse central no presente trabalho. Os grupos clássicos compostos nos estudos que investigaram essa variável são: 10% (cinco tentativas sem CR e uma com); 20% (quatro tentativas sem CR e uma com), 25% (três tentativas sem CR e uma com), 33% (duas tentativas sem CR e uma com), 50% (uma tentativa sem CR e uma com), 66% (uma tentativa sem CR e duas com), 75% (uma tentativa sem CR e três com) e 100% (todas as tentativas com CR).

No estudo de BILODEAU e BILODEAU (1958), que envolveu o posicionamento de uma manivela até uma posição critério, a frequência absoluta foi mantida constante em 10 CRs. Com efeito, a frequência relativa e a quantidade de prática para cada grupo variaram: o grupo de 100% de CR praticou 10 tentativas, o de 33%, 30 tentativas, o de 25%, 40 tentativas e o de 10%, 100 tentativas. Embora os grupos não tenham se submetido a testes de transferência, os resultados das tentativas com CR não foram diferentes entre os grupos, considerando o número de erros e o padrão de mudança ao longo da prática. Vale ressaltar que os autores deram pouca importância às tentativas sem CR.

Com a utilização de um teste de transferência, JOHNSON, WICKS e BEN-SIRA¹ (citados por SCHMIDT, 1982) chegaram a conclusões opostas às do estudo descrito no parágrafo anterior. Executando uma tarefa de posicionamento, o grupo que executou 100 tentativas e recebeu apenas 10 informações de CR transferiu com desempenho significativamente superior aos grupos de 25%, 33% e 100% de CR.

¹ R.W. Johnson, G.G. Wicks, D. Ben-Sira. *Practice in the absence of knowledge of results: acquisition and transfer*. Unpublished manuscript, University of Minnesota, 1981.

Estudos mais recentes, com delineamento experimental similar (CASTRO, 1988; CHIVIAKOWSKY & TANI, 1993), ou seja, que mantiveram a frequência absoluta constante, aplicaram testes de transferência e os resultados foram favoráveis às menores frequências de CR. Dois estudos que variaram a frequência absoluta, mas mantiveram constante o número de tentativas, também encontraram resultados favoráveis às frequências menores (CHIVIAKOWSKY, 1994; WINSTEIN & SCHMIDT, 1990); apenas o estudo de GODINHO (1992) não detectou diferenças entre os grupos.

Sob o referencial da teoria de esquema (SCHMIDT, 1975), várias pesquisas foram conduzidas para investigar o papel da frequência relativa de CR na aprendizagem de parâmetros e do PMG. As frequências menores de CR mostraram-se mais efetivas para a aprendizagem do PMG (WULF, 1992a; 1992b; WULF, LEE & SCHMIDT, 1994; WULF & SCHMIDT, 1989; WULF, SCHMIDT & DEUBEL, 1993; WRISBERG & WULF, 1997). Por outro lado, para a aprendizagem dos parâmetros de habilidades motoras, frequências menores de CR parecem não ser tão eficazes (WULF, SCHMIDT & DEUBEL, 1993).

As frequências relativas de CR também têm sido combinadas com diferentes arranjos de prática. De forma geral, frequências menores de CR são mais eficazes quanto mais variada for a prática (CHIVIAKOWSKY & TANI, 1997; LAI & SHEA, 1999).

3.8 Hipóteses explicativas para a superioridade da frequência reduzida de conhecimento de resultados

Regimes reduzidos de CR têm encontrado suporte em três hipóteses explicativas: a hipótese da especificidade ou da similaridade (HENRY, 1968), a hipótese da instabilidade - *maladaptive short-term corrections* (SCHMIDT, 1991) e a hipótese da orientação - *guidance hypothesis* (SALMONI, SCHMIDT & WALTER, 1984; SCHMIDT, 1991).

A hipótese da especificidade ou da similaridade apóia-se na idéia de que as condições de aquisição similares às condições de retenção provocam melhor aprendizagem (HENRY, 1968). Ao considerar que as tentativas dos testes de retenção não são seguidas por fornecimento de CR, pode-se deduzir que

freqüências reduzidas de CR na aquisição constitui-se um regime, segundo a visão de Henry, que favorece desempenho melhor na retenção, comparado a um regime de CR freqüente. Pesquisas foram conduzidas para investigar a plausibilidade dessa conjectura e os resultados não permitiram tomar a hipótese da especificidade como explicação para a superioridade de freqüências reduzidas de CR (GOODWIN & MEEUWSEN, 1995; WINSTEIN & SCHMIDT, 1990).

A hipótese da instabilidade (*maladaptive short-term corrections*) considera uma relação diretamente proporcional entre a freqüência de CR e a instabilidade. Como num regime de 100% de CR o aprendiz recebe informações após cada tentativa: há freqüentes reorganizações associadas ao desempenho, as quais podem dificultar a formação de uma consistência mínima, consistência essa importante para o desempenho nos testes de aprendizagem. Formada nas tentativas sem CR, a consistência serviria de alicerce para o uso de CR quando ele fosse apresentado. Se o CR for freqüente, mesmo para erros mínimos, o aprendiz pode realizar correções desnecessárias que, em vez de auxiliar, prejudicam a aprendizagem (SCHMIDT, 1991).

Segundo a hipótese da orientação ou *guidance hypothesis* (SALMONI, SCHMIDT & WALTER, 1984; SCHMIDT, 1991), receber CR após cada tentativa causa dependência de fornecimento. Isso pode prejudicar atividades mentais por parte do aprendiz. Resultados de estudos com CR errôneo evidenciam o forte papel de guia que o CR desempenha. Ora, se ele for fornecido num regime de 100%, o alcance da meta estará intimamente ligado ao fornecimento do CR. É óbvio que o aprendiz deve receber CR ao longo do processo de prática (pois motiva e direciona ao alcance da meta), porém não em todas as tentativas. “Bombardear” o aprendiz de CR pode prejudicar o desenvolvimento da capacidade de detecção e correção de erros, uma vez que o processamento da informação intrínseca é teoricamente inibido (SALMONI, SCHMIDT & WALTER, 1984). Segundo ADAMS (1971), o *feedback* intrínseco é comparado com uma referência de correção e essa comparação permite detectar erros. Nas tentativas em que não recebe CR, o aprendiz é estimulado a processar o *feedback* intrínseco como única fonte de informação sobre o movimento executado. Logo, CR reduzido faz o aprendiz envolver-se mais ativamente no processo de detecção e correção de erros. Além disso, segundo essa hipótese explicativa, CR freqüente

pode causar bloqueio de operações de resgate na memória, prejudicando o planejamento do plano de ação (WULF & SCHMIDT, 1994). A hipótese da orientação tem sido corroborada (KOHL & SHEA, 1995; PARK, SHEA & WRIGHT, 2000) e constitui-se a mais utilizada para explicar a superioridade de frequências reduzidas de CR.

3.9 Estudo do conhecimento de resultados na perspectiva teórica do processamento de informação

Os resultados empíricos de pesquisas sobre a frequência de CR são contrários às proposições das teorias clássicas de aprendizagem (CHIVIAKOWSKY, 2000; CHIVIAKOWSKY & TANI, 1997; GUADAGNOLI & KOHL, 2001; SALMONI, SCHMIDT & WALTER, 1984; WULF & SCHMIDT, 1989; WULF, SHEA & RICE, 1995). Nas perspectivas clássicas de processamento de informação (ADAMS, 1971; SCHMIDT, 1975), sugere-se que o CR é primordialmente utilizado para a aprendizagem motora em dois modos complementares: a) o indivíduo necessita de CR para testar hipóteses sobre a exatidão da resposta precedente, e b) cada hipótese testada contribui para uma memória melhor em relação àquela resposta. Em outras palavras, depois da execução de uma tentativa, o indivíduo estima o quão bem ele foi. Assim, ele avalia a exatidão da estimativa (hipótese) comparando-a com o CR recebido. Com base nessa comparação, uma nova hipótese é transferida para a próxima resposta.

Adams afirmou que para a aprendizagem ocorrer, deve-se usar CR para aperfeiçoar respostas futuras com base na informação recebida das tentativas anteriores. O fortalecimento da memória que controla a resposta desenvolve-se com o uso do *feedback* intrínseco associado ao CR (hipóteses das respostas testadas). Quando o CR é suprimido, o indivíduo apenas pode fortalecer o que foi aprendido com as respostas anteriores em que o CR estava presente. Então, com base nessa perspectiva, 100% de CR maximizaria os efeitos da aprendizagem (GUADAGNOLI & KOHL, 2001).

Em perspectivas recentes de processamento de informação, a idéia é oposta: altas frequências de CR fazem o aprendiz tornar-se dependente dele em respostas futuras (hipótese de orientação, SALMONI, SCHMIDT & WALTER,

1984). Uma implicação da hipótese de orientação é que quando indivíduos recebem frequência alta de CR durante a aquisição, eles falham em usar processos adicionais ou procuram outras fontes de informação (que não o CR) que contribuem mais para o desenvolvimento da memória. Por outro lado, baixas frequências de CR encorajam o engajamento de processos adicionais durante as tentativas sem CR, processos esses que promovem um melhor desenvolvimento de memória. Portanto, menos de 100% de CR maximizaria a aprendizagem.

Muitas pesquisas são conduzidas para verificar o contraste das duas vertentes de processamento de informação, comparando frequências de 100% com frequências menores (CHIVIAKOWSKY, 2000; MAGILL, 2000). A maioria dos resultados tem fornecido suporte à hipótese de orientação.

As pesquisas preocupadas em investigar o CR foram conduzidas numa perspectiva de processamento de informação, ou seja, na abordagem motora. De modo sintético, são apresentadas, a seguir, as principais características dessa vertente teórica.

A aquisição de habilidades motoras, na abordagem motora, é um processo que busca a estabilização (automatização) de uma habilidade motora. Com a prática e o *feedback*, os indivíduos relacionam informações para a formação de estruturas cognitivas responsáveis pelos movimentos.

Podem-se estabelecer duas linhas de abordagem do processo: uma com predominância descritiva, preocupada em caracterizar as fases da aprendizagem (BERNSTEIN, 1967; FITTS & POSNER, 1967; GENTILE, 1972), e outra predominantemente explicativa, enfatizando os mecanismos subjacentes ao processo (ADAMS, 1971; LOGAN, 1988; SCHMIDT, 1975; SCHNEIDER & SHIFFRIN, 1977).

O modelo descritivo de FITTS e POSNER (1967) ilustra a aprendizagem ocorrendo ao longo de três estágios. No início do processo, isto é, no estágio cognitivo-verbal, o indivíduo envolve-se com a compreensão do objetivo da habilidade, tenta filtrar as informações relevantes para a elaboração de um plano motor e a organização seqüencial de seus componentes, dirige totalmente a atenção para o alcance do objetivo e comete um grande número de erros, via de regra, grosseiros. Ao longo da prática, ocorre aumento da consistência do desempenho, refinamento do plano motor (organização e

padronização espacial e temporal de seus componentes), e o indivíduo torna-se capaz de detectar os erros e, às vezes, de corrigi-los (estágio associativo). O indivíduo chega à automatização ou estágio autônomo quando dirige pouca atenção à execução (preocupa-se com outros aspectos muito específicos do desempenho ou até mesmo executa outra ação simultaneamente), executa a ação motora em menor tempo e com menos gasto de energia, é capaz de detectar e corrigir os poucos e refinados erros que comete.

GENTILE (1972) propôs um modelo descritivo dividido em apenas dois estágios. O primeiro, em que o indivíduo se envolve na obtenção da idéia do movimento e tenta selecionar os estímulos relevantes e estabelecer um padrão de movimento adequado ao alcance da meta. Nesse estágio, um plano de ação é elaborado por meio da seleção e reelaboração de sub-rotinas. No segundo estágio, há um aumento da consistência e refinamento do padrão do estágio anterior (para habilidades fechadas, em que o ambiente é relativamente estável), ou ocorre um aumento da constância, isto é, a meta é alcançada em situações distintas, além de haver variação do padrão do estágio precedente (para habilidades abertas, em que o ambiente é relativamente instável).

Para BERNSTEIN (1967), no início, o sistema promove a restrição do movimento (estágio 1). Ao longo das tentativas ocorre melhoria do controle, os graus de liberdade são gradualmente liberados e ações mais complexas são executadas (estágio 2). No último estágio, o indivíduo utiliza funcionalmente as forças passivas e ativas do sistema efetor para melhorar a eficiência.

Quanto aos mecanismos envolvidos durante o processo, as teorias clássicas de aprendizagem motora sugerem a formação de estruturas responsáveis pelo movimento. O traço de memória (ADAMS, 1971) e o esquema de lembrança (SCHMIDT, 1975) são responsáveis pela produção do movimento. Já a avaliação do que foi executado fica a cargo do traço perceptivo (ADAMS, 1971) e do esquema de reconhecimento (SCHMIDT, 1975). Uma descrição mais aprofundada das idéias de Adams e Schmidt é apresentada no item 3.4 do presente trabalho.

Os processos de automatização foram preocupação central de LOGAN (1988) e SCHNEIDER e SHIFFRIN (1977), a despeito de abordarem apenas o domínio cognitivo, especificamente a aprendizagem verbal. SCHNEIDER e

SHIFFRIN (1977) recorrem a conceitos de memória e atenção para explicar o processo de aprendizagem, com a proposição de um sistema de processamento de informação, para o qual o ser humano possui capacidade limitada. O processo ocorre em dois subprocessos denominados automatização (memória de longo termo) e processo de controle (memória de curto termo), os quais são essencialmente diferentes quando o parâmetro de referência é a performance. Relacionam-se esses dois subprocessos com a demanda de memória (complexidade), a natureza do estímulo e a quantidade de prática. A automatização é fortemente relacionada à consistência, ao passo que o processo de busca de soluções (ou de controle) é associado à variabilidade. A automatização, que independe do controle do sujeito e não requer altas demandas de atenção, relaciona-se com o processamento paralelo e, conseqüentemente, com a consistência.

LOGAN (1988) apresenta uma visão de automatização sem restrições de processos de atenção. Ele defende que há mudança na base de conhecimento com a prática, com base em uma transição gradual de um processamento do algoritmo para um processamento com base na memória. A memória torna-se forte porque a cada experiência é criado um traço separado que pode ser recrutado na hora da recuperação. Quando o item armazenado é recuperado na memória, há automatização, que pode ocorrer nas primeiras tentativas ou não, dependendo da natureza da tarefa (estímulo) e do ambiente. Logan trabalha com a idéia de "corrida", apresentada como analogia para explicar a transição do algoritmo para a automatização: "com a prática, a memória domina o algoritmo porque mais e mais instâncias competem "(...)" cada episódio armazenado compete com os outros e aquele que tiver mais entradas ganha a corrida". A teoria considera a intenção como parte do processo de automatização, pois afirma que os processos automáticos são usados intencionalmente. Ainda, segundo Logan, uma pessoa só vai confiar na memória quando ela puder ser usada rapidamente e sem esforço cognitivo. Quanto à consciência, destaca-se a relação estabelecida entre "pensar numa solução a ser dada" (algoritmo) e "dar uma solução sem pensar" (memória).

Esse modelo teórico orientado à estabilização enfatiza, portanto, a formação e manutenção de estruturas com base em representações cognitivas

que se formam com as relações estabelecidas pelo indivíduo ao longo das tentativas. Entretanto, há dificuldade para tratar a coexistência de aspectos contraditórios característicos do comportamento motor, como consistência/variabilidade, ordem/desordem, estabilidade/instabilidade. A frase clássica de BARTLETT (1932) “Quando executo a rebatida, não produzo algo absolutamente novo, nem repito algo meramente velho” representa bem a coexistência de consistência (não produzir algo novo) e variabilidade (não repetir algo velho) na execução de ações motoras.

No modelo orientado à estabilização, desordem, variabilidade, instabilidade e erro são aspectos a serem reduzidos ou eliminados do processo. A considerar esses aspectos, entende-se que esse modelo negligencia pontos fundamentais do processo e, portanto, torna-se limitado para explicar o processo de aquisição de habilidades motoras de forma fidedigna.

Enraizadas na teoria da informação e na cibernética, o modelo orientado à estabilização privilegia condições de equilíbrio (por exemplo, o alcance da automatização), uma vez que considera sistemas como entidades estáveis. Esse modelo enfatiza, pois, a formação de estruturas (por exemplo, o programa motor generalizado) e a manutenção delas com o processo de prática e *feedback*. O CR, então, atua como um tipo de *feedback* negativo, cujo conteúdo tem a finalidade de reduzir a diferença entre a meta desejada e o resultado obtido. O *feedback* negativo (ou neutralizador de desvio) foi um conceito-chave da cibernética, cujos objetos de estudo eram os sistemas auto-regulatórios e equilibrados; nesse sentido, qualquer desvio deveria ser neutralizado para manter o sistema em equilíbrio (MARUYAMA, 1963).

Para que seja robusta, a estrutura formada durante o processo de aquisição deve ser capaz de preencher quatro pré-requisitos. O primeiro é a capacidade de armazenamento, necessária para que as estruturas cognitivas envolvidas não entrem em colapso. A origem da estrutura também deve ser explicada. Ainda, a estrutura deve permitir a extrapolação para execução de novas habilidades motoras, bem como ser passível de atingir estados de maior complexidade. Entretanto, as estruturas propostas pelo referencial teórico de processamento de informação falham na tentativa de abranger simultaneamente os requisitos listados acima. Ademais, uma teoria de aprendizagem motora deve

acomodar, em suas linhas, soluções razoáveis para problemas centrais da área, quais sejam, o alcance do mesmo objetivo por meio de ações motoras distintas (equivalência motora), o problema dos graus de liberdade (controlar um sistema complexo com inúmeros elementos independentes, bem como as maneiras que cada elemento interage com os outros, a fim de produzir um resultado específico) e, conseqüentemente, as questões relacionadas à variabilidade do sistema motor (TANI, 1995).

3.10 Conhecimento de resultados e processo adaptativo

Uma forma alternativa de abordar questões centrais da área é encarar o fenômeno de aquisição de habilidades motoras sob uma nova óptica teórica. Com base em conceitos meta-teóricos básicos - sistema aberto, organização hierárquica, coexistência de fatores contraditórios (ordem x desordem, determinância x indeterminância, macro x micro), formação, manutenção e desmantelamento de estruturas - e considerando teorias prospectivas da área que aderem a idéias de não equilíbrio (a abordagem da ação), o modelo de processo adaptativo (FIGURA 1) parece ser adequado para tratar da aquisição de habilidades motoras de forma mais completa, pois estudar o ser humano como um sistema aberto complexo implica considerá-lo como adaptativo, capaz de codificar informações da interação com o meio ambiente. Assim, nas linhas seguintes, pretende-se fornecer uma explicação desse modelo, tomando-se por alicerce seus principais representantes (CHOSHI, 2000; MANOEL, 1992, 1993, 1998; MANOEL & CONNOLLY, 1995, 1997; TANI, 1982, 1989, 1995, 1998, 2000a, 2005; TANI, CONNOLLY & MANOEL, 1996).

O fenômeno de aquisição de habilidades motoras é encarado como um processo hierárquico ao longo de ciclos de instabilidade-estabilidade e num sentido de maior complexidade. Assim, não somente a estabilização é considerada, mas também a adaptação. Na fase de estabilização ou de controle ótimo, ocorre a padronização da função e a formação de uma estrutura. Há uma certa similaridade da fase de estabilização com o processo para se chegar à automatização, destacado no modelo orientado ao equilíbrio. O alcance de características estáveis (redução de erros, execução em menor tempo e com

menos gasto de energia, menor demanda de atenção) e a formação de estruturas (programa de ação e referência de avaliação) envolvem essencialmente prática e *feedback* negativo (informação que reduz a diferença entre o estado desejado e o estado real). No início do processo, isto é, nas primeiras tentativas de execução, os movimentos não possuem consistência (não há padronização espaço-temporal definida), o número de erros é grande e a capacidade de detectar e corrigir os erros é pequena. Ao repetir o processo de solução do problema motor (tentativas repetidas no sentido do alcance da meta), chega-se a um estado estável, o qual é identificado por movimentos padronizados no tempo e no espaço (consistência da relação meio-fim), por uma quantidade menor de erros e pela aquisição da capacidade de detectar e corrigir erros.

FIGURA 1 – Esquematização do modelo de aquisição de habilidades motoras orientado à adaptação (adaptado de TANI, 1995).

A estrutura responsável pela produção de ações motoras, que é formada durante essa fase, denomina-se programa de ação organizado hierarquicamente (PAOH), composto por uma macroestrutura orientada à ordem e à consistência, bem como por uma microestrutura orientada à desordem e à variabilidade. Essa constituição do PAOH, à primeira vista paradoxal porque simultaneamente contempla conceitos opostos (consistência e variabilidade, ordem e desordem), faz sentido quando se considera que o processo de aquisição de habilidades motoras envolve quebra de estabilidade, ou seja, perturbações do meio ambiente. A macroestrutura do PAOH, definida como a interação entre os componentes da ação, fornece a segurança de executar a ação com certa padronização espaço-temporal e maior probabilidade de alcance da meta (consistência). A microestrutura do PAOH, definida como cada componente da ação, proporciona ao aprendiz flexibilidade de execução perante perturbações, isto é, maior capacidade de adaptação a novas situações.

Acredita-se que o controle em nível central é apenas realizado na macroestrutura. A microestrutura, que apresenta características flexíveis, teoricamente é restringida em níveis periféricos. Isso quer dizer que níveis superiores de controle no sistema nervoso central não estabelecem restrições preponderantes nos componentes em si, mas apenas no modo que eles estão integrados. O sistema de controle central, portanto, age minimamente na microestrutura, justamente para que o sistema como um todo possa fazer frente a perturbações.

Dependendo do nível de perturbação a que é exposto, o sistema tenta se adaptar de diferentes formas (fase de adaptação ou controle adaptativo). Se a perturbação é fraca, é preciso apenas ajustar alguns valores paramétricos (adaptação passiva ou paramétrica), tais como força empregada, velocidade de execução e tempo de movimento. Caso haja uma perturbação forte (a quebra da estabilidade é de grande magnitude), o padrão de interação formado anteriormente (macroestrutura) não é capaz de ajustar-se e, portanto, há necessidade de reorganização dos componentes; nesse caso, a adaptação é denominada de ativa ou estrutural. Constata-se, nessa situação, um desmantelamento parcial da estrutura formada anteriormente e, conseqüente formação de uma nova configuração espaço-temporal, com base na configuração

anterior. Em outras palavras, inicia-se a formação de um PAOH com algumas características daquele formado na fase anterior e também com características novas (novas interações entre componentes).

Ao considerar as perturbações para as quais é capaz de se adaptar, o sistema caminha para o aumento de complexidade, já que os ciclos de estabilização e adaptação vão se alternando de forma dinâmica. Contudo, há obviamente perturbações de magnitude demasiadamente intensa, para as quais os sistemas não possuem capacidade de adaptação ou adaptam-se demoradamente. Tal situação é caracterizada por colapso ou adaptação extremamente tardia, uma vez que o sistema lança mão de uma configuração de interação completamente diferente entre componentes das interações anteriormente adquiridas.

As adaptações podem acontecer quando uma mesma habilidade motora é modificada (intratarefa) ou quando novos componentes são incluídos na habilidade motora estabilizada (intertarefa). Na adaptação intratarefa, o estudo da complexidade ocorre pelo modo como uma mesma habilidade motora se modifica com a passagem do tempo. Por exemplo, o ataque do voleibol torna-se mais complexo no que se refere a organização e a diversidade de meios para atingir a meta que define a utilização do padrão de movimento do ataque. Quanto maior a quantidade de maneiras para se atingir a meta, tanto maior a probabilidade de adaptação a novas situações. O entendimento desse conceito permite explicar a diferença entre um atleta habilidoso e um iniciante: embora ambos consigam executar um padrão de movimento denominado ataque, o jogador de voleibol titular numa final olímpica, em virtude de ter experimentado um maior número de ciclos de estabilidade-instabilidade, apresenta padrões de ataque mais confiáveis, ajustáveis à maneira como a bola é levantada e com maiores chances de atingir a meta (obter ponto para sua equipe).

A adaptação intertarefas ocorre quando o aumento da complexidade é dado pela inclusão de novos componentes à habilidade motora adquirida na estabilização, isto é, há formação de uma nova habilidade motora. Nesse caso, o aumento de complexidade é caracterizado pelo número de componentes novos que serão adicionados à habilidade estabilizada e, conseqüentemente, pelas relações que serão estabelecidas entre os componentes. Assim, a habilidade

motora “saltar e arremessar” pode ser introduzida após a habilidade motora “correr e quicar” com o intuito de formar uma habilidade motora mais complexa denominada “bandeja do basquetebol”. O estudo da complexidade, nesse exemplo, está relacionado à análise do comportamento individual dos componentes (correr, quicar, saltar e arremessar) e à análise da relação entre eles.

A idéia de adaptações intratarefa e intertarefas permite acomodar, numa mesma perspectiva, tanto Aprendizagem Motora quanto Desenvolvimento Motor. Essa integração entre campos de estudo próximos sustenta o valor cognitivo da simplicidade (LACEY, 1998), constituindo-se um aspecto bastante elegante do modelo teórico.

FIGURA 2 – Modelo simplificado de ações motoras (adaptado de TANI, 1995).

A estrutura responsável pela avaliação das ações motoras é pouco explorada no modelo orientado à adaptação. O mecanismo de detecção e correção de erros é fundamental, já que se a ação motora pressupõe o estabelecimento de uma meta ambiental, torna-se suficiente e necessário comparar o resultado real da ação e a meta desejada. No modelo simplificado de ações motoras (FIGURA 2), é necessário incluir a referência de avaliação, ou seja, o comparador entre o resultado real da ação e a meta desejada.

O modelo de aquisição de habilidades motoras orientado à adaptação tem sido exposto à testagem, tanto para verificação de seus pressupostos como para sua complementação. De forma geral, as conjecturas teóricas têm resistido à testagem. Os estudos empíricos têm sido realizados para o estudo das fases do processo (BENDA, 2001; CHOSHI, 2000; TANI, 1995, 2000a), das características

da estrutura formada (BASSO, 2002; FREUDENHEIM, 1999; MANOEL, BASSO, CORRÊA & TANI, 2002; MANOEL & CONNOLLY, 1995, 1997; MARINOVIC, 2003; TANI, 1995; TANI, CONNOLLY & MANOEL, 1996) da relação entre perturbação e adaptação (UGRINOWITSCH, 2003) e dos fatores que otimizam o processo adaptativo (especificamente a variável “prática” – CORRÊA, 2001; CORRÊA, BENDA, MEIRA JUNIOR & TANI, 2003; PAROLI, 2004). Com relação a esse último interesse - as estratégias que proporcionam ao aprendiz a aquisição de uma capacidade de adaptação que faça frente a perturbações - é necessário também estudar o papel da variável *feedback*, dada sua crucial importância em qualquer teoria de aprendizagem de movimentos. Uma maneira de estudar essa variável é manipular os regimes de fornecimento de *feedback* extrínseco. A maneira clássica de manipular esse tipo de informação é estudar o CR, uma vez que ele tem relações diretas com a meta estabelecida.

É nesse panorama que se insere o (re)estudo do CR. A redução da frequência de CR seria um fator gerador de incerteza, necessária à otimização do processo adaptativo. Quando se fornece CR muito freqüente durante a aprendizagem - como em todas as tentativas da fase de aquisição, por exemplo - facilita-se momentaneamente, para os sujeitos, o alcance mais rápido dos novos estados procurados. Entretanto, pode haver inibição de características vitais ao desenvolvimento da capacidade de adaptação.

4 PROBLEMA E JUSTIFICATIVA

Os regimes de fornecimento de CR para a aquisição de habilidades motoras consistem em interesse de estudo desde o início do século passado. O CR chama a atenção de pesquisadores porque, além de carregar o conceito de informação (definida como processo de remoção de incertezas), constitui-se fator fundamental da aprendizagem de movimentos.

Essencialmente, o CR tem sido estudado numa perspectiva teórica de processamento de informações. Nessa perspectiva, especificamente em relação à frequência e precisão de CR, há divergências quanto ao regime de fornecimento entre a corrente clássica (ADAMS, 1971; SCHMIDT, 1975; BILODEAU, BILODEAU & SCHUMSKY, 1959) e a corrente atual (GUADAGNOLI & KOHL, 2001; SALMONI,

SCHMIDT & WALTER, 1984; WINSTEIN & SCHMIDT, 1990). A primeira defende regimes com CR mais freqüente e preciso; para a segunda, o CR deve ser fornecido menos freqüentemente e com menos precisão. Ambas as correntes vêem o aprendiz como um processador de informações que estabelece relações entre o resultado obtido (CR) e a ação motora executada, com o intuito de diminuir a discrepância entre a meta desejada e o que realmente aconteceu (erro) na tentativa subsequente. Nessa visão, o CR desempenha um papel associativo de orientação em direção à meta, com ênfase em processos cognitivos.

Todavia, a aquisição de habilidades motoras é explicada como um processo finito, que se encerra na automatização ou estabilização da performance, isto é, o processo é orientado à estabilização ou ao equilíbrio. Essa perspectiva teórica explica satisfatoriamente a formação e a manutenção de estruturas, porém falha em considerar a aprendizagem de habilidades motoras como um processo dinâmico, que está exposto a modificações na tarefa, no ambiente e no organismo. Essas modificações (perturbações) exigem adaptações, as quais proporcionam ao indivíduo mudanças qualitativas em níveis superiores de complexidade.

Portanto, a aquisição de habilidades motoras é um processo contínuo, dinâmico e adaptativo, em que habilidades motoras são estabilizadas e utilizadas em situações similares ou diferentes. Segundo essa visão de não equilíbrio, orientada à adaptação, a quebra da estabilidade é fundamental para o aumento de complexidade do sistema. Fatores como instabilidade, incerteza, desordem e erro não se configuram como características negativas do processo. Além da formação e manutenção de estruturas, a aquisição de habilidades motoras vista como um processo adaptativo (CHOSHI, 2000; MANOEL, 1992, 1993, 1998; MANOEL & CONNOLLY, 1997; TANI, 1982, 1989, 1995, 1998, 2000a) considera a adaptação a novas situações pela flexibilidade ou reorganização das estruturas adquiridas, enfatizando a aplicação de habilidades adquiridas a novas situações.

Assim, encarando o fenômeno de aquisição de habilidades motoras de forma a considerá-lo como um processo adaptativo, é mister reestudar os fatores que o influenciam. Dois fatores são essenciais no decorrer do processo: a prática e o *feedback*. A estrutura da prática tem sido interesse de pesquisa nessa nova

perspectiva (CORRÊA, 2001; CORRÊA, BENDA, MEIRA JUNIOR & TANI, 2003; PAROLI, 2004). Já os regimes de fornecimento de CR que otimizam o processo adaptativo, embora tenham sido estudados de forma preliminar (TANI, MEIRA JUNIOR & GOMES, 2005), necessitam ser mapeados com profundidade.

5 OBJETIVOS E HIPÓTESES

O objetivo geral do presente trabalho é investigar quais regimes de frequência e precisão de CR favorecem o processo adaptativo na aquisição de uma habilidade motora conjugada de preensão manual com posicionamento linear.

A primeira fase do estudo, a de estabilização, será conduzida com o propósito de levar os sujeitos à estabilização funcional, com a manipulação das variáveis independentes supracitadas. Os objetivos específicos dessa fase são:

- caracterizar o comportamento médio do desempenho e verificar a sua tendência em função do tempo (número de repetições);
- comparar, em termos médios, o desempenho de diferentes grupos.

Três são as hipóteses substantivas relativas à fase de estabilização:

1. Não há diferença de médias de desempenho entre os grupos na primeira tentativa de prática.
2. Ao longo da prática, há um padrão no comportamento das curvas de desempenho.
3. Os grupos que recebem regimes de CR com maior frequência e precisão cometem, em média, menos erros que os grupos que recebem com menor frequência e precisão de CR.

Na fase de adaptação, os sujeitos serão testados executando uma tarefa motora com as mesmas metas da fase anterior, porém com uma perturbação ambiental e sem fornecimento de CR. O intuito de tal procedimento é investigar como ocorre a adaptação a uma situação nova. Essa fase tem como objetivos específicos:

- descrever, em termos médios, o desempenho de toda a amostra;

- comparar, em termos médios, o desempenho dos diferentes grupos;
- caracterizar as trajetórias do desempenho de todos os sujeitos, bem como a heterogeneidade deles, isto é, a mudança intraindividual e as diferenças interindividuais.

O seguinte quadro de hipóteses substantivas é derivado dos objetivos acima:

1. Os grupos que receberam, na fase de estabilização, regimes de CR com maior frequência e precisão cometem, em média, mais erros que os grupos que receberam menor frequência e precisão de CR.
2. Os dados se ajustam a um modelo caracterizado pela presença de variância substancial no momento inicial e heterogeneidade de resposta ao longo das tentativas, com o desempenho sendo predito pelo regime de CR recebido na fase de estabilização.
3. Ocorre manutenção da posição relativa dos desempenhos dos sujeitos dos diferentes grupos ao longo das tentativas (*tracking*), isto é, os grupos tendem a permanecer no mesmo canal de desempenho em função do tempo, com os grupos que receberam menor frequência e precisão de CR na fase de estabilização apresentando desempenhos mais estáveis em relação aos demais grupos.
4. Os sujeitos utilizam estratégias distintas de desempenho que se encontram refletidas no caráter não aleatório dos seus erros ao longo das tentativas.

Algumas explicações podem ser avançadas para melhor compreensão do processo. Vale enfatizar, porém, que as idéias que se seguem não serão testadas empiricamente no presente trabalho. Assim, considerando-as em nível conjectural, deve-se ter em mente as limitações provenientes de tais afirmações.

Visto que no processo adaptativo em aprendizagem motora coexistem características comportamentais contraditórias (tais como ordem/desordem) e assumindo que informação é um fator que provoca redução de incerteza, a manipulação do regime de CR constitui-se um procedimento provocador de ordem/desordem no sistema, isto é, no aprendiz. Logo, as duas variáveis independentes escolhidas (frequência e precisão) permitem manipular a

quantidade de incerteza em relação ao alcance da meta da ação motora. Acredita-se que regimes envolvendo fornecimento de CR freqüente e preciso proporcionem a formação de um programa de ação com características prejudiciais ao processo adaptativo. CR freqüente pode facilitar momentaneamente o alcance da meta para os sujeitos, porém talvez dê pouca chance para que o sistema adquira, ao longo do processo, a capacidade de adaptação (CHIVIACOWSKY, 2000). Entende-se que o CR desempenha essencialmente um papel de orientação que guia o indivíduo em direção à meta. No entanto, o CR não é um fator que necessita ser apresentado sempre. Ele age como uma bússola, fornecendo noções da direção em que o sistema caminha para o alcance da meta.

As duas principais hipóteses explanativas correntes do porquê da inadequação de regimes com CR freqüente e preciso são a da instabilidade (SCHMIDT, 1991) e a da orientação (SALMONI, SCHMIDT & WALTER, 1984; SCHMIDT, 1991). De acordo com a primeira, regimes de CRs freqüentes - uma vez que em toda tentativa há correção - não proporcionam oportunidade para a aquisição de consistência, importante nos testes de aprendizagem (esse é um exemplo claro de que o estudo do CR tem acontecido sob uma perspectiva de equilíbrio, no caso porque enfatiza apenas a consistência). A segunda hipótese postula que CR freqüente causa dependência de fornecimento, o que prejudica o desenvolvimento da capacidade de detectar e corrigir erros, em virtude da inibição do processamento da informação intrínseca.

A hipótese explicativa do presente trabalho alinha-se às anteriores no que diz respeito à assunção de que regimes de CR freqüentes e precisos são prejudiciais à aquisição de habilidades motoras. No entanto, a explicação hipotética diferencia-se das anteriores quanto à maneira de abordar o processo (no caso, como de não equilíbrio) e no que se refere ao argumento.

No modelo de processo adaptativo, propõe-se que o programa de ação é composto por uma estrutura organizada de forma hierárquica, ou seja, a macroestrutura orientada à ordem (consistência) e a microestrutura orientada à desordem (variabilidade). De forma conjectural, regimes de CR freqüentes e precisos estimulam: a) correções (diminuição de erro) nos detalhes do movimento, que implicam redução da variabilidade na microestrutura do

programa de ação, resultando na formação de um programa sem a necessária flexibilidade para adaptação - disso decorre rigidez da estrutura; b) aumento da dependência de informações extrínsecas, o que resulta na não utilização e aprimoramento do mecanismo de detecção e correção de erros no nível da macroestrutura, mediante exploração do feedback intrínseco, isto é, a autonomia do sistema não se desenvolve devidamente; c) inibição da geração de incerteza, necessária para aumentar o fluxo de energia livre ou informação dentro do sistema, visto que quando o sistema está à busca de estabilidade (diminuição do fluxo de energia livre ou informação) pode também adquirir informações que o conduzam para estados mais incertos (situações de adaptação).

6 MÉTODO

O nível de análise do presente trabalho é comportamental. O delineamento configurou-se como quase-experimental. Foram tomadas providências a fim de minimizar as ameaças à validade (THOMAS & NELSON, 1996). O foco do esforço metodológico foi privilegiar a validade interna, uma vez que o objetivo precípua deste trabalho é o estabelecimento de relações causais entre a variável independente e a variável dependente. Todavia, existiu também a preocupação com a generalização dos resultados, de modo que não foram negligenciadas questões referentes às ameaças à validade externa (por exemplo, o procedimento de designação aleatória dos sujeitos a cada grupo experimental).

A base teórica adotada para o tratamento do problema pressupõe uma metodologia adequada tanto às assunções - sobretudo no que tange à seleção de uma tarefa apropriada em que o CR seja relevante - como à utilização de medidas pertinentes que possam ilustrar as mudanças ocorridas e à elaboração de um delineamento experimental que permita caracterizar o processo como adaptativo (TANI, 1995).

Ademais, vale a pena ressaltar que, com o propósito de ajustar detalhes metodológicos referentes à condução do experimento principal, foram realizados pré-experimentos (pilotos) que auxiliaram na tomada de decisões acerca de alguns procedimentos metodológicos.

6.1 Tarefa motora, equipamento, instrumentação e medidas

Especificamente em relação ao estudo do CR, é preciso que a tarefa motora possua uma meta bem definida e que a resposta motora seja passível de comparação com a meta, e ainda, que essa comparação seja quantificável e transmissível. Além disso, é de extrema importância que a informação seja relevante para que a manipulação do regime de CR seja efetiva. É desejável também que a tarefa guarde alguma similaridade com situações reais.

Levando em consideração os requisitos expostos acima, desenvolveu-se a idéia de uma tarefa experimental que conjugasse características de aplicação de força (GUADAGNOLI & KOHL, 2001; KOHL & GUADAGNOLI, 1996; SCARINGE, CHEN & ROSS, 2002) e de posicionamento de um objeto no espaço (ANDERSON, MAGILL & SEKIYA, 2001; MOSS & HOGG, 1987; YOUNG & SCHMIDT, 1990, 1992). Existem aparelhos que permitem a manipulação dessas características separadamente. Os mais comuns são o dinamômetro (para tarefas de controle de força) e o aparelho de posicionamento linear (para tarefas de controle espacial). Todavia, não há registro de equipamento que proporcione uma tarefa cuja manipulação de demanda espacial seja conjugada simultaneamente à manipulação de controle de força. No mundo real, há vários exemplos de habilidades motoras que envolvem a conjugação de controle de força e posicionamento no espaço, dentre as quais, apreender um copo e levá-lo à boca, remar, trocar a marcha ou acionar o freio de um veículo, aplicar um golpe de judô.

A necessidade de uma tarefa desse tipo e a constatação de que não existia um equipamento que permitisse reproduzir tal tarefa instigaram a construção de um equipamento. Dessa forma, em parceria com o Laboratório de Eletromagnetismo Aplicado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Lmag – EPUSP), foi construído o Aparelho Eletromagnético de Posicionamento Linear com Dinamometria (MEIRA JUNIOR, TANI, CHABU, FERRAZ & CARDOSO, 2004). As inovações que o aparelho proporcionou foram: a aquisição da força de preensão manual (dinamometria) no cursor a ser posicionado e a possibilidade de aplicação de uma força de translação contrária ao sentido do movimento.

O empreendimento de construção foi desenvolvido em sete etapas ao longo de 15 meses: 1) estudo do caso, 2) anteprojeto, 3) simulação computacional (*software* FLUX2D versão 7.6), 4) projeto executivo, 5) usinagem, 6) montagem e 7) testes/ajustes.

O aparelho construído, portanto, possibilitou a execução de uma tarefa combinada de aplicação de força e deslocamento espacial. A movimentação do cursor ocorre no plano unidimensional a fim de atingir uma meta preestabelecida ao longo de uma régua graduada. O controle da força de preensão é proporcionado por uma mola calibrada, situada no manche do cursor. A mensuração da força é obtida por um transdutor de força eletromagnético composto por um LVDT (*Linear Variable Differential Transformer*) e um voltímetro calibrado. À proporção que uma força é aplicada, o voltímetro indica um valor de tensão elétrica no LVDT proporcional ao módulo da força. O aparelho permite também a manipulação da força de resistência à translação do cursor; tal força é regida pelo princípio da força eletromagnética sobre correntes induzidas de *Foucault* ("quando um material condutor está em movimento em relação a um campo magnético que o permeia, ou vice-versa, uma força eletromagnética é induzida pela fonte de campo no material de maneira a tentar cessar o movimento"). Com a movimentação do cursor (conjunto indutor de campo), tensões e correntes elétricas são induzidas na parte fixa do aparelho (induzido), pois o fluxo magnético que permeia essa parte fixa varia no tempo. Apesar do conjunto indutor operar com corrente contínua e produzir um campo magnético estacionário solidário ao cursor móvel, o movimento de translação do cursor proporciona um campo não estacionário do ponto de vista do induzido (parte fixa do aparelho). As correntes induzidas de *Foucault*, somadas à presença do campo magnético em movimento, originam uma força resistente ao movimento do cursor, de mesmo módulo e direção, porém de sentido oposto ao da força empregada pelo executante. O controle dessa força resistente se dá pela alimentação do conjunto indutor: quanto maior a corrente elétrica de alimentação do indutor, maior a resistência ao movimento.

O equipamento e a tarefa podem ser visualizados na FIGURA 3. Ilustrações adicionais e detalhes do funcionamento do aparelho podem ser encontrados nos ANEXOS II e III.

FIGURA 3 – Ambiente de pesquisa.

O movimento de preensão empregado no experimento envolveu o controle de força (ausência de oposição entre o polegar e os demais dedos, que ficam flexionados formando uma espécie de prensa contra a palma da mão - diferente da preensão de precisão, na qual o polegar se opõe a um ou mais dedos sem o envolvimento da palma da mão - NAPIER, 1956). A tarefa envolveu movimentos extrínsecos, isto é, que contaram com a participação de movimentos do tronco e de segmentos e articulações do membro superior, com o propósito de manter o objeto numa posição fixa no interior da mão (ELLIOTT & CONNOLLY, 1984). A posição inicial envolveu leve flexão de ombro e de cotovelo. O movimento propriamente dito até a posição final envolveu abdução do ombro e extensão de cotovelo.

A cinestesia constitui-se um aspecto fundamental na execução de tarefas motoras. O papel que as informações sensoriais desempenham no planejamento e no controle imediato de ações é fundamental. De fato, se quisermos executar bem movimentos, é essencial que o sistema nervoso central receba um fluxo contínuo dessa informação, a qual é utilizada de três formas: 1) conhecimento da posição do corpo e dos membros antes, durante e depois da

ação; 2) planejamento e modificação de planos de ação; 3) auxílio na aprendizagem e reaprendizagem de padrões de movimento (ROSE, 1997; SAGE, 1984; SHUMWAY-COOK & WOOLLACOTT, 2001).

Uma vez que no presente estudo o indivíduo executou a tarefa apenas com o recebimento da informação proprioceptiva, sem a informação visual, a sensação consciente de movimento e a posição de membros dependem fortemente dos receptores sensoriais. Os receptores cutâneos (terminações nervosas livres, discos de Merkel, corpúsculos de Meissner, corpúsculos pacinianos) são estimulados pela deformação física do próprio receptor ou da área que o rodeia. A contribuição deles varia ao longo das articulações, tornando-se mais importantes em articulações distais (como as dos dedos) envolvendo desempenho em movimentos de controle fino. Dentre os proprioceptores destacam-se: a) os fusos musculares, localizados dentro dos músculos esqueléticos, constituídos de fibras musculares especializadas denominadas de fibras intrafusais; são os mais importantes proprioceptores porque não são apenas vitais para a consciência da posição dos membros em movimento, mas também contribuem decisivamente para o controle motor fino; além disso, fornecem informação, através de disparos nervosos, ao sistema nervoso central sobre o tamanho e força do músculo; b) órgãos tendinosos de Golgi, receptores musculares situados nos tendões que monitoram a taxa de mudança de tensão em um músculo em contração e protegem os músculos de uma carga muito extrema. Ambos agem de forma complementar para regular automaticamente a extensão e a tensão musculares (SAGE, 1984; SHUMWAY-COOK & WOOLLACOTT, 2001).

Os receptores articulares (terminações do tipo golgi, terminações de Ruffini ou de pulverização, terminações nervosas livres e terminações puciniformes), situados nas cápsulas articulares e ligamentos das articulações sinoviais, fornecem informação de aspectos dinâmicos e estáticos da movimentação da articulação e da consciência de dor. Receptores articulares têm importante papel de *feedback* durante a execução para regular aspectos dinâmicos dos movimentos dos membros e regular o *timing* ou a seqüência da ação. O *feedback* sensorial, disponível após a realização do movimento, tem uma importante função na correção do erro; saber a posição final dos membros e/ou

do corpo após o movimento possibilita a obtenção de informação relevante sobre a performance, o que serve para avaliar a obtenção da meta (ADAMS, 1978). Em contrapartida, isso tem sido questionado por resultados de experimentos em neurofisiologia, os quais indicam que esses receptores não são disparados quando a articulação está em posição média, apenas em amplitudes extremas de rotação da articulação (ROSE, 1997).

6.2 Variáveis e grupos experimentais

Duas variáveis independentes relacionadas ao fornecimento de CR foram manipuladas: frequência relativa e precisão.

A frequência relativa foi fornecida de três formas: em 33% do total de tentativas (uma tentativa com CR e duas tentativas sem CR), em 66% do total de tentativas (duas tentativas com CR e uma tentativa sem CR), e em 100% do total de tentativas (todas as tentativas com CR).

No que concerne à precisão, o CR foi fornecido de duas maneiras: parcial ou geral (apenas sobre a direção do erro) e total ou específico (sobre a direção e a magnitude do erro).

Visto que se pretendeu investigar a interação entre as variáveis, os grupos experimentais receberam CRs combinados de frequência relativa e precisão. Seis grupos, portanto, foram formados (QUADRO 2).

QUADRO 2 – Grupos experimentais e variáveis independentes.

	FREQÜÊNCIA (% de CRs fornecidos em relação ao total de tentativas)	PRECISÃO (CR acerca do desvio em relação à meta)
G1	100%	Direção e Magnitude
G2	100%	Direção
G3	66%	Direção e Magnitude
G4	66%	Direção
G5	33%	Direção e Magnitude
G6	33%	Direção

As medidas de erro absoluto (EA) foram obtidas das variáveis dependentes: a) força aplicada no dinamômetro (kgf) e b) deslocamento do cursor (cm).

6.3 Sujeitos

Cento e vinte adultos universitários participaram voluntariamente do experimento; cada grupo foi composto por 20 sujeitos, dez do sexo masculino e dez do sexo feminino. As idades variaram de 18 a 39 anos, com média de 25 e desvio padrão de 4,5 anos. Com o propósito de obter equivalência dos grupos no início do experimento e para evitar tendência na seleção, adotou-se na formação dos grupos o procedimento de designação aleatória (THOMAS & NELSON, 1996), com controle de contrabalanceamento em relação ao gênero.

Todos os indivíduos eram inexperientes em participação com estudos em Aprendizagem Motora. Cada indivíduo assinou um termo de consentimento (ANEXO I), no qual havia informação detalhada acerca dos procedimentos e riscos da pesquisa, bem como de seus direitos como participante de um experimento para fins científicos. A execução das tarefas motoras ofereceu risco mínimo relacionado a fatores físicos e/ou psicológicos. Alguns sujeitos reportaram pequeno desconforto em virtude da fadiga localizada no membro superior não dominante, associada ao esforço em uma seqüência de tentativas. O presente trabalho foi aprovado pela Comissão de Ética e Pesquisa da Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo.

6.4 Delineamento experimental e procedimentos

O experimento foi composto por duas fases experimentais: estabilização (controle ótimo) e adaptação (controle adaptativo). Na primeira fase, os regimes de CR foram manipulados; na segunda, a execução das tentativas não foi sucedida por fornecimento de CR.

Foi estabelecida *a priori* apenas a quantidade mínima (20) e máxima (100) de tentativas na fase de estabilização. No intervalo entre esses dois valores, o critério para mudança de fase, conforme resultado do pré-

experimento, foi a execução de duas tentativas dentro de uma faixa de tolerância de erro (uma unidade de força e distância, para mais ou para menos, de 20 a 59 tentativas e duas unidades de força e distância, para mais ou para menos, de 60 a 100 tentativas). Assumiu-se que quando um sujeito atingia o critério, o desempenho na tarefa estaria estabilizado do ponto de vista funcional. Na fase de adaptação, foi estabelecido um total de quinze tentativas, as quais foram executadas com a perturbação pela força de translação em sentido contrário ao movimento, com magnitude de aproximadamente 2 kgf.

Nas tentativas em que o indivíduo recebeu informação extrínseca do pesquisador, foi observado um intervalo mínimo de cinco segundos para que o CR fosse fornecido. Após o recebimento verbal do CR ou após a finalização do movimento (quando não houve CR), respeitou-se um intervalo aproximado de oito segundos com o objetivo de o sujeito se preparar para executar a tentativa subsequente.

A meta da tarefa em ambas as fases foi atingir um valor de preensão manual de 20% da força máxima e uma posição de 35 cm (valores definidos pelo pré-experimento).

As tentativas, durante todo o experimento, foram executadas com o membro superior não dominante e com oclusão visual. O CR foi fornecido verbalmente sobre o alcance da meta nos dois parâmetros, primeiro sobre a força e depois sobre a posição, e versou apenas sobre a tentativa recém finalizada. Nenhuma restrição foi imposta quanto à velocidade ou tempo de movimento.

A coleta de dados foi realizada no Laboratório de Comportamento Motor da Escola de Educação Física e Esporte (Lacom-EEFEUSP). Cada sujeito foi convidado a participar do experimento e, consoante sua disponibilidade, a coleta de dados era iniciada ou agendada. Ao chegar no ambiente de coleta de dados, o sujeito lia e assinava o termo de consentimento e, a seguir, o pesquisador explicava ao sujeito os procedimentos gerais da pesquisa (relevância e objetivo do estudo; posicionamento em relação ao equipamento; descrição e demonstração da tarefa motora; informação sobre as metas a serem atingidas e sobre o critério de troca de fase). O sujeito executava um movimento de aplicação de força máxima, cujo valor servia de referência para a demanda de força. Em seguida, era orientado para permanecer numa posição ortostática

frontal em relação ao aparelho, apreender o manípulo (na linha do esterno) e iniciar a seqüência de tentativas. Foi permitido deslocar-se lateralmente durante a execução da tarefa, desde que ele regressasse para a posição inicial para executar a tentativa subsequente. Quando atingisse o critério, o sujeito era informado e imediatamente a segunda fase era iniciada. Na quinta e décima tentativas da fase de adaptação, a quantidade restante de tentativas para o término do experimento era informada. Ao final da fase de adaptação, o experimentador agradeceu cada sujeito pela participação e respondeu eventuais dúvidas.

6.5 Organização e tratamento dos dados

As observações originais foram obtidas no ambiente do experimento, direto da leitura da régua graduada (distância) e do ponteiro do mostrador da caixa de controle (força). Para cada sujeito, as medidas absolutas da distância obtidas no deslocamento do manípulo e da força aplicada no dinamômetro foram digitadas em planilhas imediatamente após a finalização de cada tentativa.

Os dados foram inspecionados com o propósito de identificar e corrigir possíveis erros de digitação, alinhamento e observações excedentes. Nenhuma observação omissa (*missing value*) foi identificada.

Os valores obtidos foram convertidos em erros absolutos (EA), constantes (EC) e variáveis (EV), conforme as equações que a seguir se apresentam.

O EA, indicador da precisão do desempenho, corresponde, em módulo, à medida de desvio entre a meta da tarefa e o resultado obtido na tentativa. No presente estudo, as metas de força e de distância foram, respectivamente, 20 (valor relativo em kgf com relação à força máxima) e 35 (em cm). Portanto, o cálculo do EA foi efetuado com as seguintes equações para força (f) e distância (d), respectivamente:

$$EA_f = | x_i - 20 | \quad (1)$$

$$EA_d = | x_i - 35 |, \quad (2)$$

em que x_i é o resultado obtido em cada tentativa.

O EC é uma medida da quantidade e sentido do erro, ou seja, indica quão enviesada foi a resposta. Como pode ser observado nas equações abaixo, o cálculo do EC é semelhante ao do EA, porém com a consideração do valor real do desempenho, podendo, assim, assumir valores positivos ou negativos.

$$EC_f = (x_i - 20) \quad (3)$$

$$EC_d = (x_i - 35), \quad (4)$$

em que x_i é o resultado obtido em cada tentativa.

A medida da consistência da resposta é expressa pelo EV, que indica a maneira como o sujeito repete o resultado ao longo de uma seqüência de ensaios. O EV indica quanto o desempenho foi consistente ou variável num bloco de tentativas em relação à média na seqüência. No presente estudo, o EV foi calculado em ambas as fases com base no número total de tentativas, de acordo com as seguintes equações:

$$EV_f = | x_i - ME | \quad (5)$$

$$EV_d = | x_i - ME |, \quad (6)$$

em que x_i é o resultado obtido em cada tentativa e ME é o valor médio do total de tentativas.

Todas as hipóteses de estudo foram testadas com relação aos três erros. No entanto, para evitar uma apresentação extensa e redundante, apenas os resultados referentes ao EA serão mostrados neste item "resultados". A razão pela qual essa decisão foi tomada é a similaridade dos resultados, sobretudo quando comparados o EA e o EV. As principais diferenças concernentes ao EC serão relatadas em notas de rodapé ao longo do texto. Nos ANEXOS IV, V, VI e VII constam os principais resultados do EC e do EV.

A análise dos resultados foi efetuada para cada fase do experimento relativamente aos erros absolutos obtidos das observações originais. Os erros são definidos como variáveis quantitativas contínuas, medidos numa escala de razão. Via de regra, os dados de experimentos em Aprendizagem Motora são agrupados em blocos de ensaios. Se, por um lado, esse procedimento facilita a análise porque reduz a quantidade de medidas repetidas no tempo, por outro, provoca a perda de informação sobre a singularidade de cada observação e, conseqüentemente, limita a caracterização do processo. A opção escolhida neste trabalho é pela consideração de todas as observações, sem a composição de blocos de ensaios. Tal escolha oferece a vantagem de mapear com mais detalhes o processo de aprendizagem.

Antes de iniciar a apresentação e interpretação dos resultados, é importante justificar a dimensão amostral empregada no estudo. Os programas estatísticos de conhecimento do autor até o encerramento da redação deste trabalho oferecem apenas testes de previsão de dimensão amostral para delineamentos sem medidas repetidas, o que não é o caso dos registros do presente trabalho, os quais são de natureza repetida no tempo. Com a consciência dessa limitação e com o propósito de obter uma noção geral aproximada da dimensão amostral a ser utilizada, realizou-se um ensaio de previsão para comparação de seis grupos. Ressaltando que o ensaio não considera medidas repetidas no tempo, o resultado obtido para um poder de teste acima de 0,90 foi de 76 sujeitos. O total de sujeitos da amostra utilizada no presente estudo ($n=120$), portanto, excede o valor indicado pelo ensaio em 34 sujeitos. Espera-se que esse valor excedente no contingente de sujeitos

arregimentados possa assegurar tanto a qualidade das análises e dos cálculos, como o significado e generalização dos resultados².

Os principais resultados serão apresentados no item 7, enquanto os resultados secundários encontram-se na seção de Anexos. Além de informação numérica, gráficos e tabelas, serão apresentados comentários acerca dos resultados mais expressivos. Conforme a necessidade e pertinência, ora serão realizadas análises estatísticas descritivas, ora inferenciais.

Os resultados que se apresentam a partir do próximo item estão organizados hierarquicamente por fases, hipóteses e demandas da tarefa.

É importante enfatizar que o interesse nuclear do presente estudo é a fase de adaptação, cuja análise será apresentada com maior profundidade. Para aquém de uma inspeção pormenorizada, o foco da fase de estabilização é mais centrado na caracterização do panorama geral do processo em virtude do objetivo principal dessa fase ser o alcance da meta-critério (que é alcançado em momentos diferentes pelos sujeitos) e a considerar as peculiaridades dos regimes de CR fornecidos.

Todas as etapas de análise foram precedidas de análise exploratória dos dados com o propósito de conhecer o comportamento da distribuição das variáveis, ou seja, inspecionar a qualidade dos dados no sentido de garantir a não violação dos pressupostos dos ensaios de hipóteses dos testes utilizados. Recorreu-se ao diagrama de extremos e quartis como procedimento de eleição de observações discrepantes (*outliers*) que poderiam comprometer a distribuição normal dos dados. Em cada etapa, apenas as observações discrepantes severas (*outliers* extremos) foram suprimidas do conjunto de dados, uma vez que é conhecida a robustez do teste F a violações moderadas de normalidade (BERNSTEIN, 1988; STEVENS, 2002).

Utilizaram-se os *softwares* estatísticos *Statistical Package for Social Sciences* (SPSS 12.0), SYSTAT 10.0 e LDA (*Longitudinal Data Analysis - Tracking Program* 3.0), cujas partes gráficas e numéricas relevantes do *output* são apresentadas no texto.

² De fato, em todas as análises de variância realizadas no presente trabalho, o poder do teste esteve acima de 0,90.

Uma primeira corrente de análise será centrada nos valores médios. Além disso e com o propósito de salientar diferentes propostas de análise de profundidade diversa, serão exploradas também características da informação individual disponível.

Os dados obtidos são repetidos no tempo, portanto, de natureza estritamente longitudinal. Essa característica permite submetê-los à análise do padrão de estabilidade e/ou mudança e ainda, à possibilidade de previsão. Trata-se de estudar a dinâmica de resposta dos erros ao longo do tempo, inspecionando aspectos da mudança intraindividual e diferenças interindividuais.

O primeiro empreendimento possível nessa perspectiva é a modelação hierárquica ou multinível, estratégia altamente versátil para testar, para o mesmo conjunto de dados longitudinais, um corpo variado de hipóteses-modelos hierarquicamente embricados (*nested within*) de modo a identificar aquele que melhor se ajusta aos dados. A plausibilidade de cada modelo é testada em relação a expansão no que concerne ao número de parâmetros a estimar na equação de regressão.

A modelação hierárquica ou multinível aplicada à informação longitudinal considera que as múltiplas observações no tempo estão hierarquicamente dependentes de cada sujeito.

O fato dos dados possuírem estrutura hierárquica com dependência das observações repetidas no tempo (1º nível) e diferença entre sujeitos (2º nível) é normalmente representado por um sistema complexo de equações (para detalhes, ver RAUDENBUSH & BRYK, 2002). Desse sistema emergem duas partes informacionais: uma que representa o comportamento normativo do grupo, e outra que reflete diferenças interindividuais no *baseline* (início ou intercepto – primeira observação) e ao longo do tempo, bem como um componente residual que representa aspectos da variabilidade na mudança intraindividual.

O modelo de referência é o nulo ou de médias. A partir dele, outros modelos mais complexos, com mais parâmetros, vão sendo testados. O modelo mais verossímil aos dados é aquele que apresentar: a) valores de prova significativos para cada parâmetro incluído; b) menor valor de *Deviance*, estatística que determina a qualidade de ajustamento dos dados e é calculada

multiplicando -2 pela razão de verossimilhança (*log likelihood ratio*). A análise é encerrada quando não se consegue reduzir significativamente a *Deviance*.

Quando o modelo não considera preditores (variáveis que ajudam a interpretar a heterogeneidade dos sujeitos no ponto de partida e na velocidade de desempenho) é designado de não-condicionado. Caso contrário, a considerar preditores, o modelo é denominado de condicionado.

Primeiramente, testa-se um modelo mais simples (nulo) com três parâmetros: um nos efeitos fixos (grande média do intercepto) e dois nos efeitos aleatórios (variância residual e variância entre sujeitos). Com base nesse modelo de referência, outros modelos mais complexos vão sendo testados com o acréscimo de parâmetros (HOX, 2002; MAIA, LOPES, SILVA, SEABRA, FERREIRA & CARDOSO, 2003; RAUDENBUSH & BRYK, 2002).

A segunda avenida de análise envolve o conceito de *tracking*, o qual é um termo genérico que pretende descrever um padrão regular de mudança num conjunto de padrões que se alteram no tempo; a idéia genérica de seu conteúdo é a tendência de um indivíduo ou conjunto de indivíduos a permanecer num determinado curso ou canal de mudança, o que reflete estabilidade no seu padrão de mudança. O estudo do *tracking* é relevante na medida em que permite atribuir significado àquilo que é ou não estável nos indivíduos em função do tempo (no caso da Aprendizagem Motora, em função das repetições).

Vale ressaltar que estabilidade não significa ausência de mudança, salvo quando o valor das médias ou os valores de cada sujeito não se alteram significativamente no tempo; o conceito de estabilidade pode evidenciar características que a qualificam de paralela, estrita ou monotônica (MAIA, LEFEVRE, CLAESSENS, RENSON, VANREUSEL & BEUNEN, 2001). Em Aprendizagem Motora, o *tracking* pode ser utilizado para verificar a magnitude e o padrão de resposta de grupos de indivíduos submetidos a protocolos distintos de aprendizagem ou avaliar condições distintas de aprendizagem em testes de retenção e transferência.

A análise do *tracking*, no presente trabalho, será centrada na definição da posição relativa dos indivíduos, baseada no cálculo do K de Cohen (KOWALSKI & SCHNEIDERMAN, 1992), que leva em consideração medidas de posição. O principal conceito subjacente à análise que será realizada é o de

canalização, utilizado sobretudo no estudo do crescimento somático. Ocorre canalização quando as medidas repetidas no tempo de uma variável (por exemplo, o erro) de um dado indivíduo permanecem entre um par de percentis adjacentes (por exemplo, P1-P33; P33-P66; P66-P100), ou que não se desviam mais do que um determinado centil maior para o canal contíguo. A mudança de canal de desempenho acontece sempre que a alteração das medidas repetidas no tempo implique uma transição para canais não adjacentes - por exemplo, passar do canal P1-P33 para o canal P33-P66 (MAIA, SILVA, SEABRA & LOPES, 2002).

O K de Cohen estipula a presença de *tracking* se os indivíduos tenderem a permanecer no mesmo canal (*track*) da distribuição. O valor do K é diretamente proporcional ao número de vezes que o valor de desempenho permanece no canal. Como se trata de uma estatística não-paramétrica, não há qualquer exigência acerca da normalidade da distribuição. A interpretação dos valores de K, segundo LANDIS e KOCH (1977), são as seguintes: $K \geq 0,75$: excelente; $0,75 < K \leq 0,40$: de moderado a bom; $K < 0,40$: ruim.

A última análise alternativa refere-se ao uso de um procedimento estatístico para verificar o caráter não aleatório dos erros ao longo das tentativas. Isso pode refletir, por parte de cada sujeito, a utilização de alguma estratégia de desempenho.

A hipótese nula de aleatoriedade ao longo das observações é testada por meio do *One-Sample Runs Test of Randomness*. A considerar que esse teste não é indicado para estimar diferenças entre grupos (SIEGEL & CASTELLAN JUNIOR, 1988), a inspeção da tendência das observações será realizada em cada sujeito. Como se trata de um teste não paramétrico, não é necessária inspeção acerca da normalidade da distribuição.

Um *run* é definido como uma sucessão de símbolos idênticos que são precedidos e seguidos por símbolos diferentes ou nenhum símbolo. A hipótese nula de aleatoriedade é testada com base na estatística z (no presente estudo com base na mediana para definir os *runs*).

7 RESULTADOS

7.1 Fase de estabilização

Na fase de estabilização, houve manipulação da frequência e da precisão de CR com o propósito de levar os sujeitos à estabilização funcional, de modo a alcançarem a meta-critério de executar duas tentativas dentro da faixa de erro estabelecida.

Destarte, a análise dos dados nessa fase tem como objetivos:

- caracterizar o comportamento médio do desempenho e verificar a sua tendência em função do número de repetições (tempo);
- comparar, em termos médios, o desempenho dos diferentes grupos.

O quadro de hipóteses apresentado a seguir é derivado dos objetivos acima:

1. Não há diferença de médias de desempenho entre os seis grupos na primeira tentativa de prática.
2. Ao longo da prática, há um padrão no comportamento das curvas de desempenho.
3. Os grupos que recebem regimes de CR com maior frequência e precisão (G1, G2, G3 e G5) cometem, em média, menos erros que os grupos que recebem menor frequência e precisão de CR (G4 e G6).

7.1.1 Teste da primeira hipótese

7.1.1.1 Erro absoluto (força)

A análise exploratória dos dados indicou seis observações discrepantes ($z > |3,0|$). Uma observação foi suprimida de cada um dos quatro primeiros grupos e duas do G6. O G5 permaneceu com as observações dos 20 sujeitos.

Os diagramas de extremos e quartis de todas as observações válidas são apresentados na FIGURA 4 (amostra total e grupos).

A distribuição total dos registros é assimétrica à direita ($skewness=0,53$; erro-padrão= $0,22$), o que é de esperar diante da circunstância de ser a primeira tentativa (erros elevados).

O teste de Kolmogorov-Smirnov indicou ausência de normalidade [$K-S(116)=0,10$; $p<0,01$]. Contudo, não se vê qualquer vantagem em efetuar uma transformação logarítmica para normalizar a distribuição, uma vez que o teste F que será utilizado é robusto a violações de normalidade.

A distribuição dos valores de T1 mostra algumas discrepâncias na posição da mediana, bem como na amplitude inter-quartil. Também se verifica que no G2 e no G4 a distribuição é assimétrica à direita.

FIGURA 4 - Diagramas de extremos e quartis relativos às distribuições dos erros absolutos na demanda de força da amostra total e dos seis grupos na primeira tentativa de prática.

FIGURA 5 - Comportamento das médias (intervalo de confiança a 95%) dos valores de erro absoluto da demanda de força na primeira tentativa de prática nos seis grupos.

A FIGURA 5 contém a representação gráfica do comportamento das médias (e respectivos intervalos de confiança a 95%) dos seis grupos, na primeira tentativa. Apesar de haver variações nos valores, é importante referir que há uma forte intersecção dos intervalos, o que antecipa a ausência de diferenças significativas de desempenho médio entre grupos³.

7.1.1.2 Erro absoluto (distância)

Apenas uma observação discrepante ($z > |3,0|$), relativa ao G5, foi eliminada do conjunto de dados.

Na FIGURA 6, constam os diagramas de extremos e quartis de todas as observações válidas (amostra total e grupos).

A distribuição total dos registros apresenta assimetria à direita ($skewness=0,61$; erro-padrão=0,22), em razão do elevado número de erros associados ao início da prática.

³ O teste formal da Anova mostrou os seguintes resultados [$F(5,108)=0,16$; $p=0,98$]. Do mesmo modo, o seu homólogo não-paramétrico (Kruskal-Wallis) suportou os resultados obtidos [$\chi^2(5)=1,57$; $p=0,90$].

Embora o teste de Kolmogorov-Smirnov tenha indicado ausência de normalidade [K-S(119)=0,12; $p<0,01$], nenhuma transformação foi efetuada para normalizar a distribuição, em virtude da robustez do teste F a violações dessa natureza.

FIGURA 6 - Diagrama de extremos e quartis relativos às distribuições dos erros absolutos na demanda de distância da amostra total e dos seis grupos na primeira tentativa de prática.

FIGURA 7 - Comportamento das médias (intervalo de confiança a 95%) dos valores de erro absoluto da demanda de distância na primeira tentativa de prática nos seis grupos.

Na FIGURA 7, pode-se visualizar o comportamento das médias (e respectivos intervalos de confiança a 95%) dos seis grupos, na primeira tentativa. Embora haja variações nos valores, nota-se forte intersecção dos intervalos, fato que antecipa a ausência de diferenças significativas de desempenho médio entre grupos⁴.

7.1.2 Teste da segunda hipótese

Foi definido um corte de análise até a vigésima tentativa. Três razões fundamentam essa decisão:

- i. todos os sujeitos executaram pelo menos 20 tentativas; a partir desse ponto, se o sujeito atingisse a meta-critério, encerrava-se a fase de estabilização, isto é, em virtude da presença de variabilidade interindividual no número de tentativas para alcance do critério, o número de sujeitos em cada grupo ia diminuindo drasticamente;
- ii. para todos os erros e nas duas demandas da tarefa, os valores das médias e dos desvios-padrão não apresentaram alterações significativas a partir da vigésima tentativa;
- iii. a confecção de gráficos e análises no programa estatístico fica impossibilitada em consequência do elevado número de colunas (tentativas) e pela redução substancial do número de sujeitos (explicada no item i – por exemplo, a partir da 50ª tentativa, metade da amostra já havia alcançado o critério e apenas 10% da amostra havia ultrapassado 70 tentativas para passar para a segunda fase do estudo).

7.1.2.1 Erro absoluto (força)

As observações discrepantes ($z > |3,0|$) não atingiram 1% do total das observações, por isso foram suprimidas da análise.

O diagrama de extremos e quartis das observações válidas da amostra por tentativa é apresentado na FIGURA 8. Com essa representação

⁴ O teste formal da Anova mostrou os seguintes resultados [$F(5,113)=0,27$; $p=0,93$]. Do mesmo modo, o seu homólogo não-paramétrico (Kruskal-Wallis) suportou os resultados obtidos [$\chi^2(5)=1,05$; $p=0,96$].

gráfica, pretende-se mostrar a tendência dos resultados, a relativa estabilização do desempenho e a variabilidade interindividual ao longo das tentativas.

Pode-se observar um declive acentuado nas primeiras tentativas; logo após, o comportamento é caracterizado por um platô. Trata-se de um comportamento típico de curva de desempenho, evidenciando um declínio inicial acentuado com subsequente manutenção do nível dos erros. Vale ressaltar, ainda, a presença de forte heterogeneidade de desempenho dos sujeitos no início e leve queda em função do tempo⁵.

Os desempenhos de cada um dos grupos, ao longo das tentativas de prática, podem ser visualizados pelos comportamentos dos intervalos de confiança a 95% em relação à média, que se apresentam na FIGURA 9. Além de ilustrar, em termos médios, a “evolução” de cada grupo ao longo das tentativas, os gráficos mostram a amplitude de variação dos erros para a população representada pela amostra do estudo.

FIGURA 8 - Diagrama de extremos e quartis relativos às distribuições dos valores de erro absoluto na demanda de força da amostra total nas tentativas de prática.

⁵ Com relação ao erro constante, embora tenha sido detectada heterogeneidade de desempenho dos sujeitos no início e queda em função do tempo, observou-se uma tendência constante do desempenho ao longo das tentativas.

FIGURA 9 - Comportamento das médias (intervalo de confiança a 95%) dos valores de erro absoluto da demanda de força nas tentativas de cada grupo.

Observa-se que, em função do tempo e em todos os grupos, ocorre queda das médias dos erros. Isso indica ocorrência de aprendizagem, que se caracteriza como significativa quando não há intersecção entre intervalos (sobretudo das tentativas iniciais para as finais).

Além disso, a amplitude de variação dos erros mantém-se elevada ao longo das tentativas, sobretudo no G3, G5 e G6.

7.1.2.2 Erro absoluto (distância)

Os *outliers* severos ($z > |3,0|$) representaram menos de 1% do total das observações e foram desconsiderados da análise.

Com o intuito de ilustrar a tendência dos resultados, a estabilização relativa do desempenho e a variabilidade interindividual ao longo do tempo, na FIGURA 10 é apresentado o diagrama de extremos e quartis das observações válidas da amostra por tentativa.

Observa-se, como na demanda de força, um comportamento típico de curva de desempenho (declive e platô), o que evidencia um declínio inicial acentuado com subsequente manutenção do nível dos erros. Nota-se também a presença de forte heterogeneidade de desempenho dos sujeitos no início e leve queda em função do tempo. Todavia, tanto a magnitude dos erros como a heterogeneidade de desempenho dos sujeitos no início e no decorrer da prática é menor em relação à demanda de força⁶.

Os desempenhos de cada um dos grupos ao longo das tentativas podem ser visualizados pelos comportamentos dos intervalos de confiança a 95% em relação à média, que se apresentam na FIGURA 11. Por intermédio dessa representação gráfica, é possível visualizar, em termos médios, a “evolução” de cada grupo no decorrer das tentativas, assim como a amplitude de variação dos erros para a população representada pela amostra do estudo.

Em todos os grupos, ocorre queda das médias dos erros logo no início (ocorrência de aprendizagem). A partir da sétima tentativa, visualiza-se a manutenção da magnitude média dos erros, caracterizada pela intersecção entre intervalos. Além disso, a partir do mesmo momento, pode-se notar menor variação de amplitude dos intervalos.

Em comparação à demanda de força, o alcance da distância-critério, em termos de precisão, parece acontecer primeiro e, uma vez alcançado, apresenta menor variação.

⁶ No que concerne ao erro constante, a mesma tendência foi verificada, porém com acíve precedendo o platô, evidenciando um enviesamento inicial para valores negativos com subsequente manutenção do nível dos erros.

FIGURA 10 - Diagrama de extremos e quartis relativos às distribuições dos valores de erro absoluto na demanda de distância da amostra total nas tentativas de prática.

FIGURA 11 - Comportamento das médias (intervalo de confiança a 95%) dos valores de erro absoluto da demanda de distância nas 20 primeiras tentativas de cada grupo.

7.1.3 Teste da terceira hipótese

Com o propósito de verificar diferenças significativas entre os grupos em função do tempo, os dados foram analisados por meio de análises de variância mistas ou a dois fatores (*between-within*) com medidas repetidas no último fator (VINCENT, 1999). Três análises foram realizadas : 6 (grupos) x 20 (tentativa), 3 (frequência) x 20 (tentativa) e 2 (precisão) x 20 (tentativa). “Grupos”, “frequência” e “precisão” são os fatores *between* e “tentativa” é o fator *within* ou de medidas repetidas.

Em nenhuma das análises, o valor da prova do teste W de Mauchly ($p < 0,001$) permitiu aceitar a hipótese de esfericidade (simetria composta) dos dados. Quando esse pressuposto é violado, recorre-se à correção da estatística F pelo procedimento de Greenhouse-Geisser (STEVENS, 2002; XIMÉNEZ & MARTIN, 2000).

O teste *post-hoc* de Bonferroni foi utilizado para localizar as diferenças, uma vez que é o mais indicado em caso de violação do pressuposto da esfericidade (MAXWELL & DELANEY, 2000; STEVENS, 2002).

7.1.3.1 Erro absoluto (força)

De acordo com as estatísticas do fator principal “precisão” e das interações “grupos x tentativa”, “frequência x tentativa” e “precisão x tentativa”, não se rejeitou a hipótese nula de diferença entre médias ($p > 0,05$).

O fator “tentativa” [$F(11,75)=17,34$; $p < 0,001$; $\eta^2=0,16$] apresentou evidência para rejeitar a hipótese nula. Isso significa ocorrência de melhora de desempenho no decorrer da prática (aprendizagem). As diferenças podem ser visualizadas no diagrama de extremos e quartis no item 7.4.2.1 (FIGURA 8), uma vez que essa análise não considera os sujeitos divididos por grupos, mas todos os sujeitos (amostra total) em cada uma das tentativas.

No fator “grupo” também foi detectada diferença significativa [$F(5,114)=3,17$; $p < 0,02$; $\eta^2=0,13$]. O G6 obteve pior desempenho que o G1 ($p < 0,001$), o G2 ($p < 0,009$) e o G4 ($p < 0,003$).

A diferença detectada no fator “frequência” [$F(2,92)=3,40$; $p<0,03$; $\eta^2=0,08$] indicou que o regime de 100% de CR proporcionou melhor desempenho que o de 33% ($p<0,02$).

Vale ressaltar que as diferenças detectadas nos dois últimos fatores principais supracitados desconsideram as mudanças ocorridas no tempo. A própria análise estatística para esse fator é uma análise de variância simples para amostras independentes (SCHUTZ & GESSAROLI, 1987; VINCENT, 1999). Portanto, os resultados são relativos ao desempenho médio dos grupos em um único ponto no tempo (no caso, as 20 tentativas são condensadas em termos médios e consideradas como apenas uma tentativa).

As representações gráficas das médias de erro absoluto da demanda de força, organizadas por grupo, frequência e precisão apresentam-se nas FIGURAS 12, 13 e 14.

FIGURA 12 - Comportamento das médias dos erros absolutos da demanda de força nas tentativas de cada grupo.

FIGURA 13 - Comportamento das médias dos erros absolutos da demanda de força nas tentativas (frequência).

FIGURA 14 - Comportamento das médias dos erros absolutos da demanda de força nas tentativas (precisão).

7.1.3.2 Erro absoluto (distância)

Nenhuma estatística relativa à interação permitiu rejeitar a hipótese nula de diferença entre médias ($p > 0,05$). Contudo, em todos os fatores principais foram detectadas diferenças significativas.

As diferenças verificadas no fator “tentativa” [$F(5,80)=52,84$; $p < 0,001$; $\eta^2=0,35$] indicaram melhora de desempenho ao longo das tentativas, isto é, ocorrência de aprendizagem. Levando em conta que essa análise considera todos os sujeitos em cada uma das tentativas, a FIGURA 10 (item 7.4.2.2) ilustra as diferenças no decorrer das tentativas.

A estatística do fator “grupo” permitiu rejeitar a hipótese nula [$F(5,98)=3,30$; $p < 0,01$; $\eta^2=0,15$]. O G6 obteve pior desempenho que o G4 ($p < 0,01$), o G3 ($p < 0,02$), o G2 ($p < 0,02$) e o G1 ($p < 0,001$). Ainda, o G1 obteve melhor desempenho que o G5 ($p < 0,03$).

FIGURA 15 - Comportamento das médias dos erros absolutos da demanda de distância nas tentativas de cada grupo.

O fator “frequência” também indicou presença de diferenças significativas [$F(2,101)=6,39$; $p<0,01$; $\eta^2=0,11$]. As frequências de CR de 100% ($p<0,001$) e 66% ($p<0,01$) proporcionaram melhores desempenhos que a frequência de 33%.

Por fim, as diferenças detectadas no fator “precisão” [$F(1,102)=7,19$; $p<0,01$; $\eta^2=0,07$] mostraram que CR parcial (apenas acerca da direção do erro) proporcionou pior desempenho que CR total, sobre magnitude e direção do erro ($p<0,01$).

As diferenças nos fatores principais citados acima, com exceção do fator “tentativa”, desconsideram as mudanças ocorridas no tempo. Logo, os resultados são relativos ao desempenho médio dos grupos em um único ponto no tempo (no caso, as 20 tentativas são condensadas em termos médios e consideradas como apenas uma tentativa).

Os gráficos referentes às médias de erro absoluto da demanda de distância, organizados por grupo, frequência e precisão apresentam-se nas FIGURAS 15, 16 e 17.

FIGURA 16 - Comportamento das médias dos erros absolutos da demanda de distância nas tentativas (frequência).

FIGURA 17 - Comportamento das médias dos erros absolutos da demanda de distância nas tentativas (precisão).

7.2 Fase de adaptação

O propósito desta fase do estudo foi testar a heterogeneidade dos grupos e o comportamento individual na capacidade de adaptação a uma situação nova de instabilidade (perturbação). A tarefa motora foi a mesma da fase anterior (posicionamento do manípulo a 35 cm, simultaneamente à aplicação de 20% da força máxima no dinamômetro), porém com uma força de translação de aproximadamente 2 kgf oposta ao sentido do movimento. O controle adaptativo está associado ao modo de alcance da padronização funcional da tarefa na fase de estabilização, portanto, ao regime de CR recebido na fase anterior.

Os objetivos dessa parte nuclear da pesquisa são os seguintes:

- descrever, em termos médios, o desempenho de toda a amostra;
- comparar, em termos médios, o desempenho dos diferentes grupos;

- caracterizar as trajetórias do desempenho de todos os sujeitos, bem como a heterogeneidade deles, isto é, a mudança intraindividual e as diferenças interindividuais.

Os primeiros dois objetivos situam-se num plano tradicional de análise, baseado na inspeção do desempenho médio. Por sua vez, o terceiro objetivo foi estabelecido tendo em mente uma abordagem alternativa, cujas potencialidades para interpretar informação longitudinal são extremamente promissoras para melhor esclarecer aspectos contidos nos dados, quais sejam, a estabilidade ou instabilidade das mudanças intra e interindividuais, a eventualidade de estar diante de canais diversos de desempenho que caracterizam as trajetórias dos diversos sujeitos, e ainda, a possibilidade de testar diferentes modelos de ajustamento à complexidade informacional das medidas repetidas no tempo de todos os sujeitos.

Decorrentes dos objetivos explicitados acima, a primeira hipótese corresponde ao plano tradicional de análise, enquanto as demais representam aspectos de uma visão alternativa. São elas:

1. Os grupos que receberam, na fase de estabilização, regimes de CR com maior frequência e precisão (G1, G2, G3 e G5) cometem, em média, mais erros que os grupos que receberam menor frequência e precisão de CR (G4 e G6).
2. Os dados se ajustam a um modelo caracterizado pela presença de variância substancial no momento inicial e heterogeneidade de resposta ao longo das tentativas, com o desempenho sendo predito pelo regime de CR recebido na fase de estabilização.
3. Ocorre manutenção da posição relativa dos desempenhos dos sujeitos dos diferentes grupos ao longo das tentativas (*tracking*) (isto é, os grupos tendem a permanecer no mesmo canal de desempenho em função do tempo) com G4 e G6 apresentando desempenhos mais estáveis em relação aos demais grupos.
4. Os sujeitos utilizam estratégias distintas de desempenho que se encontram refletidas no caráter não aleatório dos seus erros ao longo das tentativas.

7.2.1 Teste da primeira hipótese

7.2.1.1 Erro absoluto (força)

A análise exploratória permitiu identificar *outliers* severos ($z > |3,0|$). Tais observações foram removidas porque representaram menos de 0,6 % do total das observações, isto é, um valor extremamente reduzido⁷.

Na FIGURA 18, é apresentado o diagrama de extremos e quartis das observações válidas da amostra total por tentativa. O gráfico objetiva ilustrar, em função do tempo, a tendência dos resultados e a relativa estabilização do desempenho, considerando a localização da mediana. Salienta-se também a variabilidade interindividual em cada tentativa.

Considerando que mais à frente, neste trabalho, será formalmente testada a tendência do desempenho com recurso a modelos hierárquicos ou multiníveis (item 7.5.2), nota-se que as distribuições são assimétricas à direita, com pequenas variações dos valores da mediana no decorrer das tentativas. Ademais, a heterogeneidade de desempenho dos sujeitos é constante ao longo das tentativas.

Os desempenhos de cada um dos grupos ao longo das tentativas de prática podem ser visualizados pelos comportamentos dos intervalos de confiança a 95% em relação à média, que se apresentam na FIGURA 19. Além de ilustrar, em termos médios, o desempenho de cada grupo ao longo das tentativas, os gráficos realçam a amplitude de estimativa da média dos erros na população representada pela amostra do estudo.

Observa-se que, em função do tempo e em todos os grupos, ocorre manutenção das médias dos erros (por volta dos 6 kgf). Além disso, a amplitude do intervalo da média dos erros mantém-se elevada (entre 1 e 12 kgf).

As intersecções entre intervalos também são notáveis, o que antecipa a ausência de diferenças significativas de desempenho médio entre as tentativas de cada grupo.

⁷ Tal como referido anteriormente, não se efetuou qualquer transformação logarítmica das distribuições para as normalizar. Esta opção decorreu da circunstância do teste F ser robusto a pequenas violações de normalidade (BERNSTEIN, 1988; STEVENS, 2000), bem como do teste não paramétrico alternativo confirmar os resultados dos testes formais de hipóteses.

FIGURA 18 - Diagrama de extremos e quartis relativos às distribuições dos valores de erro absoluto na demanda de força da amostra total nas tentativas de prática.

FIGURA 19 - Comportamento das médias (intervalo de confiança a 95%) dos valores de erro absoluto da demanda de força nas tentativas de cada grupo.

Os menores valores de erro e menor amplitude do intervalo da média dos erros na primeira tentativa, apresentados pelo G6, podem ser indicativos de melhor adaptabilidade imediata em relação aos demais grupos.

Também é notória a queda de desempenho na segunda tentativa do G2, do G3 e do G6. Apesar do desempenho desses grupos melhorar na terceira tentativa, esse dado reflete um eventual “sobressalto” causado pela primeira tentativa, momento em que a perturbação foi introduzida.

Com o propósito de testar formalmente o comportamento das médias entre os grupos em função do tempo, foram realizadas três análises de variância a dois fatores (*between-within*), com medidas repetidas no último fator: 6 (grupos) x 15 (tentativa), 3 (frequência) x 15 (tentativa) e 2 (precisão) x 15 (tentativa).

Uma vez que o valor da prova do teste W de Mauchly ($p < 0,001$) não indicou esfericidade (simetria composta) dos dados, foram considerados os valores de F corrigidos pelo procedimento de Greenhouse-Geisser.

Não foram detectadas diferenças significativas nas Anovas:

- por grupos [fator grupo: $F(5,114)=0,59$; $p=0,71$; fator tentativa: $F(14,101)=1,70$; $p=0,09$; e interação: $F(41, 489)=0,89$, $p=0,67$];
- por frequência [fator frequência: $F(2,117)=0,43$; $p=0,65$; fator tentativa: $F(8,104)=1,70$; $p=0,09$; e interação $F(16, 208)=0,57$; $p=0,91$];
- por precisão [fator precisão: $F(1,118)=0,14$; $p=0,71$; fator tentativa $F(8,105)=1,70$; $p=0,09$; e interação: $F(8,105)=0,54$; $p=0,83$].

O comportamento das médias de erro absoluto da demanda de força, organizadas por grupo, frequência e precisão, apresenta-se nas FIGURAS 20, 21 e 22.

FIGURA 20 - Comportamento das médias dos erros absolutos da demanda de força nas tentativas de cada grupo.

FIGURA 21 - Comportamento das médias dos erros absolutos da demanda de força nas tentativas (frequência).

FIGURA 22 - Comportamento das médias dos erros absolutos da demanda de força nas tentativas (precisão).

7.2.1.2 Erro absoluto (distância)

Tal como anteriormente, foi efetuada uma análise exploratória dos dados com o objetivo de identificar *outliers* e a forma da distribuição em cada ponto do tempo. Foram registradas cerca de 0,8% de observações discrepantes ($z > |3,0|$), as quais foram removidas, assim como no tópico anterior.

O diagrama de extremos e quartis das observações válidas da amostra por tentativa é apresentado na FIGURA 23. Essa representação pretende caracterizar a tendência dos resultados, a relativa estabilização do desempenho e a variabilidade interindividual no decorrer das tentativas.

É marcante, ao longo das tentativas, a pequena quantidade de oscilação dos valores da mediana e a constante heterogeneidade de desempenho dos sujeitos. Ressalta-se que tanto os valores da mediana como os valores adjacentes superiores e inferiores são menores quando comparados aos valores da demanda de força (ver FIGURA 18).

A FIGURA 24 ilustra os desempenhos médios (intervalos de confiança a 95%) de cada grupo ao longo das tentativas de prática.

Visualmente, ao longo das tentativas e em todos os grupos, as médias dos erros mantêm-se em torno dos 3 cm com variação entre 0,5 e 5 cm.

Pode-se antecipar a ausência de diferenças significativas de desempenho médio entre as tentativas de cada grupo, uma vez que se verificam intersecções entre intervalos.

Com exceção dos grupos G2 e G6, ocorre queda de desempenho na sexta tentativa. Poder-se-ia conjecturar que esse fato se devesse a fadiga, porém, na sétima tentativa, as médias de erro voltam a um patamar similar ao das médias na quinta tentativa.

Em comparação à demanda de força (FIGURA 19), na demanda de distância (FIGURA 24) nota-se menor magnitude e menor variação de erro.

A eventual existência de diferenças significativas entre as médias dos grupos em função do tempo foi testada com base em três análises de variância a dois fatores, com medidas repetidas no último fator: 6 (grupos) x 15 (tentativa), 3 (frequência) x 15 (tentativa) e 2 (precisão) x 15 (tentativa).

FIGURA 23 - Diagrama de extremos e quartis relativos às distribuições dos valores de erro absoluto na demanda de distância da amostra total nas tentativas de prática.

FIGURA 24 - Comportamento das médias (intervalo de confiança a 95%) dos valores de erro absoluto da demanda de distância nas tentativas de cada grupo.

A estatística F foi corrigida pelo procedimento de Greenhouse-Geisser, em virtude do valor da prova do teste W de Mauchly ($p < 0,001$) ter indicado ausência de esfericidade (simetria composta) dos dados.

Não foram detectadas quaisquer diferenças significativas, tanto relativas a efeitos principais quanto a interações nas análises:

- por grupos [fator grupo: $F(5,97)=0,69$; $p=0,63$; tempo $F(10,84)=1,26$; $p=0,25$; interação $F(49,404)=1,08$; $p=0,34$];
- por frequência [fator frequência $F(2,100)=0,04$; $p=0,96$; fator tempo $F(10,87)=1,26$; $p=0,25$; e interação $F(20,174)=1,28$; $p=0,19$];

- por precisão [fator precisão: $F(1,101)=0,03$; $p=0,87$; fator tempo $F(10,88)=1,30$; $p=0,23$; e interação $F(10,88)=0,88$; $p=0,55$]⁸.

Os gráficos referentes às médias dos erros absolutos da demanda de distância, organizados por grupo, frequência e precisão, apresentam-se nas FIGURAS 25, 26 e 27.

FIGURA 25 - Comportamento das médias dos erros absolutos da demanda de distância nas tentativas de cada grupo.

⁸ Na análise do erro constante foi detectada diferença significativa na interação tentativa x precisão [$F(8,92)=2,06$; $p<0,04$; $\eta^2=0,02$]: da segunda à sétima tentativa, os sujeitos que receberam CR menos preciso obtiveram valores de erro mais próximos da meta em relação aos sujeitos que receberam CR mais preciso.

FIGURA 26 - Comportamento das médias dos erros absolutos da demanda de distância nas tentativas (frequência).

FIGURA 27 - Comportamento das médias dos erros absolutos da demanda de distância nas tentativas (precisão).

7.2.2 Teste da segunda hipótese

7.2.2.1. Erro absoluto (força)

A FIGURA 28 mostra forte heterogeneidade individual nos valores de partida, bem como diversidade nas trajetórias individuais no decorrer das tentativas. Isso exige que se “olhe” para esses dados de um modo diverso do habitual.

O ponto de partida médio e a trajetória média do grupo são representados na FIGURA 29. Nota-se um padrão algo linear, com flutuações na forma de “picos e vales”. A modelação hierárquica (*repeated observations nested within subjects*) da informação irá indicar se o comportamento dos dados é efetivamente linear ou, de outro modo, refere-se a uma polinomial de grau crescente de complexidade.

FIGURA 28 – Trajetorias individuais na demanda de fora.

FIGURA 29 - Curva das trajetórias individuais na demanda de força.

A FIGURA 30 ilustra o padrão de desempenho de cada grupo experimental. Observa-se, tal qual na amostra total, que todos os grupos apresentam forte heterogeneidade individual nos valores de partida e comportamento distinto ao longo do tempo.

FIGURA 30 - Trajetorias intraindividuais dos elementos de cada grupo na demanda de fora.

O estabelecimento de um modelo designado de nulo (ou *baseline*) a primeira etapa da anlise. A importncia dele reside na estimaco da varincia entre as mdias dos erros de cada sujeito e a grande mdia, bem como na varincia associada ao comportamento intraindividual do erro. Como pode ser observado na TABELA 1, a razo entre a varincia entre sujeitos e a varincia total (correlaco *intracluster*) de 0,22, o que indica que cerca de 1/5 da varincia total atribuda circunstncia de haver heterogeneidade interindividual no desempenho. A varincia restante (aproximadamente 4/5) deve-se variabilidade na mudana intraindividual (trajetorias de cada sujeito).

O prximo passo testar a hiptese de as trajetorias de desempenho serem representadas por uma funo linear, salientando a forte heterogeneidade dos sujeitos no *baseline* e a ausncia de heterogeneidade nas velocidades com que se reduzem ou aumentam os erros no tempo (representao grfica

esquematizada na FIGURA 31). Essa hipótese foi testada por meio do modelo linear sem variância na velocidade (M1 na Tabela 1).

Um outro modelo testado foi o que considerou a possibilidade de haver diversidade substancial de desempenho dos sujeitos em função do tempo (ver esquema na FIGURA 32). Esse segundo modelo (M2) é o mais adequado para representar o comportamento dos dados, embora tenha maior número de parâmetros.

A convergência do algoritmo não necessitou mais do que 13 iterações para obter uma solução satisfatória e interpretável do ponto de vista estatístico e substantivo. Esse modelo possui a menor *Deviance* em relação aos outros dois modelos: a *Deviance* M2 – *Deviance* M1 = 99,6, que com um único grau de liberdade (número de parâmetros M2 – número de parâmetros M1) é altamente significativa.

Os parâmetros que descrevem o comportamento normativo do grupo são: a) média no baseline (β_{00}) = $5,82 \pm 0,30$ (kgf), $p < 0,05$, sendo esse valor significativamente diferente de zero, e b) velocidade média do desempenho, que expressaria o comportamento dos erros ao longo das 15 tentativas e não é significativamente diferente de zero (β_{10}) = $0,01 \pm 0,04$; $p > 0,05$, o que significa que a reta normativa é paralela ao eixo do tempo, indicando claramente a ausência de melhoria ou piora do desempenho, ou seja, o grupo não evidenciou qualquer declínio ou aumento substancial dos erros na demanda de força.

Verifica-se uma forte heterogeneidade dos elementos da amostra no início da fase de adaptação, dada a presença de variância significativa [$(\tau_{00}) = 7,22 \pm 1,39$; $p < 0,05$], conforme é evidenciado no histograma da FIGURA 33.

Apesar do valor de β_{10} (declive da reta do desempenho normativo) não ser significativamente diferente de zero, é clara a presença de diversidade de trajetórias interindividuais no desempenho em função do tempo [$(\tau_{11}) = 0,10 \pm 0,02$; $p < 0,05$]. A FIGURA 34 ilustra esse aspecto do desempenho.

É notória uma correlação moderada significativa entre valores iniciais e desempenho temporal ($r = -0,62$, $p < 0,05$). Isso significa que quanto maior a magnitude do erro no início (*baseline*), maior o valor do declínio dos erros e mais elevado o desempenho de cada sujeito e vice-versa.

Salienta-se ainda que a variância residual é igual a $14,27 \pm 0,51$ e é altamente significativa, o que iria sugerir algum esforço suplementar se houvesse mais informação sobre os sujeitos, o que não é o caso.

TABELA 1 – Parâmetros dos modelos descritivos do desempenho na demanda de força.

ERRO ABSOLUTO (FORÇA)	M0 (NULO)	M1 (LINEAR)	M2 (LINEAR)
EFEITOS FIXOS			
Intercepto	$5,86 \pm 0,22$	$5,80 \pm 0,27$	$5,82 \pm 0,30$
Velocidade (F. Linear)	-	$0,007 \pm 0,022$	$0,01 \pm 0,04$
EFEITOS ALEATÓRIOS			
Variância Residual	$16,36 \pm 0,57$	$16,36 \pm 0,57$	$14,27 \pm 0,51$
Variância Intercepto	$4,69 \pm 0,75$	$4,67 \pm 0,75$	$7,22 \pm 1,39$
Variância Velocidade	-	-	$0,10 \pm 0,02$
Correlação Intracluster	0,22	-	-
Correlação Int./Vel.	-	-0,58	-0,62
<i>Log Likelihood Ratio</i>	-5129,41	-5129,35	-5079,55
<i>Deviance</i>	10258,82	10258,70	10159,10
Número de Iterações	12	13	13
Número de Parâmetros	3	4	5

FIGURA 31 - Estabilidade estrita do comportamento interindividual na demanda de força.

FIGURA 32 - Ausência de estabilidade interindividual no comportamento da demanda de força.

FIGURA 33 - Histograma dos valores verdadeiros do desempenho de força no início (π_{0i}) da fase de adaptação.

FIGURA 34 - Histograma dos valores verdadeiros das trajetórias de desempenho de força (π_{1i}) da fase de adaptação.

7.2.2.2. Erro absoluto (distância)

Tanto a forte heterogeneidade individual nos valores de partida, como a diversidade nas trajetórias individuais no decorrer das tentativas podem ser visualizadas na FIGURA 35.

Na FIGURA 36 são representados o ponto de partida médio e a trajetória média do grupo. Observa-se um padrão algo linear com flutuações na forma de “picos e vales”. A modelação hierárquica da informação irá indicar se o comportamento dos dados é efetivamente linear ou, de outro modo, refere-se a uma polinomial de grau crescente de complexidade.

A FIGURA 37 ilustra o padrão de desempenho de cada grupo experimental. Semelhantemente à amostra total, pode-se notar que todos os grupos apresentam forte heterogeneidade individual nos valores de partida e comportamento distinto ao longo do tempo.

FIGURA 35 - Trajetorias individuais na demanda de distncia.

FIGURA 36 - Curva ajustada das trajetórias individuais na demanda de distância.

Na primeira etapa da análise, isto é, no estabelecimento do modelo nulo, estima-se a variância entre as médias dos erros de cada sujeito e a grande média, bem como a variância associada ao comportamento intraindividual do erro. Como pode ser observado na TABELA 2, a razão entre a variância entre sujeitos e a variância total (correlação *intracluster*) é de 0,29. Isso significa que aproximadamente 1/3 da variância total é atribuída à circunstância de haver heterogeneidade interindividual no desempenho. Atribui-se a variância restante (cerca de 2/3) à variabilidade na mudança intraindividual (trajetórias de cada sujeito).

O próximo passo é testar a hipótese de as trajetórias de desempenho serem representadas por uma função linear, salientando a forte heterogeneidade dos sujeitos no *baseline* e a ausência de heterogeneidade nas velocidades com que reduzem ou aumentam os erros no tempo (representação gráfica esquematizada na FIGURA 31). Essa hipótese foi testada por meio do modelo linear sem variância na velocidade (M1 na Tabela 2).

FIGURA 37 - Trajетórias individuais de cada grupo na demanda de distância.

Outro modelo testado foi o que considerou a possibilidade de haver diversidade substancial de desempenho em função do tempo (ver esquema na FIGURA 32). Esse segundo modelo (M2) é o mais adequado para representar o comportamento dos dados, embora tenha maior número de parâmetros.

A convergência do algoritmo não necessitou mais do que 13 iterações para obter uma solução satisfatória e interpretável do ponto de vista estatístico e substantivo. Esse modelo possui menor *Deviance* em relação aos outros dois: a $Deviance\ M2 - Deviance\ M1 = 121,44$, que com um grau de liberdade (número de parâmetros M2 – número de parâmetros M1) é altamente significativa.

Os parâmetros que descrevem o comportamento normativo do grupo são: a) média no baseline (β_{00}) = $2,69 \pm 0,13$ (kgf), $p < 0,05$, sendo esse valor significativamente diferente de zero; b) velocidade média do desempenho, que expressaria o comportamento dos erros ao longo das 15 tentativas e também é significativamente diferente de zero (β_{10}) = $0,04 \pm 0,02$; $p < 0,05$, o que indica que a reta normativa é crescente em relação ao eixo do tempo, denotando piora do

desempenho, isto é, o grupo evidenciou aumento substancial dos erros na demanda de distância.

Verifica-se uma forte heterogeneidade dos elementos da amostra no início da fase de adaptação, dada a presença de variância significativa [$(\tau_{00}) = 1,36 \pm 0,02$; $p < 0,05$], conforme fica evidente no histograma da FIGURA 38. É clara a presença de diversidade de trajetórias interindividuais no desempenho em função do tempo [$(\tau_{11}) = 0,03 \pm 0,01$; $p < 0,05$]. A FIGURA 39 ilustra esse aspecto do desempenho. Embora fraca, evidenciou-se também correlação significativa entre valores iniciais e desempenho temporal ($r = -0,42$, $p < 0,05$). Isso significa que quanto maior a magnitude do erro no início, maior o valor do declínio dos erros e mais elevado o desempenho de cada sujeito e vice-versa.

Destaca-se ainda que há variância residual significativa ($2,71 \pm 0,10$), o que sugere algum esforço suplementar. Entretanto, não há informação disponível sobre os sujeitos que permita avançar nesse sentido.

TABELA 2 – Parâmetros dos modelos descritivos do desempenho na demanda de distância.

ERRO ABSOLUTO (DISTÂNCIA)	M0 (NULO)	M1 (LINEAR)	M2 (LINEAR)
EFEITOS FIXOS			
Intercepto	$2,93 \pm 0,11$	$2,70 \pm 0,13$	$2,69 \pm 0,13$
Velocidade (F. Linear)	-	$0,03 \pm 0,01$	$0,04 \pm 0,02$
EFEITOS ALEATÓRIOS			
Variância Residual	$3,19 \pm 0,11$	$3,16 \pm 0,11$	$2,71 \pm 0,10$
Variância Intercepto	$1,30 \pm 0,20$	$1,31 \pm 0,20$	$1,36 \pm 0,26$
Variância Velocidade	-	-	$0,03 \pm 0,01$
Correlação <i>Intracluster</i>	0,29	-	-
Correlação Int./Vel.	-	-0,52	-0,42
<i>Log Likelihood Ratio</i>	-3637,37	-3631,86	3571,14
<i>Deviance</i>	7274,74	7263,72	7142,28
Número de Iterações	12	13	13
Número de Parâmetros	3	4	5

FIGURA 38 - Histograma dos valores verdadeiros do desempenho de distância no início (π_{0i}) da fase de adaptação.

FIGURA 39 - Histograma dos valores verdadeiros das trajetórias de desempenho de distância (π_{1i}) da fase de adaptação.

7.2.3. Teste da terceira hipótese

Para a distribuição dos dados, foram definidos arbitrariamente três canais para descrever as mudanças de desempenho no tempo: o de melhor desempenho (canal 1, P1-P33), o de desempenho intermediário (canal 2, P33-P66) e o de pior desempenho (canal 3, P66-P100). Cada grupo foi analisado separadamente e depois os grupos foram comparados, par a par.

7.2.3.1. Erro absoluto (força)

Com relação ao G1, os valores da estatística K de cada sujeito evidenciam *tracking* de baixo a moderado. Alguns sujeitos (5, 9, 12, 16 e 20) apresentam valores de K mais altos, acima de 0,55, evidenciando bom grau de estabilidade. Salientam-se os sujeitos 5, 9 e 20, os quais encontram-se mais de dez vezes no canal 1, de melhor desempenho. Os sujeitos 12 e 16, embora apresentem valores de evidência de *tracking*, situam-se com mais frequência nos canais 2 (sujeito 12) e 3 (sujeito 16). O valor do K para a totalidade dos sujeitos é de $0,15 \pm 0,02$, e os respectivos limites de confiança para 95% são 0,12 e 0,18. Tais resultados sugerem a ausência de estabilidade no desempenho dos sujeitos. Assim, o comportamento dos erros é inconsistente, permitindo pouca margem de previsão do desempenho individual e do grupo.

Os valores da estatística K de cada sujeito do G2 evidenciam *tracking* de baixo a moderado. Os sujeitos 27, 31 e 36 apresentam valores de K que evidenciam *tracking* de nível bom no canal 1, de melhor desempenho. Já os sujeitos 38 e 39 obtiveram desempenhos estáveis no canal 3, de pior desempenho. O valor do K para a totalidade dos sujeitos é de $0,14 \pm 0,02$, e os respectivos limites de confiança para 95% são 0,11 e 0,18. Isso indica ausência de estabilidade no desempenho dos sujeitos.

Os resultados da estabilidade de desempenho dos sujeitos do G3, representados pelos valores da estatística K de cada sujeito, evidenciam *tracking* baixo, exceto o sujeito 42, que se situou mais de dez vezes no melhor canal de desempenho. O valor do K para a totalidade dos sujeitos é de $0,04 \pm 0,02$ e os

respectivos limites de confiança para 95% são 0,01 e 0,08. Esses resultados indicam ausência de estabilidade no desempenho dos sujeitos.

Os valores da estatística K de cada sujeito do G4 evidenciam *tracking* de baixo a moderado. Os sujeitos 63, 77 e 80 destacam-se pela estabilidade no melhor canal de desempenho, enquanto o sujeito 69 destaca-se pela estabilidade no pior canal. O valor do K para a totalidade dos sujeitos é de $0,12 \pm 0,02$ e os respectivos limites de confiança para 95% são 0,09 e 0,15. Tais valores sugerem ausência de estabilidade no desempenho dos sujeitos.

Quanto ao G5, os valores da estatística K de cada sujeito evidenciam baixa estabilidade. O sujeito 96 é o único que apresenta estabilidade moderada no melhor canal de desempenho. O valor do K para a totalidade dos sujeitos é de $0,09 \pm 0,02$ e os respectivos limites de confiança para 95% são 0,06 e 0,12. Isso significa ausência de estabilidade no comportamento dos erros dos sujeitos.

Os valores da estatística K de cada sujeito do G6 evidenciam *tracking* de baixo a moderado. Os sujeitos 102, 107 e 108 foram mais estáveis no melhor canal de desempenho. O valor do K para a totalidade dos sujeitos é de $0,13 \pm 0,02$ e os respectivos limites de confiança para 95% são 0,01 e 0,17. Tais resultados sugerem a ausência de estabilidade no desempenho dos sujeitos.

Os valores de K totais de todos os grupos sugerem a ausência de estabilidade no desempenho dos sujeitos. Portanto, houve inconsistência de comportamento dos erros, ou seja, possibilidade muito reduzida para prever o desempenho de cada grupo e para cada sujeito em particular.

A comparação entre os valores de K dos seis grupos indicou diferenças significativas na estabilidade dos grupos ($\chi^2=33,20$; $p<0,05$). O programa estatístico utilizado (LDA) não proporciona uma análise *post-hoc* para localizar as diferenças. Por esse motivo, as comparações foram realizadas em pares de grupos. Na TABELA 3 encontram-se os valores referentes às comparações entre grupos pareadas, considerando os Ks de Cohen totais⁹.

Relativamente à demanda de força, o G3 apresentou desempenho mais instável em relação aos demais grupos e o G5 mostrou-se mais instável em relação ao G1 e ao G2.

⁹ Os valores relativos ao erro constante encontram-se no ANEXO V. Nas comparações do erro variável, não foram identificadas diferenças entre os grupos.

TABELA 3 - Comparações pareadas entre grupos na demanda de força, considerando os valores de K totais.

Par de grupos	Ks	χ^2	p
G1/G2	0,15; 0,14	0,02	0,878
G1/G3*	0,15; 0,04	22,41	0,0001
G1/G4	0,15; 0,12	1,49	0,222
G1/G5*	0,15; 0,09	6,63	0,010
G1/G6	0,15; 0,13	0,42	0,518
G2/G3*	0,14; 0,04	21,08	0,0001
G2/G4	0,14; 0,12	1,14	0,285
G2/G5*	0,14; 0,09	5,89	0,015
G2/G6	0,14; 0,13	0,24	0,621
G3/G4*	0,04; 0,12	12,54	0,001
G3/G5*	0,04; 0,09	4,70	0,030
G3/G6*	0,04; 0,13	16,80	0,0001
G4/G5	0,12; 0,09	1,87	0,172
G4/G6	0,12; 0,13	0,33	0,566
G5/G6	0,09; 0,13	3,74	0,053

* diferença na estabilidade entre os dois grupos

7.2.3.2. Erro absoluto (distância)

Os valores da estatística K de cada sujeito do G1 evidenciam *tracking* baixo, à exceção dos sujeitos 4, 19 e 5, que apresentam valores de K acima de 0,50 (os dois primeiros com estabilidade no melhor canal, e o último, no pior canal de desempenho). O valor do K para a totalidade dos sujeitos é de $0,10 \pm 0,01$, e os respectivos limites de confiança para 95% são 0,08 e 0,13. Pode-se interpretar esses resultados como indicadores de ausência de estabilidade no desempenho dos sujeitos. Logo, o comportamento dos erros é inconsistente, permitindo pouca margem de previsão do desempenho individual e do grupo.

Os resultados da estabilidade de desempenho dos sujeitos do G2, representados pelos valores da estatística K de cada sujeito, evidenciam *tracking* moderado. Podem ser destacados positivamente os valores dos sujeitos 25, 29 e 37. Já os sujeitos 27 e 38 chamam a atenção pela manutenção no pior canal de desempenho. O valor do K para a totalidade dos sujeitos é de $0,16 \pm 0,02$ e os respectivos limites de confiança para 95% são 0,13 e 0,19. Esses resultados sugerem a ausência de estabilidade no desempenho dos sujeitos.

Relativamente ao G3, os valores da estatística K de cada sujeito evidenciam estabilidade de baixa a moderada. Os sujeitos 43, 47 e 60 apresentam valores de K que os classificam como estáveis no pior canal de desempenho. Por sua vez, o sujeito 44 é estável no melhor canal. O valor do K para a totalidade dos sujeitos é de $0,13 \pm 0,02$, e os respectivos limites de confiança para 95% são 0,10 e 0,16. Pode-se interpretar esses resultados como indicadores de ausência de estabilidade no desempenho dos sujeitos.

No que tange ao G4, os valores da estatística K de cada sujeito evidenciam *tracking* de baixo a moderado, com exceção dos sujeitos 66 e 70, que apresentam, respectivamente, desempenhos estáveis no melhor e pior canal de desempenho. O valor do K para a totalidade dos sujeitos é de $0,14 \pm 0,02$, e os respectivos limites de confiança para 95% são 0,11 e 0,17. Esses resultados sugerem que não houve estabilidade no desempenho dos sujeitos.

Os valores individuais de K do G5 indicaram baixo *tracking*. Entretanto, desempenhos estáveis no melhor canal de desempenho foram apresentados pelos sujeitos 88 e 96. O valor do K para a totalidade dos sujeitos é de $0,08 \pm 0,02$, e os respectivos limites de confiança para 95% são 0,05 e 0,11. Tais valores indicam ausência de estabilidade no desempenho dos sujeitos.

Os valores da estatística K de cada sujeito do G6 evidenciam baixo nível de *tracking*, com exceção do sujeito 110, o qual destaca-se pela manutenção no melhor canal de desempenho. O valor do K para a totalidade dos sujeitos é de $0,06 \pm 0,01$ e os respectivos limites de confiança para 95% são 0,03 e 0,09. Esses resultados sugerem que não se caracterizou estabilidade no desempenho dos sujeitos.

A comparação entre os valores de K dos seis grupos indicou diferenças significativas na estabilidade dos grupos ($\chi^2=29,46$; $p<0,05$). Na

TABELA 4 encontram-se os valores referentes às comparações pareadas entre grupos, considerando os Ks de Cohen totais¹⁰. No que diz respeito ao desempenho na demanda de distância, G5 e G6 foram mais instáveis que G2, G3 e G4. Além disso, o G1 apresentou mais instabilidade de desempenho que o G2, o qual apresentou mais que o G6.

TABELA 4 – Comparações pareadas entre grupos na demanda de distância, considerando os valores de K totais.

Par de grupos	K Total	χ^2	p
G1/G2*	0,10; 0,16	6,53	0,010
G1/G3	0,10; 0,13	1,42	0,234
G1/G4	0,10; 0,14	2,42	0,120
G1/G5	0,10; 0,08	1,08	0,298
G1/G6*	0,10; 0,06	4,41	0,036
G2/G3	0,16; 0,13	1,80	0,179
G2/G4	0,16; 0,14	0,95	0,330
G2/G5*	0,16; 0,08	12,47	0,0004
G2/G6*	0,16; 0,06	21,11	0,0001
G3/G4	0,13; 0,14	0,13	0,716
G3/G5*	0,13; 0,08	4,80	0,028
G3/G6*	0,13; 0,06	10,52	0,001
G4/G5*	0,14; 0,08	6,47	0,010
G4/G6*	0,14; 0,06	12,93	0,0003
G5/G6	0,08; 0,06	1,06	0,303

* diferença na estabilidade entre os dois grupos

¹⁰ Os valores relativos ao erro constante encontram-se no ANEXO V. Nas comparações do erro variável, não foram identificadas diferenças entre os grupos.

7.2.4 Teste da quarta hipótese

A presença da distribuição não aleatória dos erros ao longo das tentativas indica, por parte de cada sujeito, a utilização de alguma estratégia de desempenho.

O teste estatístico não-paramétrico *One-Sample Runs Test of Randomness* é utilizado para verificar a hipótese nula de aleatoriedade da distribuição dos erros ao longo das observações; a inspeção da tendência das observações será realizada em cada sujeito.

7.2.4.1 Erro absoluto (força)

A não aleatoriedade de erros, reveladora de alguma tendência ou estratégia de desempenho ao longo das tentativas, foi identificada nos seguintes sujeitos¹¹ (TABELA 5):

TABELA 5 - Sujeitos que apresentaram não aleatoriedade de erros ao longo das tentativas.

G1	G2	G3	G4	G5	G6
10			71		
11	25	59	74	84	114
12			76		117
15			79		

Dos 120 sujeitos da amostra, somente 10,8% apresentou não aleatoriedade dos erros.

Embora em G1 e G4 tenha havido maior número de sujeitos, não foi possível detectar vantagem de desempenho relacionada aos grupos experimentais.

¹¹ A estatística z variou entre -2,89 a -2,07 ($p < 0,04$).

7.2.4.2 Erro absoluto (distância)

Os sujeitos da TABELA 6¹² apresentaram não aleatoriedade de erros, isto é, utilizaram alguma tendência ou estratégia de desempenho ao longo das tentativas:

TABELA 6 - Sujeitos que apresentaram não aleatoriedade de erros ao longo das tentativas.

G1	G2	G3	G4	G5	G6
02	30	43	74	81	104
06			79	85	

Apenas 7,5% da amostra total apresentou alguma tendência de desempenho.

Não foi possível detectar vantagem relacionada aos grupos experimentais.

8 DISCUSSÃO

O presente trabalho teve como objetivo geral investigar quais regimes de frequência e precisão de CR favorecem o processo adaptativo na aquisição de uma habilidade motora conjugada de preensão manual com posicionamento linear.

Três hipóteses substantivas foram testadas na fase de estabilização. A primeira, de ausência de diferença de médias de desempenho entre os grupos na primeira tentativa de prática, foi corroborada. A homogeneidade de desempenho inicial dos grupos é uma condição necessária em estudos de Aprendizagem Motora. De outra forma, se os grupos apresentassem desempenhos iniciais diferentes, não se poderia atribuir os resultados apenas à manipulação experimental, mas também às diferenças iniciais. Embora não se tenha recorrido ao procedimento de aleatorização total da amostra, os resultados indicam que o

¹² A estatística z variou entre -3,19 a -2,07 ($p < 0,04$).

procedimento de designação aleatória (THOMAS & NELSON, 1996), utilizado para a formação dos grupos, permitiu equiparação inicial de desempenho dos grupos, tanto na demanda de força como na de distância.

Corroborou-se também a segunda hipótese de que, ao longo da prática, há um padrão no comportamento das curvas de desempenho. Todos os grupos, em ambas as demandas, melhoram o desempenho de um ponto inicial a um ponto posterior no tempo, o que evidencia a ocorrência de aprendizagem da tarefa. Nas duas demandas, as curvas de desempenho são negativamente aceleradas (tendência exponencial). Ao longo do tempo, ocorre um platô que se mantém, indicando aumento na consistência do desempenho. Portanto, embora tenha ocorrido diminuição marcante e rápida dos erros no início, a melhora vai ficando menos pronunciada à medida em que a prática avança.

A curva exponencial decrescente representa a função potência ou lei da potência de prática (CROSSMAN, 1959; LOGAN, 1988; MAGILL, 2000), segundo a qual existe relação linear entre o logaritmo do número de tentativas e o logaritmo da medida de desempenho. O início do platô de desempenho não significa necessariamente estabilização funcional. Em outras palavras, alcançar patamares médios de desempenho não significa necessariamente que a função para a realização da tarefa esteja estabilizada. No início do platô, os sujeitos alcançam um nível reduzido de erro médio, que é mantido no decorrer de um certo número de tentativas. Assumiu-se que a estabilização funcional ocorre quando o sujeito atinge o critério de desempenho pré-determinado - duas tentativas dentro de uma faixa de tolerância de erro. O alcance do critério ou de controle ótimo na execução da tarefa, teoricamente, leva à padronização funcional, momento a partir do qual o sistema está apto a adaptar-se a novas condições (CHOSHI, 2000; MANOEL, 1992, 1993, 1998; MANOEL & CONNOLLY, 1995, 1997; TANI, 1982, 1989, 1995, 1998, 2000a, 2005; TANI, BASTOS, CASTRO, JESUS, SACAY & PASSOS, 1992; TANI, CONNOLLY & MANOEL, 1996). A padronização da função é alcançada por meio de prática e *feedback* negativo. O aprendiz passa por um processo de diferenciação, em que um estado instável, geral e homogêneo dá lugar a um estado estável, específico e heterogêneo (BERTALANFFY, 1976). Nas tentativas iniciais, a magnitude e variabilidade dos erros é grande, caracterizando os movimentos como inconsistentes e

desordenados. Com as repetições, a relação meio-fim para atingir a meta da tarefa é reforçada até que se alcancem estados estáveis (platôs de desempenho e alcance do critério), ou seja, a execução de movimentos ordenados e consistentes, caracterizados pela redução da magnitude e variabilidade dos erros (TANI, 1995, 2005). Ainda pode ser observado que, durante toda a prática, há heterogeneidade de desempenho dos sujeitos, sendo maior no início e decrescente em função do tempo.

Apenas parcialmente corroborada foi a terceira hipótese, de que os grupos que recebem regimes de CR com maior frequência e precisão (G1, G2, G3 e G5) cometem, em média, menos erros que os grupos que recebem menor frequência e precisão de CR (G4 e G6).

Essa conclusão apoia-se em três argumentos: a) as diferenças entre os grupos, com vantagem para os que receberam regimes de CR com maior frequência e precisão, não foram determinadas pelo fator tempo; b) na demanda de força, frequências de 66% de CR proporcionaram desempenhos similares a frequências de 100% de CR; c) o desempenho do G4 na demanda de força foi similar ao do G1 e do G2.

Portanto, considerando os itens acima, há indicações de que CR frequente e total proporcionou melhor desempenho na fase de estabilização.

Em ambas as demandas, houve melhora significativa de desempenho no decorrer da prática, fato que reforça a ocorrência de aprendizagem ao longo das tentativas descrita no teste da segunda hipótese.

Quatro foram as hipóteses testadas na fase de adaptação. A primeira hipótese é que os grupos que receberam regimes de CR com maior frequência e precisão, na fase de estabilização (G1, G2, G3 e G5) cometem, em média, mais erros que os grupos que receberam menor frequência e precisão de CR (G4 e G6). Os testes estatísticos formais indicaram ausência de quaisquer diferenças significativas de desempenho médio entre os grupos. Qualquer que seja a demanda da tarefa, não houve associação entre o regime de CR recebido na fase de estabilização e o desempenho na fase de adaptação. Em outras palavras, a adaptação à perturbação introduzida não se condicionou às manipulações de frequência e precisão de CR da fase de estabilização.

A segunda hipótese da fase de adaptação é que os dados se ajustam a um modelo caracterizado pela presença de variância substancial no momento inicial e heterogeneidade de resposta ao longo das tentativas, com o desempenho sendo predito pelo regime de CR recebido na fase de estabilização. Para ambas as demandas, o modelo linear não-condicionado mostrou-se o mais adequado. Nenhuma variável preditora, portanto, auxiliou na explicação do desempenho. Por conseguinte e contrariamente à hipótese estabelecida, as variáveis independentes manipuladas na fase de estabilização não foram agentes causais das diferenças na fase de adaptação.

Houve diferença entre as duas demandas com relação à trajetória de desempenho ao longo das 15 tentativas. A trajetória linear constante apresentada na demanda de força significa que os sujeitos, embora iniciem a fase de adaptação com níveis de erro distintos, apresentam trajetórias similares, isto é, mantêm o nível de erros em função do tempo. No que concerne à demanda de distância, a trajetória linear com leve acrive indica que, além de iniciarem com valores distintos, os sujeitos aumentam os erros com o decorrer das tentativas.

Logo, a primeira parte da segunda hipótese foi corroborada para demanda de distância: os dados se ajustam a um modelo caracterizado pela presença de variância substancial no momento inicial e heterogeneidade de resposta ao longo das tentativas. Não obstante, na demanda de força, embora os dados tenham se ajustado a um modelo caracterizado pela presença de variância substancial no momento inicial, não houve heterogeneidade de resposta ao longo das tentativas, mas um comportamento homogêneo das trajetórias individuais. A segunda parte da hipótese foi refutada (o desempenho é predito pelo regime de CR recebido na fase de estabilização). Qualquer que seja a demanda da tarefa, a causa de variabilidade ao longo das tentativas não pode ser atribuída ao regime de CR recebido na fase de estabilização.

Segundo a terceira hipótese, ocorre manutenção da posição relativa dos desempenhos dos sujeitos dos diferentes grupos ao longo das tentativas (*tracking*), isto é, os grupos tendem a permanecer no mesmo canal de desempenho em função do tempo, com G4 e G6 apresentando desempenhos mais estáveis em relação aos demais grupos. Os resultados de ambas as demandas da tarefa evidenciaram *tracking* de baixo a moderado, ou seja, não

houve estabilidade de desempenho dos sujeitos. Portanto, o comportamento dos erros foi inconsistente, o que implica uma possibilidade muito reduzida para prever o desempenho de cada grupo e para cada sujeito em particular.

Alguns sujeitos apresentaram maior estabilidade, ora com manutenção no melhor canal de desempenho, ora com manutenção no pior canal de desempenho. Notou-se que os sujeitos que mostraram maior estabilidade na demanda de força não apresentaram o mesmo perfil na demanda de distância e vice-versa. Apenas um sujeito apresentou bom nível de estabilidade no melhor canal de desempenho nas duas demandas da tarefa motora.

As comparações entre grupos indicaram diferença na estabilidade entre os vários grupos. Os grupos com frequências intermediárias e precisão total de CR demonstraram, na demanda de força, desempenhos mais instáveis. Segundo as comparações na demanda de distância, os grupos de menor frequência foram mais instáveis.

O argumento exposto acima permite refutar a hipótese de ocorrência de manutenção da posição relativa dos desempenhos dos sujeitos dos diferentes grupos ao longo das tentativas (*tracking*). Contudo, a segunda parte da hipótese foi corroborada parcialmente, a considerar que, na demanda de força, G4 e G6 apresentaram desempenhos mais estáveis em relação aos demais grupos, exceto ao G1.

A última hipótese testada foi a de presença de utilização de estratégias consistentes de desempenho que se encontram refletidas no caráter não aleatório dos erros ao longo das tentativas. Uma quantidade muito reduzida de sujeitos apresentou não aleatoriedade de erros, reveladora de alguma tendência ou estratégia sólida de desempenho ao longo das tentativas. Ainda, não se identificou tendência favorecendo qualquer grupo. Assim, em consequência da quantidade extremamente reduzida de sujeitos que apresentaram caráter não aleatório dos erros na série de tentativas, refutou-se a quarta hipótese.

De forma geral, constatou-se que o CR total e freqüente provocou melhor desempenho apenas na fase de estabilização. O desempenho na adaptação não foi influenciado significativamente pelo regime de CR recebido na fase anterior. A considerar os resultados do presente trabalho relacionados à fase

de adaptação (cerne do processo adaptativo), é possível advogar regimes de CR gerais e menos freqüentes, já que os grupos que receberam CR não freqüente e apenas sobre direção do erro obtiveram controle adaptativo igual aos grupos que receberam CR freqüente e sobre magnitude e direção do erro. Desse modo, levando em consideração que a vantagem na estabilização associada a regimes de CR freqüentes e precisos é dissipada na fase de adaptação, não se faz necessário reduzir excessivamente a incerteza por intermédio de regimes de CR com muita freqüência e precisão. Essa conclusão corrobora os resultados obtidos em estudos sobre freqüência e precisão de CR no modelo teórico corrente.

O fato de CR menos freqüente e menos preciso não ter facilitado o processo adaptativo coloca limitações às hipóteses explicativas extraídas do modelo de processo adaptativo. Ressalta-se que tais hipóteses não foram testadas no presente trabalho: são proposições teóricas e devem ser assim consideradas.

A primeira hipótese explicativa apoia-se na premissa de que CR freqüente e preciso acarreta correções nos detalhes do movimento que implicam redução da variabilidade na microestrutura do programa de ação organizado hierarquicamente. A utilização de CR preciso a toda hora faria com que o aprendiz formasse um programa de ação rígido, sem a necessária flexibilidade para adaptação. Corrigir erros a todo momento e com ênfase em pormenores, além de ter conseqüências na variabilidade inerente ao sistema motor (MANOEL & CONNOLLY, 1995; NEWELL & CORCOS, 1993; TANI, 2000a), interfere na variabilidade da microestrutura do programa de ação (BENDA & TANI, 2005; FREUDENHEIM, 2005; TANI, 1995, 2005). Os resultados não apontaram nessa direção.

Praticar sob um regime de CR freqüente e preciso incorre em corrigir detalhes após a execução de todo movimento. Todavia, o programa de ação formado mediante regimes de CR freqüente e preciso também pode ser dotado de flexibilidade para adaptação. Desse modo, a maneira como a informação vem de fora parece não interferir na variabilidade da microestrutura. É provável que a tolerância de erro seja uma variável importante na consideração dessa hipótese. Teoricamente, a adoção de faixas de erro mais tolerantes pode ter implicações benéficas para o processo adaptativo, já que ao considerarem corretas muitas

tentativas, os sujeitos poderiam ser mais adaptáveis, pois não se preocupariam demasiadamente com pormenores do movimento. No presente estudo, a ausência de diferença entre os grupos pode ter sido decorrência da rigorosa faixa de tolerância de erro adotada, especialmente na demanda de força, em que a magnitude de erro é maior. Essas possibilidades merecem atenção na elaboração de pesquisas futuras.

Outra hipótese formulada contra CR freqüente e preciso relaciona-se com a autonomia do sistema. Esse regime de CR causa aumento da dependência a informações extrínsecas, dificultando a utilização e o aprimoramento do mecanismo de detecção e correção de erros no nível da macroestrutura do programa de ação, mediante exploração do *feedback* intrínseco. A forte função orientadora do CR em relação ao alcance da meta catalisa a atenção do sujeito e prejudica o envolvimento em processos cognitivos necessários à formação e consolidação de uma referência de avaliação do movimento. Então, o processamento de informações intrínsecas ocorre de forma menos engajada. Isso significa que o aprendiz se acomoda, sabendo que sempre receberá uma informação correta e precisa sobre o resultado que atingiu. Essa dependência do CR acarreta desempenho fraco numa situação futura mais complexa, na qual uma perturbação é introduzida.

Segundo a lei da variedade indispensável (ASHBY, 1962), a autonomia do sistema relaciona-se à variedade na sua estrutura e nas suas funções: quanto maior o leque de respostas disponíveis, maior a adaptabilidade do sistema. Em outras palavras, quanto mais complexo o sistema, maior a quantidade de informação contida nele e maior a capacidade de adaptação. Com base nos resultados deste estudo, CR freqüente e preciso não se constituiu como causa da dependência nem como inibidor de aquisição de autonomia pelo sistema. Esse regime de CR pode ter proporcionado disponibilidade de respostas benéficas ao controle adaptativo, justamente porque, a cada tentativa, o aprendiz modificava a maneira de atingir as metas e, conseqüentemente, adquiria paulatinamente um maior número de possibilidades de solução do problema.

Sob outro ângulo de análise, o CR agiu como uma restrição extrínseca que implicou restrições construídas internamente (CHOSHI, 2000). Caso se tratasse de um sistema físico fechado entregue a si mesmo, ele evoluiria para um

estado de equilíbrio, isto é, com entropia, desordem e homogeneidade máximas; isso dotaria o sistema de informação nula e portanto, o sistema não poderia ser caracterizado como adaptativo complexo. Como o aprendiz é um sistema aberto, pois executa movimentos e recebe informações, as restrições externas (por exemplo, CR) interagem com restrições internas (por exemplo, ruído) para mantê-lo num estado de desordem mínima (BERTALANFFY, 1976). Isso significa que o sistema não evolui sozinho, uma vez que lhe são impostas algumas condições do meio externo, as quais auxiliam sua permanência em estados ordenados, longe do equilíbrio. Nesse sentido, independentemente do regime, o CR como uma restrição externa desempenha um papel importante para manter a dinâmica intrínseca do sistema, isto é, manter o sistema em estados confortáveis de funcionamento. O problema é identificar com que frequência e precisão o CR deve ser oferecido para facilitar o processo adaptativo.

A considerar pelos resultados da fase de adaptação, parece que os sujeitos que receberam CR freqüente e preciso não se tornaram dependentes da informação extrínseca. A função orientadora do CR pode ser questionada (LAI & SHEA, 1999), visto que orientação em excesso (CR freqüente e preciso) não é capaz de bloquear operações cognitivas, tampouco de resultar em desempenhos fracos em testes futuros.

Uma das proposições do modelo de processo adaptativo é de que a programação da ação motora consiste na seleção da macroestrutura e na geração da microestrutura. A tarefa empregada no presente estudo exigiu que o sujeito regulasse os parâmetros de força e distância. Assumiu-se que os sujeitos já tinham disponíveis programas de ação para controlar a força e posicionar um objeto no espaço. Logo, a macroestrutura formada da interação dos dois componentes foi sendo formada com a seleção dos programas de ação separados já existentes. Já os valores específicos de força e distância em cada tentativa (relacionados à microestrutura) foram gerados (TANI, 1995, 2005). Essa alocação de diferentes parâmetros na microestrutura não exigiu a atenção para aspectos estruturais da tarefa, o que pode ter proporcionado uma utilização mais rica da informação cinestésica. Essa situação, de acordo com SWINNEN (1996), é propícia ao processamento conjunto da informação intrínseca com a extrínseca, portanto de CR com o *feedback* intrínseco.

A tarefa do presente estudo proporcionava apenas variação de força e distância, governada teoricamente por um mesmo plano de ação. Na pesquisa de WULF, SCHMIDT e DEUBEL (1993), embora conduzida sob um modelo orientado à estabilização, frequências menores de CR não se mostraram eficazes para a aprendizagem dos parâmetros da habilidade motora estudada. Assim, um dos fatores para a ausência de diferenças entre os grupos experimentais pode ter sido o fato de ter havido apenas variações paramétricas da tarefa.

A adaptação paramétrica à perturbação ambiental introduzida (força de translação oposta ao sentido do movimento) foi possível graças à variabilidade da microestrutura do programa de ação, que confere ao sistema flexibilidade para adaptações. A variabilidade associada à microestrutura pode ter sido adquirida com alguma redundância que a prática excedente (do início do platô até o alcance do critério) da fase de estabilização proporcionou (BENDA, 2001). Essa redundância deve ser entendida não como fonte de complicados problemas computacionais que o sistema nervoso central necessita solucionar (o problema dos graus de liberdade - BERNSTEIN, 1967), mas como fonte de adaptabilidade, isto é, uma reserva de capacidade que permite ao ser humano responder a perturbações (TANI, 2000a). Pode-se especular que a aquisição de redundância - importante para o desenvolvimento da capacidade de detecção e correção de erros - também pode ter eliminado o efeito da manipulação experimental, isto é, a equiparação de desempenho dos grupos na fase de adaptação. A rápida estabilização do desempenho pode ser vista como evidência nesse sentido.

Um regime de CR freqüente e preciso, segundo a terceira hipótese explicativa, estimula a inibição da geração de incerteza, necessária para aumentar o fluxo de energia livre ou informação dentro do sistema. Quando caminha em direção à estabilidade, o sistema tende a diminuir o fluxo de energia livre ou informação. De outro modo, considerando que para atingir novos estados de organização é necessário quebra de estabilidade, o sistema também obtém informações que o conduzam para estados de maior incerteza. A execução de um movimento faz a entropia do sistema aumentar (desordem crescente); porém a aquisição de informação após a execução do mesmo provoca diminuição de entropia. Portanto, o sistema não apenas produz entropia, mas também a transporta quando alguma matéria com alto conteúdo de energia livre é

introduzida. Esse equilíbrio da produção e transporte de entropia faz com que o sistema exiba processos antientrópicos e assim, desenvolva-se no sentido de estados de ordem, diferenciação e organização mais elevadas (BERTALANFFY, 1976; FORD & LERNER, 1992; WATANABE¹³ citado por TANI, 1999).

Com base nos resultados obtidos, alterações no fluxo de energia livre ou informação não se relacionaram com os regimes de CR. Durante a fase de estabilização, a informação foi utilizada para reduzir o erro, ou seja, o curso do processo se deu por meio de *feedback* negativo. Processos dessa natureza visam à manutenção da estabilidade. Ausência de CR ou CR parcial, hipoteticamente, não sucitaram amplificação de desvios (*feedback* positivo), que, em conjunto com a redução de desvios (*feedback* negativo), é importante para produção de instabilidades benéficas a situações adaptativas (MARUYAMA, 1963).

Vale ressaltar que o fato de receber CR não garante sua efetiva utilização, já que a informação é transmitida somente quando a incerteza é reduzida. O fato de um dado ser disponível não quer dizer que seja interpretável. Quando isso acontece, o dado se configura como mensagem e não como informação. Pode haver CR disponível, porém o sujeito é incapaz de interpretá-lo adequadamente. Por isso, primeiro, o aprendiz deve ser competente para transformar informação em redução de incertezas e, segundo, deve ter desejo de utilizá-la. A transmissão da informação faz com que o domínio de incerteza do receptor seja reduzido. O receptor escolhe como orientar seu domínio cognitivo pela mensagem, ou seja, cria informação reduzindo incerteza por meio das interações no seu domínio cognitivo. Para dar significação à mensagem e caracterizá-la como informação positiva, o aprendiz deve decodificar o dado recebido, ou seja, com base em seu conhecimento, lança mão de um código para decifrá-lo (ATLAN, 1992; EPSTEIN, 1986; MATURANA & VARELA, 1980, 1995; SHANNON & WEAVER, 1949, 1975; WADDINGTON, 1979). Nessa linha de raciocínio, os sujeitos do G1, que recebiam CR preciso após toda tentativa, podem não ter utilizado o CR como um dado que gerasse informação efetiva. Já em relação aos sujeitos do G6, que recebiam informação extrínseca parcial apenas em determinadas tentativas, pode ter acontecido de o CR ter sido apresentado após aquelas tentativas em que o sujeito não necessitava. Assim,

¹³ S. Watanabe. Time and freedom. *Shisoo*, Tóquio, v.602, p.1041-1051, 1974.

CR parcial e fornecido de vez em quando pode reduzir mais a incerteza, desde que seja fornecido na ocasião em que o aprendiz realmente necessita e quando é efetivamente decodificado. Dessa forma, o G1 pode ter levado vantagem porque sempre tinha CR à disposição. Talvez os aprendizes pertencentes a esse grupo tenham ignorado o CR nas tentativas em que era importante apenas valorizar a informação cinestésica. Um regime autocontrolado, em que CR é fornecido apenas quando solicitado pelo sujeito, é uma alternativa de solução para esse problema.

Há evidências de ausência de relação entre complexidade da tarefa e frequência de CR (CHIVIAKOWSKY, 2000; CHIVIAKOWSKY & GODINHO, 2004; LUSTOSA DE OLIVEIRA, 2002). CHIVIAKOWSKY (2000) aponta que o estágio de aprendizagem em que se encontra o aprendiz é uma variável mais importante que a complexidade da tarefa.

Uma questão fundamental é saber qual informação é apropriada para cada aprendiz no estágio em que ele se encontra. NEWELL (1996) sugere que os graus de liberdade contidos na informação devem combinar com os graus de liberdade que restringem a tarefa (para movimentos com até dois graus de liberdade). Já para ações de todo o corpo, o problema é mais profundo porque muitas propriedades de informações devem ser consideradas (informações não são muito diretas sobre a natureza da mudança necessária para a próxima tentativa). Então, para muitas tarefas, a informação de *feedback* não restringe suficientemente a busca para a aprendizagem de novos modos de coordenação e leva a uma aprendizagem mais pobre do que em tarefas com menos graus de liberdade sob as mesmas condições de *feedback*.

GUADAGNOLI e LEE (2004) sugerem um modelo conceitual em que a aprendizagem relaciona-se com a informação disponível e interpretável e que depende da dificuldade da tarefa, a qual pode ser nominal (independe de quem executa e em quais contextos é executada) ou funcional (depende do desafio que provoca no executante). A hipótese do modelo é que, para tarefas com dificuldade nominal alta, serão conseguidos efeitos melhores de aprendizagem por meio de regimes mais frequentes e mais imediatos. Pode-se dizer que a inclusão de duas demandas na tarefa, utilizada no presente estudo conferiu,

maior dificuldade nominal da tarefa, porém não a ponto de classificá-la como de alta dificuldade.

Um outro aspecto a ser considerado refere-se à complexidade da tarefa em que dois movimentos foram conjugados. O fornecimento de CR relativo aos dois movimentos pode ter criado no sujeito uma divisão de atenção, ou seja, uma demanda de decisão sobre a qual dos dois CRs atender. Mais ainda, pode ter sido adotada uma estratégia de processamento diferenciada ao longo das tentativas, isto é, priorizou-se um dos dois CRs em diferentes momentos do processo de aquisição. Em suma, apesar de receber CR freqüente e preciso, os sujeitos não processaram todas as informações recebidas, o que, de certa forma, reduz as diferenças nos distintos regimes de CR.

Menores freqüências de CR são mais eficazes apenas com prática variada (CHIVIACOWSKY & TANI, 1997; LAI & SHEA, 1999). Esse não foi o caso do presente estudo, uma vez que os sujeitos praticaram de forma constante: as metas foram as mesmas nas duas fases do experimento. Na perspectiva do processo adaptativo, nenhum trabalho foi desenvolvido para testar a relação entre CR e complexidade da tarefa, tampouco entre CR e estruturação da prática.

No presente trabalho, o problema motor tinha de ser resolvido com privação da informação visual. Isso obrigou o aprendiz a considerar como *feedback* intrínseco apenas a informação proprioceptiva recebida durante a execução do movimento. O significado cinestésico do erro, portanto, foi um dado muito importante a ser considerado.

Dois conjuntos de receptores sensoriais agiram em conjunto para informar o sistema sobre a extensão e a tensão musculares (SAGE, 1984; SHUMWAY-COOK & WOOLLACOTT, 2001): a) os fusos musculares, que fornecem informação ao sistema nervoso central sobre o tamanho e a força do músculo; assim, o sujeito tinha consciência da posição do membro superior, bem como controle sobre a força aplicada; b) órgãos tendinosos de Golgi, que monitoram a taxa de mudança de tensão nos músculos em contração, importante para o estabelecimento de relações entre as duas demandas da tarefa. Além disso, mais dois conjuntos de receptores sensoriais merecem destaque: os receptores cutâneos, sobretudo para o controle fino nas articulações dos dedos na aplicação da força, e os receptores articulares, responsáveis pela regulação de aspectos

dinâmicos e do *timing* do movimento (principalmente no posicionamento final do manípulo).

A conjugação da informação sensorial obtida pelos próprios meios com a informação fornecida pelo pesquisador é de vital importância para avaliar a obtenção da meta e ter subsídios para a correção do erro (ADAMS, 1978).

No modelo simplificado de ações motoras apresentado no referencial teórico do processo adaptativo (TANI, 1995; FIGURA 2, item 3.10), a meta e o resultado devem ser comparados para que se desenvolva o mecanismo de detecção e correção de erros, fortalecendo, a estrutura responsável pela avaliação das ações motoras.

Assume-se que depois que o movimento é executado o aprendiz envolve-se em processos cognitivos para relacionar a meta da ação (1), as condições iniciais (2), as especificações da resposta (3), as conseqüências sensoriais (4) e o resultado da resposta (5). No início da prática, a meta da ação não está totalmente clara, haja vista a grande quantidade de erros. Aos poucos, o sujeito entende o que é para ser feito e as relações entre 1, 2, 3, 4 e 5 são estabelecidas quando o CR é utilizado. Quando não há CR, estabelecem-se apenas as relações entre 1, 2, 3 e 4. As condições iniciais não se alteram significativamente de tentativa para tentativa. Nas tentativas sem CR, a relação entre 3 e 4 se fortaleceria. Quando o aprendiz estabelece uma relação forte entre 3 e 4 (tentativas sem CR), receber 5 (CR) contribuiria para o refinamento do referencial de correção, tornando a aprendizagem mais eficaz. Quando não há CR disponível, o aprendiz tende a manter a relação na próxima tentativa (DAWKINS, 2001; HUME, 1999; MATURANA & VARELA, 1980), até receber CR e poder avaliar se a relação está correta. Assim, quando o CR é reduzido, além de aumentar sua importância, a referência de correção seria fortalecida.

Essa maneira preditiva de funcionamento é explicada pelo aumento da probabilidade de manutenção da organização do sistema. Todavia, a organização é conservativa e repete apenas aquilo que funciona (MATURANA & VARELA, 1980). Em vista disso, de forma hipotética e considerando que os grupos tiveram desempenhos similares na adaptação, o fortalecimento da relação entre 3 e 4 nas tentativas sem CR somente ocorria quando o sujeito julgava que o erro (informado na tentativa com CR) havia sido pequeno. Assim, a aquisição do

referencial de correção pode não guardar relação com o regime de CR, mas com o conceito de organização conservativa.

O estudo da formação de uma referência de avaliação merece a atenção de pesquisas futuras. Para isso, há de ser viabilizada uma metodologia, da mesma forma em que há uma metodologia já estabelecida para o estudo do programa de ação organizado hierarquicamente. Considerando que a referência é uma cópia do programa de ação, poder-se-ia também estudar características macroscópicas e microscópicas relacionadas a ela.

A tarefa motora do presente estudo foi composta por duas demandas: força e distância. Nos resultados, houve algumas particularidades associadas a cada demanda, as quais merecem comentários. Em ambas as fases do experimento, o desempenho na demanda de força foi mais heterogêneo e com maior magnitude de erros que na demanda de distância. Isso significa que as estratégias interindividuais de controle de força foram variadas entre os sujeitos e o nível de erro associado a essa demanda foi maior. Uma possível explicação desse fato é a referência abstrata que temos em relação ao controle de força, bem como a falta de experiências com a quantificação da força na execução de movimentos. A maior precisão de desempenho na demanda de distância associa-se ao uso freqüente de estimativas de distância no nosso cotidiano, além de existirem referências corporais (por exemplo, a articulação do ombro) que serviram de base para comparações de desempenho.

De acordo com a estatística descritiva da fase de adaptação, parecem existir algumas tentativas "críticas". Há um decréscimo acentuado de desempenho na segunda tentativa (na demanda de força), que pode ser explicado pela "surpresa" relativa à força de translação experimentada na tentativa anterior. O desempenho na primeira tentativa não foi afetado porque a instrução dada ao sujeito era que aplicasse a força no início e a mantivesse durante o trajeto. As correções, portanto, não poderiam ser realizadas *on-line*, mas apenas na tentativa posterior.

Com relação à demanda de distância, a sexta tentativa merece comentário, já que nela também houve queda de desempenho. A explicação mais plausível para esse fato é a informação do pesquisador, dada ao sujeito antes da execução da tentativa, de que faltariam dez tentativas para o final do

experimento. Isso pode ter causado alguma distração, a qual se refletiu no desempenho da tarefa.

Do início ao fim da fase de adaptação, o desempenho de força foi constante. De outro modo, os erros referentes a distância aumentaram ao longo das tentativas. Notou-se que os sujeitos que mostraram maior estabilidade na demanda de força não apresentam o mesmo perfil na demanda de distância e vice-versa. Na demanda de força, os grupos com frequências intermediárias e precisão total de CR demonstraram desempenhos mais instáveis na adaptação.

Quanto à estabilidade do desempenho (*tracking*), pode-se dizer que houve vantagem para CR reduzido e geral na demanda de força; já na demanda de distância, a vantagem é atribuída aos grupos de menor frequência de CR.

Nas tentativas em que o CR foi fornecido, o sujeito recebeu primeiro o *feedback* sobre a força aplicada e depois sobre a distância. A ordem de fornecimento de CR também pode ter sido um fator de determinação dos resultados. O melhor desempenho apresentado na demanda de distância sugere que a informação fornecida por último pode ter alguma implicação. Talvez algum efeito de posição seriada (MAGILL & DOWELL, 1977) possa ser atribuído à maior facilidade de recordar a última informação recebida e concentrar esforços para atingir a meta de distância.

Considerando a preensão manual como uma tarefa independente, as correções tendem a ocorrer somente na próxima tentativa, uma vez que se trata de um movimento discreto - embora a aplicação de força tenha sido efetuada durante todo movimento, a instrução dada ao sujeito era para que ele mantivesse, durante o percurso, a força aplicada no início. O posicionamento linear, por sua vez, permite um maior controle *on-line* por causa de sua característica contínua. Ademais, os sujeitos tinham permissão para efetuar pequenos ajustes no final do movimento. Assim, houve tendência de priorizar informações cinestésicas relacionadas ao posicionamento do manípulo. Esse também pode ter sido um fator relacionado ao melhor desempenho na demanda de distância.

Sugere-se a realização de outros estudos para investigar o processo de priorização da informação, por exemplo, se e como ocorre mudança da ênfase dada pelo sujeito às demandas da tarefa ao longo das tentativas.

9 CONCLUSÕES

Os resultados do presente trabalho ficam condicionados às seguintes condições de contorno: a) a amostra foi constituída por estudantes universitários de Educação Física e Esporte, o que limita a extensão das conclusões a outras populações; b) a utilização de uma tarefa motora laboratorial de posicionamento linear com dinamometria impõe restrições para generalização dos resultados a outros tipos de tarefa e de contextos reais; c) a análise dos resultados considerou apenas o produto do movimento executado, ou seja, o resultado final da ação; d) o fornecimento de CR não garante sua efetiva utilização por parte do sujeito; e) o processo de aprendizagem ocorreu em uma única sessão.

Embora tenha havido esforço para minimizar fatores causadores de vieses nos resultados, as seguintes limitações devem ser consideradas: a) alguns sujeitos sofreram efeito de fadiga, associada à prática em uma seqüência longa de tentativas; b) a tarefa pode ter causado queda de motivação em alguns sujeitos.

Considerando as delimitações e limitações apresentadas acima, pode-se concluir que:

- Na fase de estabilização, não houve diferença de médias de desempenho entre os grupos na primeira tentativa de prática, ou seja, os grupos mostraram desempenho inicial homogêneo.
- Os grupos melhoram o desempenho na fase de estabilização, com tendência exponencial negativamente acelerada de um ponto inicial a um ponto posterior no tempo, o que evidencia a ocorrência de aprendizagem da tarefa.
- Houve indicações de que CR freqüente e total proporcionou melhor desempenho na fase de estabilização.
- Não houve associação entre o regime de CR recebido na fase de estabilização e o desempenho na fase de adaptação.

- Na demanda de força, os sujeitos, embora iniciem a fase de adaptação com níveis de erro distintos, apresentam trajetórias similares, isto é, mantêm o nível de erros em função do tempo. Já na demanda de distância, além de iniciarem com valores distintos, os sujeitos aumentam os erros com o decorrer das tentativas.
- O desempenho na fase de adaptação não pode ser predito pelo regime de CR recebido na fase de estabilização; esse regime não pode ser atribuído como agente causal de variabilidade ao longo das tentativas.
- Na fase de adaptação, não houve estabilidade de desempenho dos sujeitos, isto é, o comportamento dos erros foi inconsistente, o que implica uma possibilidade muito reduzida para prever o desempenho de cada grupo e para cada sujeito em particular.
- Não obstante todos os grupos tenham apresentado desempenhos instáveis na adaptação, na demanda de força, G4 e G6 apresentaram desempenhos mais estáveis em relação aos demais grupos, exceto ao G1.
- O caráter aleatório dos erros ao longo das tentativas de adaptação sugere a ausência de utilização de estratégias consistentes por parte da maioria dos sujeitos.
- Futuras pesquisas para melhor esclarecer os efeitos do CR no processo adaptativo, envolvem, entre outros, os seguintes desafios: a) regimes de CR autocontrolados e/ou com faixas de tolerância de erro distintas, b) características da referência de avaliação formada ao longo do processo, c) priorização da informação no decorrer do processo de aprendizagem (força x distância), d) relação entre CR e complexidade da tarefa e/ou estrutura de prática, e) aumento no número de tentativas na adaptação até alcançar novo estado de estabilização, e f) magnitude da perturbação introduzida.

REFERÊNCIAS

ABERNETHY, B.; SPARROW, W.A. The rise and fall of dominant paradigms in motor behaviour research. In: SUMMERS, J.J. (Ed.). Approaches to the study of motor control and learning. Amsterdam: North-Holland, 1992.

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

_____. Theoretical issues for knowledge of results. In: STELMACH, G.E. (Ed.). Information processing in motor control and learning. New York: Academic Press, 1978. p.87-107.

_____. Historical review and appraisal of research on the learning, retention, and transfer of human motor skills. Psychological Bulletin, Lancaster, v.101, p.41-74, 1987.

ANDERSON, D.I.; MAGILL, R.A.; SEKIYA H. A reconsideration of the trials-delay of knowledge of results paradigm in motor skill learning. Research Quarterly for Exercise and Sport, Washington, v.65, p.286-290, 1994.

_____. Motor learning as a function of KR schedule and characteristics of task-intrinsic feedback. Journal of Motor Behavior, Washington, v.33, p.59-66, 2001.

ARPS, G.F. Work with KR x work without KR. Psychological Monographs, Princeton, v.28, n.125, p.1-11, 1920.

ASHBY, W.R. Principles of the self-organizing system. In: VON FOERSTER, H.; ZOPF, K. (Orgs.). Principles of self-organizing. London: Pergamon Press, 1962.

ATLAN, H. Entre o cristal e a fumaça: ensaio sobre a organização do ser vivo. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1992.

BARELA, J.A.; BARELA, A.M. O contexto da aprendizagem motora: perspectivas teóricas e desafios metodológicos na abordagem dos sistemas dinâmicos. In: GUEDES, M.G.S. (Ed.). Aprendizagem motora: problemas e contextos. Lisboa: Edições FMH, 2001.

BARTLETT, F.C. Remembering. Cambridge: Cambridge University Press, 1932.

_____. The measurement of human skill. Occupational Psychology, London, v.22, p.31-38, 1948.

BASSO, L. Modularização e processo adaptativo na aquisição de habilidades motoras. 2002. Dissertação (Mestrado) - Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo.

BEEK, P.J.; MEIJER, O.G. On the nature of the motor-action controversy. In: MEIJER, O.G.; ROTH, K. (Eds.). Complex movement behaviour: the motor-action controversy. Amsterdam: North-Holland, 1988. p.157-185.

BEEK, P.J.; PEPPER, C.E.; STEGEMAN, D.F. Dynamical models of movement coordination. Human Movement Science, v.14, p.573-608, 1995.

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

BENDA, R.N.; TANI, G. Variabilidade e processo adaptativo na aquisição de habilidades motoras. In: TANI, G. (Ed.). Comportamento motor: aprendizagem e desenvolvimento. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2005.

BENEDETTI, C.; McCULLAGH, P. Post-knowledge of results delay: effects of interpolated activity on learning and performance. Research Quarterly for Exercise and Sport, Washington, v.58, p.375-381, 1987.

BENNETT, D.M.; SIMMONS, R.W. Effects of the precision of knowledge of results on acquisition and retention of a simple motor skill. Perceptual and Motor Skills, Missoula, v.58, p.785-786, 1984.

BERNSTEIN, I.H. Applied multivariate analysis. New York: Springer-Verlag, 1988.

BERNSTEIN, N. The coordination and regulation of movement. London: Pergamon Press, 1967.

BERTALANFFY, L.V. Teoria geral dos sistemas: aplicação à psicologia. In: ANOHIN, P.K.; BERTALANFFY, L.V.; RAPOPORT, A.; MACKENZIE, W.J.M.; THOMPSON, J.D. (Eds.). Teoria dos sistemas. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1976. p.1-20.

_____. Teoria geral dos sistemas. Petrópolis: Vozes, 1977.

BILODEAU, E.A. Speed of acquiring a simple motor response as a function of the systematic transformation of knowledge of results. American Journal of Psychology, Champaign, v.66, p.409-420, 1953.

BILODEAU, E.A.; BILODEAU, I.M. Variable frequency of knowledge of results and the learning of a simple skill. Journal of Experimental Psychology, Washington, v.55, p.379-383, 1958.

BILODEAU, E.A.; BILODEAU, I.M.; SCHUMSKY, D.A. Some effects of introducing and withdrawing knowledge of results early and late in practice. Journal of Experimental Psychology, Washington, v.58, p.142-144, 1959.

BILODEAU, I.M. Information feedback. In: BILODEAU, E.A. (Ed.). Acquisition of skill. pp.255-296, New York: Academic Press, 1966.

BRYAN, W.L.; HARTE, N. Studies in the physiology and psychology of telegraphic language. Psychological Review, Princeton, v.4, p.27-53, 1897.

BUEKERS, M.J.; MAGILL, R.A.; HALL, K.G. The effect of erroneous knowledge of results on skill acquisition when augmented information is redundant. The Quarterly Journal of Experimental Psychology, London, v.45A, p.105-117, 1992.

BUEKERS, M.J.; MAGILL, R.A.; SNEYERS, K.M. Resolving a conflict between sensory feedback and knowledge of results, while learning a motor skill. Journal of Motor Behavior, Washington, v.26, p.27-35, 1994.

CASTRO, I.J. Efeitos da frequência relativa do feedback extrínseco na aprendizagem de uma habilidade motora discreta simples. 1988. Dissertação (Mestrado) - Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo.

CHEN, D.D. Catching the learner doing right versus doing wrong: effects of bandwidth knowledge of results orientations and tolerance range sizes. Journal of Human Movement Studies, Edinburgh, v.42, p.141-154, 2002.

CHIVIAKOWSKY, S. Frequência absoluta e relativa do conhecimento de resultados na aprendizagem de uma habilidade motora em crianças. Kinesis, Santa Maria, v.14, p.39-56, 1994.

_____. Efeitos da frequência do conhecimento de resultados controlada pelo experimentador autocontrolada pelos sujeitos na aprendizagem de tarefas motoras com diferentes complexidades. 2000. Dissertação (Doutoramento) - Faculdade de Motricidade Humana, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

CHIVIAKOWSKY, S.; GODINHO, M. Aprendizagem de habilidades motoras em crianças: algumas diferenças na capacidade de processar informações. Boletim da Sociedade Portuguesa de Educação Física, Lisboa, v.15/16, p.39-47, 1997.

_____. Conhecimento de resultados na aprendizagem de tarefas motoras: efeitos da frequência versus complexidade da tarefa. Revista Paulista de Educação Física, São Paulo, v.18, n.1, p.81-99, 2004.

CHIVIAKOWSKY, S.; TANI, G. Efeitos da frequência de conhecimento de resultados na aprendizagem de uma habilidade motora em crianças. Revista Paulista de Educação Física, São Paulo, v.7, p.45-57, 1993.

_____. Efeitos da frequência de conhecimento de resultados na aprendizagem de diferentes programas motores generalizados. Revista Paulista de Educação Física, São Paulo, v.11, p.15-26, 1997.

CHIVIAKOWSKY, S.; WULF, G. Self-controlled feedback: does it enhance learning because performers get feedback when they need it? Research Quarterly for Exercise and Sport, Washington, v.73, p.408-415, 2002.

CHOSHI, G. Aprendizagem motora como um problema mal-definido. Revista Paulista de Educação Física, São Paulo, p. 16-23, 2000. suplemento 3.

COLLEY, A.M. Learning motor skills: integrating cognition and action. In: COLLEY, A.M.; BEECH, J.R. (Eds.) Cognition and action in skilled behaviour. Amsterdam: North-Holland, 1989.

COLLEY, A.M.; BEECH, J.R. Grounds for reconciliation: some preliminary thoughts on cognition and action. In: COLLEY, A.M.; BEECH, J.R. (Eds.). Cognition and action in skilled behaviour. Amsterdam: North-Holland, 1989. p.1-11.

CORRÊA, U.C. Estrutura de prática e processo adaptativo na aquisição de habilidades motoras. 2001. Tese (Doutorado) - Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo.

CORRÊA, U.C.; BENDA, R.N.; MEIRA JUNIOR, C.M.; TANI, G. Practice schedule and adaptive process in the acquisition of a manual force control task. Journal of Human Movement Studies, Edinburgh, v.44, n.2, p.121-138, 2003.

CROSSMAN, E.R.F.W. A theory of the acquisition of speed skill. Ergonomics, London, v.2, p.153-166, 1959.

DAWKINS, R. O relojoeiro cego: a teoria da evolução contra o desígnio divino. São Paulo: Companhia das Letras, 2001.

DUNHAM, P.; MUELLER, R. Effect of fading knowledge of results on acquisition, retention, and transfer of a simple motor task. Perceptual and Motor Skills, Missoula, v.77, p.1187-1192, 1993.

ELLIOTT, J.; CONNOLLY, K.J. A classification of manipulative hand movements. Developmental Medicine & Child Neurology, New York, v.26, p.283-296, 1984.

ELWELL, J.L.; GRINDLEY, G.S. The effect of knowledge of results on learning and performance. British Journal of Psychology, London, v.29, p.39-53, 1938.

EPSTEIN, I. Teoria da informação. São Paulo: Ática, 1986. (Série Princípios).

FITTS, P.M.; POSNER, M.I. Human Performance. Belmont: Brooks/Cole, 1967.

FORD, D.H.; LERNER, R.M. Developmental systems theory: an introduction approach. Newburypark: Sage, 1992.

FREUDENHEIM, A.M. Organização hierárquica de um programa de ação e a estabilidade de habilidades motoras. 1999. Tese (Doutorado) - Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo.

_____. Estabilidade e variabilidade na aquisição de habilidades motoras. In: TANI, G. (Ed.). Comportamento motor: aprendizagem e desenvolvimento, Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2005.

GABLE, C.D.; SHEA, C.H.; WRIGHT, D.L. Summary knowledge of results. Research Quarterly for Exercise and Sport, Washington, v.62, p.285-292, 1991.

GALLAGHER, I.D.; THOMAS, J.R. Effects of varying post-KR intervals upon children's motor performance. Journal of Motor Behavior, Washington, v.12, p.41-46, 1980.

GARFINKEL, A. The slime mold *Dictyostellium* as a model of self-organization in social systems. In: YATES, F.E. (Ed.). Self-organizing systems: the emergence of order. New York: Plenum Press, 1987.

GELL-MANN, M. O quark e o jaguar. Lisboa: Gradiva, 1997.

GENTILE, A.M. A working model of skill acquisition with application to teaching. Quest, Champaign, v.17, p.3-23, 1972.

GLEICK, J. Caos: a criação de uma nova ciência. Rio de Janeiro: Campus, 1989.

GODINHO, M. Informação de retorno e aprendizagem: influência da frequência relativa, da precisão e do tempo após conhecimento de resultados sobre o nível de aquisição, retenção e transfer de aprendizagem. 1992. Dissertação (Doutoramento) – Faculdade de Motricidade Humana, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

GOODWIN, J.E.; MEEUWSEN, H.J. Using bandwidth knowledge of results to alter relative frequencies during motor skill acquisition. Research Quarterly for Exercise and Sport, Washington, v.66, p.99-104, 1995.

GUADAGNOLI, M.A.; DORNIER, L.A.; TANDY, R.D. Optimal lenght for summary knowledge of results: the influence of task-related experience and complexity. Research Quarterly for Exercise and Sport, Washington, v.67, p.239-248, 1996.

GUADAGNOLI, M.A.; KOHL, R.M. Knowledge of results for motor learning: relationship between error estimation and knowledge of results frequency. Journal of Motor Behavior, Washington, v.33, n.2, p.217-224, 2001.

GUADAGNOLI, M.A.; LEE, T.D. Challenge point: a framework for conceptualizing the effects of various practice conditions in motor learning. Journal of Motor Behavior, Washington, v.36, p.212-224, 2004.

HENRY, F.M. Specificity vs. generality in learning motor skill. In: BROWN, R.C.; KENYON, G.S. (Eds.). Classical Studies on Physical Activity. New Jersey: Prentice-Hall, 1968.

HO, L.; SHEA, J.B. Effects of relative frequency of knowledge of results on retention of a motor skill. Perceptual and Motor Skills, Missoula, v.46, p.859-866, 1978.

HOLLAND, J.H. Adaptation in natural and artificial systems. Cambridge: The MIT Press, 1992.

_____. A ordem oculta. Lisboa: Gradiva, 1997.

HOX, J. Multilevel analysis: techniques and applications. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates, 2002.

HUME, D. Investigação acerca do entendimento humano. In: CIVITA, V. (coord.) Os pensadores/Textos escolhidos/Hume. São Paulo: Nova Cultural, 1999. Seções II-V, p.35-71. (do original Philosophical Essays concerning Human Understanding, 1748).

JANELLE, C.M.; BARBA, D.A.; FREHLICH, S.G.; TENNANT, L.K.; CAURAUGH, H. Maximizing performance feedback effectiveness through videotape replay and a self-controlled learning environment. Research Quarterly for Exercise and Sport, Washington, v.68, p.269-279, 1997.

JANELLE, C.M.; KIM, J.; SINGER, R.N. Subject-controlled performance feedback and learning of a closed motor skill. Perceptual and Motor Skills, Missoula, v.81, p.627-634, 1995.

JANTSCH, E. The self-organizing universe: scientific and human implications of an emerging paradigm of evolution. Oxford: Pergamon Press, 1980.

KAUFFMAN S.A. O que é vida? Schrodinger estava certo? In: MURPHY, M.P.; O'NEILL, L.A.J. (Eds.). O que é vida? 50 anos depois: especulações sobre o futuro da biologia. São Paulo: Editora da UNESP, 1997.

KEELE, S.W. Movement control in skilled motor performance. Psychological Bulletin, Lancaster, v.70, p.387-403, 1968.

KELSO, J.A.S. Dynamic patterns: the self-organization of brain and behavior. Cambridge: The MIT Press, 1995.

KELSO, J.A.S.; HAKEN, H. Novas leis antecipáveis no organismo: a sinérgica do cérebro e do comportamento. In: MURPHY, M.P.; O'NEILL, L.A.J. (Eds.). O que é vida? 50 anos depois: especulações sobre o futuro da biologia. São Paulo: Editora da UNESP, 1997.

KILDUSKI, N.C.; RICE, M.S. Quantitative and qualitative knowledge of results: effects on motor learning. The American Journal of Occupational Therapy, Bethesda, v.57, p.329-336, 2003.

KOESTLER, A. O fantasma da máquina. Rio de Janeiro: Zahar, 1969.

KOHL, R.M.; GUADAGNOLI, M.A. The scheduling of knowledge of results. Journal of Motor Behavior, Washington, v.28, p.233-240, 1996.

KOHL, R.M.; SHEA, C.H. Augmenting motor-responses with auditory information – guidance hypothesis implications. Human Performance, Mahwah, v.8, n.4 p.327-343, 1995.

KOWALSKI, C.J.; SCHNEIDERMAN, E.D. Tracking: concepts, methods and tools. International Journal of Anthropology, Firenze, v.7, n.4, p.33-50, 1992.

KUHN, T.S. A estrutura das revoluções científicas. São Paulo: Perspectiva, 2000. [dos originais The Structure of Scientific Revolutions, 1962 (1º ed.) e 1970 (2º ed.)]

LACEY, H. Valores e atividade científica. São Paulo: Discurso Editorial, 1998.

LAI, Q.; SHEA, C.H. The role of reduced frequency of knowledge of results during constant practice. Research Quarterly for Exercise and Sport, Washington, v.70, p.33-40, 1999.

LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics, Washington, v.37, p. 439-446, 1977.

LANGTON, C.G. Life at the edge of chaos. In: LANGTON, C.G.; TAYLOR, C.; FARMER, J.D.; RASMUSSEN, S. (Eds.). Artificial life II: SFI studies in the sciences of complexity V. Redwood City: Addison-Wesley, 1992.

LASZLO, H. Evolução: a grande síntese. Lisboa: Instituto Piaget, 1994.

LATASH, M. Control of human movement. Champaign: Human Kinetics, 1993.

LAVERY, J.J. Retention of a simple motor skill as a function of type of knowledge of results. Canadian Journal of Psychology, v.16, p. 300-311, 1962.

LEWIN, R. Complexidade: a vida no limite do caos. Rio de Janeiro: Rocco, 1994.

LITTLE, W.S.; McCULLAGH, P.M. Motivation orientation and modeled instruction strategies: the effects on form and accuracy. Journal of Sport and Exercise Psychology, Champaign, v.11, p.41-53, 1989.

LOCKE, E.A.; CARTLEDGE, N.; KOEPEL, J. Motivational effects of knowledge of results: a goalsetting phenomenon. Psychological Bulletin, Lancaster, v.70, p.474-485, 1968.

LOGAN, G.D. Toward an instance theory of automatization. Psychological Review, Princeton, v.95, n.4, p.492-527, 1988.

LORENZ, E. A essência do caos. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1996.

LORGE, I.; THORNDIKE, E.L. The influence of delay in the after effect of a connection. Journal of Experimental Psychology, Washington, v.18, p.186-194, 1935.

LUSTOSA DE OLIVEIRA, D. Frequência relativa de conhecimentos de resultados (CR) e complexidade da tarefa na aprendizagem de habilidades motoras. 2002. Dissertação (Mestrado) - Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo.

McNEVIN, N.; MAGILL, R.A.; BUEKERS, M.J. The effects of erroneous knowledge of results on transfer of anticipation timing. Research Quarterly for Exercise and Sport, Washington, v.64, p.324-329, 1994.

MAGILL, R.A. The processing of knowledge of results for a serial motor task. Journal of Motor Behavior, Washington, v.9, p.113-118, 1977.

_____. Activity during the post-knowledge of results interval can benefit motor skill learning. In: MEIJER, O.G.; ROTH, K. (Eds.). Complex motor behavior: the motor-action controversy. Amsterdam: North-Holland 1988. p.231-246.

_____. Aprendizagem motora: conceitos e aplicações. São Paulo: Edgard Blücher, 2000.

MAGILL, R.A.; DOWELL, M.N. Serial position effects in motor short-term memory. Journal of Motor Behavior, Washington, v.9, p.319-323, 1977.

MAGILL, R.A.; WOOD, C.A. Knowledge of results precision as a learning variable in motor skill acquisition. Research Quarterly for Exercise and Sport, Washington, v.57, p.170-173, 1986.

MAIA, J.A.R.; LEFEVRE, J.; CLAESSENS, A.; RENSON, R.; VANREUSEL, B.; BEUNEN, G. Tracking of physical fitness during adolescence: a panel study in boys. Medicine & Science in Sports & Exercise, Philadelphia, v.33, p.765-771, 2001.

MAIA, J.A.R.; LOPES, V.P.; SILVA, R.G.; SEABRA, A.; FERREIRA, J.V.; CARDOSO, M.V. Modelação hierárquica ou multinível: uma metodologia estatística e um instrumento útil de pensamento na investigação em Ciências do Desporto. Revista Portuguesa de Ciências do Desporto, Porto, v.3, n.1, p.92-107, 2003.

MAIA, J.A.R.; SILVA, R.G.; SEABRA, A.; LOPES, V.P. A importância do estudo do *tracking* (estabilidade e previsão) em delineamentos longitudinais: um estudo aplicado à epidemiologia da actividade física e à performance desportivo-motora. Revista Portuguesa de Ciências do Desporto, Porto, v.2, n.4, p.41-56, 2002.

MANOEL, E.J. Controles ótimo e adaptativo na aquisição de habilidades motoras seriadas. Revista Paulista de Educação Física, São Paulo, v.6, n.7, p.3-20, 1992.

_____. Adaptive control and variability in the development of skilled actions. 1993. (Unpublished Doctoral Dissertation) - University of Sheffield, Sheffield.

_____. Aprendizagem motora: o processo de aquisição de ações habilidosas. In: NETO, A.F.; GOELLNER, S.V.; BRACHT, V. (Orgs.). As ciências do esporte no Brasil. Campinas: Editora Autores Associados, 1995.

_____. Modularização, organização hierárquica e variabilidade na aquisição de habilidades motoras. 1998. Tese (Livre Docência) - Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo.

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

MANOEL, E.J.; CONNOLLY, K.J. Variability and the development of skilled actions. International Journal of Psychophysiology, Amsterdam, v.19, p.129-47, 1995.

_____. Variability and stability in the development of skilled actions. In: CONNOLLY, K.J.; FORSSBERG, H. (Eds.). Neurophysiology & Neuropsychology of motor development. Cambridge: University Press, 1997. p.286-318.

MARINOVIC, W. Efeito da modificação da tarefa no movimento de rebatida de forehand drive em mesa-tenistas habilidosos. 2003. Dissertação (Mestrado) - Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MARTENIUK, R.G. Information processes in movement learning: capacity and structural interference. Journal of Motor Behavior, Washington, v.5, p.249-259, 1986.

MARUYAMA, M. The second cybernetics: deviation-amplifying mutual causal processes. American Scientist, New Haven, v.51, p.164-179, 1963.

MATURANA, H.R.; VARELA, F.J. Autopoiesis and cognition: the realization of the living. Dordrecht: D. Reidel, 1980.

_____. A árvore do conhecimento: as bases biológicas do conhecimento humano. Campinas: Editorial Psy II, 1995.

MAXWELL, S.E.; DELANEY, H.D. Designing experiments and analyzing data: a model comparison perspective. Mahwah: Lawrence Erlbaum, 2000.

MAY, R.M. Biological populations with nonoverlapping generations: stable points, stable cycles, and chaos. Science, Washington, v.186, p.645-647, 1974.

MEIJER, O.G.; ROTH, K. (Eds.). Complex movement behaviour: the motor-action controversy. Amsterdam: North-Holland, 1988.

MEIRA JUNIOR, C.M.; TANI, G.; CHABU, I.E.; FERRAZ, M.E.; CARDOSO, J.R. Desenvolvimento tecnológico de um aparelho eletromagnético de posicionamento linear com dinamometria para o estudo em aprendizagem e controle motor. Revista Portuguesa de Ciências do Desporto, v.4, n.2, p.155-156, 2004. Suplemento.

MICHAELS, C.; BEEK, P. The state of ecological psychology. Ecological Psychology, v.7, p.259-278, 1995.

MORIN, E. Ciência com consciência. São Paulo: Publicações Europa-América, 1990a.

_____. Introdução ao pensamento complexo. Lisboa: Instituto Piaget, 1990b.

MOSS, S.; HOGG, J. The integration of manipulative movements in children with Down's syndrome and their non-handicapped peers. Human Movement Science, Amsterdam, v.6, p.67-99, 1987.

MOXLEY, S.E. Schema: the variability of practice hypothesis. Journal of Motor Behavior, Washington, v.11, n.1, p.65-70, 1979.

MULDER, T.; HULSTIJN, W. Delayed sensory feedback in the learning of a novel motor task. Psychological Research, New York, v.47, p.203-209, 1985.

NAPIER, J.R. The prehensile movements of the human hand. Journal of Bone and Joint Surgery, Boston, v.38B, p.902-912, 1956.

NEWELL, K.M. Change in movement and skill: learning, retention, and transfer. In: LATASH, M.L.; TURVEY, M.T. (Eds.). Dexterity and its development, Mahwah, Lawrence Erlbaum, 1996.

NEWELL, K.M.; CORCOS, D.M. (Eds.). Variability and motor control. Champaign: Human Kinetics, 1993.

NEWELL, K.M.; KENNEDY, J.A. Knowledge of results and children's motor learning. Developmental Psychology, Washington, v.14, p.531-536, 1978.

PACKARD, N.H. Adaptation toward the edge of chaos. In: KELSO, J.A.S.; MANDEL, A.J.; SHLESINGER, M.F. (Eds.). Dynamic patterns in complex systems. Singapore: World Scientific, 1988.

PAILLARD, J. Development and acquisition of motor skills: a challenging prospect for neuroscience. In: WADE, M.G.; WHITING, H.T.A. (Eds.). Motor Development in Children: aspects of coordination and control. Dordrecht: Martinus Nijhoff, 1986.

PARK, J.H.; SHEA, C.H.; WRIGHT, D.L. Reduced-frequency concurrent and terminal feedback: a test of the guidance hypothesis. Journal of Motor Behavior, Washington, v.32, n.3, p.287-296, 2000.

PAROLI, R. Efeito da estrutura de prática na aquisição de uma habilidade motora. 2004. Dissertação (Mestrado) - Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo.

PATTEE, H.H. (Ed.). Hierarchy theory: the challenge of complex systems. New York: George Braziller, 1973.

PATTEE, H.H. Instabilities and information in biological self-organization. In: YATES, F.E. (Ed.). Self-organizing systems: the emergence of order. New York: Plenum Press, 1987.

PEW, R.W. Toward a process-oriented theory of human skilled performance. Journal of Motor Behavior, Washington, v.2, p.8-24, 1970.

PRIGOGINE, I. O fim das certezas: tempo, caos e as leis da natureza. São Paulo: Editora da UNESP, 1996.

PRIGOGINE, I.; STENGERS, I. A nova aliança. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1984.

_____. Entre o tempo e a eternidade. Lisboa: Gradiva, 1998.

PÚBLIO, N.S.; TANI, G. Aprendizagem de habilidades motoras seriadas da ginástica olímpica. Revista Paulista de Educação Física, São Paulo, v.7, p.58-68, 1993.

RAUDENBUSH, S.W.; BRYK, A.S. Hierarchical linear models: applications and data analysis methods. 2nd ed. Thousand Oaks: Sage, 2002.

REEVE, T.G.; DORNIER, L.A.; WEEKS, D.J. Precision of knowledge of results: consideration of the accuracy requirements imposed by the task. Research Quarterly for Exercise and Sport, Washington, v.61, p.284-290, 1990.

ROGERS JUNIOR, C.A . Feedback precision and post-feedback interval duration. Journal of Experimental Psychology, Washington, v.102, p.604-608, 1974.

ROSE, D.J. A multilevel approach to the study of motor control and learning. Boston: Allyn & Bacon, 1997.

RUELLE, D. Acaso e caos. São Paulo: Editora da UNESP, 1993.

SAGE, G.H. Motor learning and control: a neuropsychological approach. Dubuque, Wm. C. Brown, 1984.

SALMONI, A.W., SCHMIDT, R.A.; WALTER, C.B. Knowledge of results and motor learning: a review and critical reappraisal. Psychological Bulletin, Lancaster, v.95, p.355-386, 1984.

SCARINGE, J.G.; CHEN, D.P.; ROSS, D. The effects of augmented sensory feedback precision on the acquisition and retention of a simulated chiropractic task. Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics, Saint Louis, v.25, p.345-41, 2002.

SCHMIDT, R.A. A schema theory of discrete motor skill learning. Psychological Review, Princeton, v.82, p.225-60, 1975.

_____. More on motor programs. In: KELSO, J.A.S. (Ed.). Human motor behavior: an introduction. Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 1982.

_____. Motor control and learning: a behavioral emphasis. 2nd ed. Champaign: Human Kinetics, 1988.

SCHMIDT, R.A. Motor learning and performance: from principles to practice. Champaign: Human Kinetics, 1991.

SCHMIDT, R.A.; LANGE, C.; YOUNG, D.E. Optimizing summary knowledge of results for skill learning. Human Movement Science, Amsterdam, v.9, p.325-348, 1990.

SCHMIDT, R.A.; WRISBERG, C.A. Aprendizagem e performance motora: uma abordagem da aprendizagem baseada no problema. Porto Alegre: ArtMed, 2001.

SCHMIDT, R.A.; YOUNG, D.E. Methodology for motor learning: a paradigm for kinematic feedback. Journal of Motor Behavior, Washington, v.23, p.13-24, 1991.

SCHNEIDER, E.D.; KAY, J.J. Ordem a partir da desordem: a termodinâmica da complexidade biológica. In: MURPHY, M.P.; O'NEILL, L.A.J. (Eds.). O que é vida? 50 anos depois: especulações sobre o futuro da biologia. São Paulo: Editora da UNESP, 1997.

SCHNEIDER, W.; SHIFFRIN, R.M. Controlled and automatic human information processing: I. detection, search and attention. Psychological Review, Princeton, v.84, n.1, p.1-66, 1977.

SCHÖNER, G. Recent developments and problems in human movement science and their conceptual implications. Ecological Psychology, Mahwah, v.7, p.291-314, 1996.

SCHUTZ, R.W.; GESSAROLI, M.E. The analysis of repeated measures designs involving multiple dependent variables. Research Quarterly for Exercise and Sport, Washington, v.58, n.2, p.132-149, 1987.

SHANNON, C.; WEAVER, W. The mathematical theory of communication. Urbana: University of Illinois Press, 1949.

_____. Teoria matemática da comunicação. Rio de Janeiro: Difel, 1975.

SHERWOOD, D.E. Effect of bandwidth knowledge of results on movement consistency. Perceptual and Motor Skills, Missoula, v.66, p.535-542, 1988.

SHUMWAY-COOK, A.; WOOLLACOTT, M.H. Motor control: theory and practical applications. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, 2001.

SIDAWAY, B.; MOORE, B.; SCHOENFELDER-ZOHDI, B. Summary and frequency of KR presentation effects on retention of a motor skill. Research Quarterly for Exercise and Sport, Washington, v.62, p.27-32, 1991.

SIEGEL, S.; CASTELLAN JUNIOR, N. John. Nonparametric statistics for the behavioral sciences. 2nd ed. New York: McGraw-Hill International Editions, 1988.

SMITH, P.J.; TAYLOR, S.J.; WITHERS, K. Applying bandwidth feedback scheduling to a golf shot. Research Quarterly for Exercise and Sport, Washington, v.68, p.215-221, 1997.

SOLMON, M.A.; LEE, A.M. Entry characteristics, practice variables, and cognition: student mediation of instruction. Journal of Teaching in Physical Education, Champaign, v.15, p.136-150, 1996.

STEVENS, J.P. Applied multivariate statistics for the social sciences. 4th ed. Mahwah: Lawrence Erlbaum, 2002.

SUMMERS, J.J. Motor programs. In: HOLDING, D.H. (Ed.). Human skills. Chichester: Wiley, 1989.

_____. Movement behaviour: a field in crisis?. In: SUMMERS, J.J. (Ed.). Approaches to the study of motor control and learning. Amsterdam: North-Holland, 1992.

SWINNEN, S.P. Interpolated activities during the knowledge of results delay and post- knowledge of results interval: effects of performance and learning. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, Washington, v.16, p.692-705, 1990.

_____. Information feedback for motor skill learning: a review. In: ZELAZNIK, H.N. (Ed.). Advances in motor learning and control. Champaign: Human Kinetics, 1996. p.37-66.

SWINNEN, S.P.; SCHMIDT, R.A.; NICHOLSON, D.E.; SHAPIRO, D.C. Information feedback for skill acquisition: instantaneous knowledge of results degrades learning. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, Washington, v.16, p.749-785, 1990.

TANI, G. Processo adaptativo na aprendizagem de uma habilidade perceptivo-motora. 1982. Tese (Doutorado) – Faculdade de Educação, Universidade de Hiroshima, Hiroshima (Resumo).

_____. Variabilidade de resposta e processo adaptativo em aprendizagem motora. 1989. Tese (Livre Docência) - Escola de Educação Física, Universidade de São Paulo, São Paulo.

_____. Contribuições da aprendizagem motora à educação física: uma análise crítica. Revista Paulista de Educação Física, São Paulo, v.6, p.65-72, 1992.

_____. Hierarchical organisation of human motor behavior. Sheffield: [s.n.], 1995. (Relatório final de atividades de Pós-Doutorado, University of Sheffield).

_____. Organização hierárquica de um programa de ação na aquisição de habilidades motoras gráficas em crianças. São Paulo: [s.n.], 1998. (Relatório Técnico Final - CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico)

_____. Criança e movimento: o conceito de prática na aquisição de habilidades motoras. In: KREBS, R.J.; COPETTI, F.; BELTRAME, T.S. (Orgs.). Perspectivas para o desenvolvimento infantil. Santa Maria: SIEC, 1999. p.121-138. (Livro do ano da Sociedade Internacional para estudos da criança).

_____. Processo adaptativo em aprendizagem motora: o papel da variabilidade. Revista Paulista de Educação Física, São Paulo, p.55-61, 2000a. Suplemento 3.

_____. Variabilidade e programação motora. In: AMADIO, A.C.; BARBANTI, V.J. (Orgs.). A biodinâmica do movimento humano e suas relações interdisciplinares. São Paulo: Estação Liberdade, 2000b.

_____. (Ed.). Comportamento motor: aprendizagem e desenvolvimento. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2005.

TANI, G.; BASTOS, F.C.; CASTRO, I.J.; JESUS, J.F.; SACAY, R.C.; PASSOS, S.C.E. Variabilidade de resposta e processo adaptativo em aprendizagem motora. Revista Paulista de Educação Física, São Paulo, v.6, p.16-25, 1992.

TANI, G.; CONNOLLY, K.J.; MANOEL, E.J. Sistema antecipatório e o processo adaptativo na aquisição de uma habilidade motora seriada de rastreamento. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SPORTS SCIENCES: SAÚDE, NUTRIÇÃO E PERFORMANCE, 20, São Caetano do Sul. Anais... São Caetano do Sul: CELAFISCS, 1996. p.91.

TANI, G.; CORRÊA, U.C.; BENDA, R.N.; MANOEL, E.J. O paradigma sistêmico e o estudo do comportamento motor humano. In: TANI, G. (Ed.). Comportamento motor: aprendizagem e desenvolvimento. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2005. p.45-59.

TANI, G.; MEIRA JUNIOR, C.M.; GOMES, F.R.F. Frequência, 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.

THELEN, E.; SMITH, L.B. A dynamic systems approach to the development of cognition and action. Cambridge: MIT Press/Bradford Books, 1994.

THOMAS, J.R.; NELSON, J.K. Introduction to research in health, physical education, recreation and dance. Champaign: Human Kinetics, 1996.

THORNDIKE, E.L. The law of effect. American Journal of Psychology, Champaign, 39, p.212-222, 1927.

_____. Human learning. New York: Century, 1931.

TROWBRIDGE, M.H.; CASON, H. An experimental study of Thorndike's theory of learning. Journal of General Psychology, Provincetown, v.7, p.245-258, 1932.

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

VAN INGEN SCHENAU, G.J.; VAN SOEST, A.J.; GABREELS, F.J.M.; HORSTINK, M.W.I.M. The control of multi-joint movement relies on detailed internal representations. Human Movement Science, Amsterdam, v.14, p.511-538, 1995.

VAN WIERINGEN, P.C.W. Kinds and levels of explanation: implications to the motor systems versus action systems controversy. In: MEIJER, O.G.; ROTH, K. (Eds.). Complex movement behaviour: the motor-action controversy. Amsterdam: North-Holland, 1988.

VINCENT, W.J. Statistics in kinesiology. 2nd ed. Champaign: Human Kinetics, 1999.

WADDINGTON, C.H. Instrumental para o pensamento. São Paulo: Edusp, 1979.

WALDROP, M.M. Complexity: the emerging science at the edge of order and chaos. London: Penguin Books, 1992.

WEEKS, D.L.; SHERWOOD, D.E. A comparison of knowledge of results scheduling methods for promoting motor skill acquisition and retention. Research Quarterly for Exercise and Sport, Washington, v.65, p.136-142, 1994.

WEISS, P.A. Living systems: determinism stratified. In: KOESTLER, A.; SMYTHIES, J.R. (Eds.). Beyond reductionism. London: Hutchinson, 1969.

WEISS, P.A. (Ed.). Hierarchically organized systems in theory and in practice. New York: Hafner, 1971.

WIENER, N. Cibernética e sociedade: o uso humano de seres humanos. São Paulo: Cultrix, 1984.

WINSTEIN, C.J.; POHL, P.S.; LEWTHWAITE, R. Effects of physical guidance and knowledge of results on motor learning: support for the guidance hypothesis. Research Quarterly for Exercise and Sport, Washington, v.65, p.316-323, 1994.

WINSTEIN, C.J.; SCHMIDT, R.A. Reduced frequency of knowledge of results enhances motor skill learning. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, Washington, v.16, p.677-691, 1990.

WOODWORTH, R.S. The accuracy of voluntary movement. Psychological Review, Princeton, v.3, 1899, Supplement 2.

WRIGHT, D.L.; SMITH-MUNYON, J.; SIDAWAY, B. How close is too close for precise knowledge of results? Research Quarterly for Exercise and Sport, Washington, v.68, p.172-176, 1997.

WRISBERG, C.A.; SCHMIDT, R.A. A note on motor learning without post-response knowledge of results. Journal of Motor Behavior, Washington, v.57, p.221-225, 1975.

WRISBERG, C.A.; WULF, G. Diminishing the effects of reduced frequency of knowledge of results on generalized motor program learning. Journal of Motor Behavior, Washington, v.29, p. 17-26, 1997.

WULF, G. Reducing knowledge of results can produce context effects in movements of the same class. Journal of Human Movement Studies, Edinburgh, v.22, p.71-84, 1992a.

_____. The learning of generalized motor programs and motor schemata: effects of KR frequency and contextual interference. Journal of Human Movement Studies, Edinburgh, v.23, p.53-76, 1992b.

WULF, G. LEE, T.D.; SCHMIDT, R.A. . Reducing knowledge of results about relative versus absolute timing: differential effects on learning. Journal of Motor Behavior, Washington, v.26, p.362-369, 1994.

WULF, G.; SCHMIDT, R.A. The learning of generalized motor programs: reducing the relative frequency of knowledge of results enhances memory. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, Washington, v.15, p.748-757, 1989.

_____. Feedback-induced variability and the learning of generalized motor programs. Journal of Motor Behavior, Washington, v.26, p.348-361, 1994.

_____. Average KR degrades parameter learning. Journal of Motor Behavior, Washington, v.28, p.371-381, 1996.

WULF, G.; SCHMIDT, R.A.; DEUBEL, H. Reduced feedback frequency enhances of knowledge of results enhances generalized motor programs learning but not parameterization learning. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, Washington, v.19, p.1134-1150, 1993.

WULF, G.; SHEA, J.B.; RICE, M. Type of KR and KR frequency effects on motor learning. Journal of Human Movement Studies, Edinburgh, v.30, p.1-18, 1995.

XIMÉNEZ, C.; MARTIN; R.S. Análisis de varianza con medidas repetidas. Madrid, Editorial La Muralla, 2000.

YAO, W.X. Average-KR schedule benefits generalized motor program learning. Perceptual and Motor Skills, Missoula, v.97, p.185-191, 2003.

YATES, E.F. (Ed.). Self-organizing systems: the emergence of order. New York: Plenum Press, 1987.

YOUNG, D.E.; SCHMIDT, R.A. Units of motor behavior: modifications with practice and feedback. In: JEANNEROD, M. (Ed.). Attention and Performance XIII. Hillsdale: Erlbaum, 1990. p.763-795.

_____. Augmented kinematic feedback for motor learning. Journal of Motor Behavior, Washington, v.24, p.261-273, 1992.

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

_____. The evolution of behavioral attractors with learning: nonequilibrium phase transitions. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, Washington, v.18, p.403-421, 1992b.

ANEXO I – Termo de consentimento livre e esclarecido.

ESCOLA DE EDUCAÇÃO FÍSICA E ESPORTE UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

I - DADOS DE IDENTIFICAÇÃO DO SUJEITO DA PESQUISA OU RESPONSÁVEL LEGAL

1. NOME DO INDIVÍDUO :.....
DOCUMENTO DE IDENTIDADE Nº : SEXO : .M F
DATA NASCIMENTO:/...../.....
ENDEREÇO Nº..... APTO.....
BAIRRO:.....CIDADE.....
CEP:.....TELEFONE: DDD(.....)

II - DADOS SOBRE A PESQUISA CIENTÍFICA

1. TÍTULO DO PROJETO DE PESQUISA: Conhecimento de Resultados no Processo Adaptativo em Aprendizagem Motora
2. PESQUISADORES RESPONSÁVEIS: Cássio de Miranda Meira Jr.
3. CARGO/FUNÇÃO: professor
4. AVALIAÇÃO DO RISCO DA PESQUISA: **RISCO MÍNIMO**
(probabilidade do indivíduo sofrer algum dano como consequência imediata ou tardia do estudo)
5. DURAÇÃO DA PESQUISA : ≈ 5 (cinco) meses; (≈30 minutos por sessão)

III - EXPLICAÇÕES DO PESQUISADOR AO INDIVÍDUO OU SEU REPRESENTANTE LEGAL SOBRE A PESQUISA, CONSIGNANDO:

1. A realização desta pesquisa justifica-se pela ausência de estudos com a variável “conhecimento de resultados (CR)” no processo adaptativo em aprendizagem motora. Esta variável diz respeito às informações sobre o resultado do movimento como um meio de auxiliar o desempenho no processo de aprendizagem. A investigação científica ora proposta visa manipular a frequência e a precisão de CR como fontes de certeza para o alcance das metas de força e posicionamento. Na primeira fase (estabilização), o objetivo será atingir a padronização funiconal da habilidade motora. O critério para troca de fase será o desempenho dentro de uma faixa de tolerância de erro em três tentativas consecutivas. Na fase de adaptação, o sujeito executará uma série de dez tentativas com perturbação ambiental proporcionada pelo aparelho.
2. A tarefa será proporcionada por um Aparelho Eletromagnético de Posicionamento Linear com Dinamometria. O cursor deverá ser posicionado a uma distância preestabelecida simultaneamente à aplicação de uma porcentagem de força durante o trajeto. O movimento, executado com a mão não dominante e com oclusão visual, será uma adução horizontal do ombro.
3. A participação no experimento causará desconforto mínimo, apenas associado à fadiga de execução em uma série de tentativas. As partes de manipulação do aparelho são totalmente isoladas não oferecendo risco à integridade física do sujeito.
4. O benefício de participação na pesquisa relaciona-se ao aperfeiçoamento em tarefas motoras de preensão manual com posicionamento, tais como, apreender e posicionar um copo, e trocar a marcha de um veículo.
5. Não há procedimentos alternativos que possam ser vantajosos para o indivíduo.

ANEXO I – Termo de consentimento livre e esclarecido (cont.).

IV - ESCLARECIMENTOS DADOS PELO PESQUISADOR SOBRE GARANTIAS DO SUJEITO DA PESQUISA:

1. Acesso, a qualquer tempo, às informações sobre procedimentos, riscos e benefícios relacionados à pesquisa, inclusive para dirimir eventuais dúvidas;
2. Liberdade de retirar seu consentimento a qualquer momento e de deixar de participar do estudo, sem que isto traga prejuízo à continuidade da assistência;
3. Salvaguarda da confidencialidade, sigilo e privacidade; e
4. Disponibilidade de assistência no HU ou HCFMUSP, por eventuais danos à saúde, decorrentes da pesquisa.

V - INFORMAÇÕES DE NOMES, ENDEREÇOS E TELEFONES DOS RESPONSÁVEIS PELO ACOMPANHAMENTO DA PESQUISA, PARA CONTATO EM CASO DE INTERCORRÊNCIAS CLÍNICAS E REAÇÕES ADVERSAS.

Cássio de M. Meira Jr. - Av. Corifeu de Azevedo Marques 5710/133 Jaguaré São Paulo/SP 05340-002 Telefones: 11 37144338 e 91599010

VI. OBSERVAÇÕES COMPLEMENTARES: Não há

VII - CONSENTIMENTO PÓS-ESCLARECIDO

Declaro que, após convenientemente esclarecido pelo pesquisador e ter entendido o que me foi explicado, consinto em participar do presente Projeto de Pesquisa

São Paulo, de de 2004.

assinatura do sujeito da pesquisa
ou responsável legal

assinatura do pesquisador
carimbo ou nome legível)

INSTRUÇÕES PARA PREENCHIMENTO (Resolução Conselho Nacional de Saúde 196, de 10 outubro de 1996)

1. Este termo conterá o registro das informações que o pesquisador fornecerá ao sujeito da pesquisa, em linguagem clara e acessível, evitando-se vocábulos técnicos não compatíveis com o grau de conhecimento do interlocutor.
2. A avaliação do grau de risco deve ser minuciosa, levando em conta qualquer possibilidade de intervenção e de dano à integridade física do sujeito da pesquisa.
3. O formulário poderá ser preenchido em letra de forma legível, datilografia ou meios eletrônicos.
4. Este termo deverá ser elaborado em duas vias, ficando uma via em poder do paciente ou seu representante legal e outra deverá ser juntada ao prontuário do paciente.
5. A via do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido submetida à análise do Comitê de Ética em Pesquisa - CEP deverá ser idêntica àquela que será fornecida ao sujeito da pesquisa.

ANEXO II - Ilustrações adicionais do Aparelho de Posicionamento Linear com Dinamometria.

ANEXO II – Ilustrações adicionais do Aparelho de Posicionamento Linear com Dinamometria (cont.).

FIGURA 2

FIGURA 3

ANEXO II – Ilustrações adicionais do Aparelho de Posicionamento Linear com Dinamometria (cont.).

FIGURA 4

FIGURA 5

ANEXO II – Ilustrações adicionais do Aparelho de Posicionamento Linear com Dinamometria (cont.).

FIGURA 6

FIGURA 7

ANEXO II – Ilustrações adicionais do Aparelho de Posicionamento Linear com Dinamometria (cont.).

FIGURA 8

ANEXO III – Detalhes do funcionamento do Aparelho de Posicionamento Linear com Dinamometria.

O Aparelho eletromagnético de posicionamento linear com dinamometria simula situações reais de controle e aprendizagem de força e posicionamento espacial na execução de movimentos com os braços (por exemplo, a aplicação ou defesa de um golpe de judô ou a troca de câmbio de um veículo). O aparelho mede força aplicada, deslocamento espacial, tempo, velocidade e aceleração de movimento através de um movimento com o braço num plano unidimensional envolvendo controle de força e alcance de uma meta espacial e temporal com ou sem uma resistência contrária.

O setor de aplicação da invenção é a área de Comportamento Motor, que, em linhas gerais, estuda os processos subjacentes à aprendizagem, controle, desenvolvimento e desempenho de habilidades motoras e os fatores que os influenciam.

Diversos são os aparatos utilizados para a medição do comportamento motor de indivíduos, fazendo uso dos mais diversos sistemas para obrigar o usuário a realizar movimentos com a medição da força, amplitude e outros parâmetros necessários para a avaliação do comportamento motor geral do indivíduo.

Na execução de movimentos de posicionamento já é conhecido o Aparelho Mecânico de Posicionamento Linear ("*Linear Movement Apparatus*"), da empresa americana Lafayette Instrument Company. Este aparelho de posicionamento linear é constituído por um trilho reto, dotado de um dispositivo de pega para que o usuário o movimente, permitindo apenas medir o deslocamento espacial do cursor. Contudo tal dispositivo não permite que se mensure a força aplicada no cursor e não oferece a possibilidade de uma resistência oposta ao movimento, permitindo analisar melhor a reação do usuário.

O objetivo da presente invenção é o de simular uma situação real de execução de movimentos (por exemplo, um golpe de judô ou a troca do câmbio automotivo). A invenção, desta forma, poderá ser utilizada na condução de pesquisas e ensino de comportamento motor, bem como em intervenções fisioterápicas de avaliação e treinamento.

A presente invenção possibilita a execução de uma tarefa motora com meta definida, cuja resposta é quantificável e transmissível, permitindo assim comparações intra e interindivíduos possuindo ainda manuseio amigável, facilidade de transporte, durabilidade, proporcionando uma tarefa motora motivadora e desafiadora e com um sistema eficiente de coleta de dados.

O invento está adaptado para captar medidas como força aplicada, deslocamento espacial, tempo, velocidade e aceleração de movimento através de um movimento com o braço num plano unidimensional envolvendo controle de força e alcance de uma meta espacial e temporal com ou sem uma resistência contrária. Essa tarefa simula uma situação real (porque envolve percepção, codificação e armazenamento de informação sinestésica) e permite a obtenção de medidas objetivas para que se possa inferir a ocorrência de mudança.

Em uma configuração preferencial da presente invenção, o aparelho eletromagnético de posicionamento linear com dinamometria é constituído por um aparelho elétrico cuja função é simular situações reais de controle e aprendizagem de força e posicionamento espacial, na execução de movimentos com os braços, com uma resistência contrária tanto ao movimento de translação do braço como ao movimento de preensão da mão sobre o manípulo.

O funcionamento da resistência à translação baseia-se em princípios eletromagnéticos, pois o aparelho age como um freio Foucault dinâmico, ou seja, a força frenante é induzida devido ao movimento relativo entre um campo magnético e massas eletricamente condutoras permeadas por este campo.

No aparelho objeto da invenção o campo magnético é solidário ao manípulo móvel e as massas condutoras são fixadas no corpo do aparelho, e assim o movimento do manípulo (movimento do braço) induz uma força frenante que age sobre as massas. Por ação e reação, as massas condutoras induzem uma força na fonte de campo (manípulo).

Um sistema analógico de aquisição de dados foi desenvolvido em conjunto, a fim de ser possível a mensuração tanto da força resistente à translação quanto à preensão. É possível ainda ajustar o nível de carga do equipamento, isto é, o nível de força resistente ao movimento do braço do usuário, com apenas um botão seletor de dez níveis. É possível também trabalhar sem carga no equipamento.

Está previsto também um sistema digital de aquisição dos dados, compreendendo a leitura das forças de preensão, translação, deslocamento espacial e velocidade. Com esse sistema, onde a partir dos mesmos transdutores, se tratam digitalmente os sinais, é possível o

ANEXO III – Detalhes do funcionamento do Aparelho de Posicionamento Linear com Dinamometria (cont.).

levantamento de curvas dinâmicas, registro, tabulação e tratamento estatístico dos dados, via computador, inclusive com emissão automática de relatórios para melhor documentação dos experimentos em comportamento motor.

A configuração básica da presente invenção é um equipamento composto por duas peças móveis entre si: o conjunto indutor (1B) e o conjunto induzido (1A). O conjunto indutor compreende a fonte de distribuição de campo magnético (2A; 2B) do equipamento e o conjunto induzido compreende um misto de massa sólida de ferro (1D; 1E) com barras condutoras de cobre (1C) incrustadas na massa de ferro. A fonte de campo nada mais é do que um conjunto de indutores (2A; 2B) com núcleo ferromagnético (2C) pelos quais circula uma corrente contínua.

Com base nos resultados teóricos foi elaborado um equipamento, com a configuração preferencial da presente invenção, de conformidade com os desenhos anexos não limitativos, nos quais:

- Figura 1 (Anexo II) é uma vista em corte do conjunto indutor (1B) e do conjunto induzido (1A) da presente invenção, bem como dos sistemas auxiliares de medição de forças de preensão (1G) e translação (1F).
- Figura 2 (Anexo II) é um detalhe do conjunto indutor mostrando os roletes que permitem seu movimento (2D).
- Figura 3 (Anexo II) é um detalhe do sistema de medição da força de translação, baseado em transdutor do tipo LVDT (3A), permitindo a medida em qualquer sentido de deslocamento.
- Figura 4 (Anexo II) é um detalhe do manípulo com o sistema de medição da força de preensão, também baseado em transdutor do tipo LVDT (4A) e com ajuste do manípulo (4G; 4H) de acordo com o usuário do aparelho.
- Figura 5 (Anexo II) é um diagrama esquemático do transdutor LVDT (*"Linear Variable Differential Transformer"*).
- Figura 6 (Anexo II) é um diagrama de um exemplo de circuito elétrico analógico para medições na presente invenção.
- Figura 7 (Anexo II) é um gráfico da força de translação em função da velocidade de deslocamento parametrizada pela força magnetomotriz (Aesp) da presente invenção, indicando sua curva característica.
- Figura 8 (Anexo II) é um esboço do aparelho completo em sua configuração final em perspectiva.

A configuração preferencial da presente invenção é um equipamento composto por duas peças móveis entre si: o conjunto indutor (1B) e o conjunto induzido (1A), dito conjunto indutor compreendendo a fonte de distribuição de campo magnético do equipamento e o conjunto induzido compreendendo um misto de massa sólida de ferro com barras condutoras de cobre incrustadas na massa de ferro. A fonte de campo nada mais é do que um conjunto de indutores com núcleo ferromagnético pelos quais circula uma corrente contínua.

Ao associarem-se as duas peças, o circuito magnético é fechado pelo entreferro existente entre elas.

As equações básicas que regem o fenômeno são:

$$e = l \oint (\vec{u} \otimes \vec{B}) \quad (1)$$

Onde:

"e": tensão induzida;

"u": velocidade relativa entre o elemento condutor e o campo B;

"B": campo de indução magnética;

"l": comprimento do condutor que está efetivamente imerso no campo B.

No presente invento, os produtos vetoriais podem ser reduzidos a produtos escalares uma vez que os vetores velocidade, campo e comprimento são ortogonais entre si. A equação então se reduz a:

$$e = u \cdot B \cdot l \quad (2)$$

Em seguida determina-se a impedância de cada condutor. A resistência é obtida por:

$$r = \frac{\rho \cdot l}{s} \quad (3)$$

onde:

ANEXO III – Detalhes do funcionamento do Aparelho de Posicionamento Linear com Dinamometria (cont.).

" ρ " : resistividade do cobre

" l " : comprimento do condutor

" s " : área de secção do condutor

A reatância, x , decorre da indutância do condutor imerso na massa metálica, submetido à frequência resultante do movimento dos pólos magnéticos sobre o mesmo. Tem-se então:

$$\bar{z} = r + jx \quad (4)$$

Com o valor da impedância e o valor da tensão induzida, obtém-se a corrente complexa em cada condutor por: $\hat{i} = \frac{\hat{e}}{\bar{z}}$ (5)

Com a corrente estima-se a força em cada condutor por: $\vec{F} = i\vec{l} \otimes \vec{B}$ (6)

Como os vetores são todos ortogonais entre si: $F = i.l.B$ (7)

A força calculada é corrigida pelo passo polar e pelo conjunto total de pólos magnéticos, chegando a um resultado final para o presente invento de 18 Kgf (Fig. 7). O passo polar leva em consideração o número de condutores que estão efetivamente sob influência do campo magnético induzido em uma sapata polar (ou em um indutor). Neste caso, seis condutores compreendem um passo polar. O conjunto total de pólos multiplica a força calculada em um par de pólos, pelo total de pares pólos (no exemplo 4 pares de pólos).

O cálculo das bobinas dos indutores (2B) leva em consideração a hipótese de induzir uma distribuição de campo magnético adequado no entreferro. Um entreferro adequado é estipulado e a partir daí estima-se a relutância do circuito magnético formado pelo conjunto indutor, pelo conjunto induzido e pelo entreferro. Com o valor da relutância, chega-se ao valor da força magnetomotriz necessária para cada indutor. Assumindo uma corrente nominal em cada bobina, tem-se o número de espiras determinado. Pela densidade de corrente determina-se a bitola do fio para compor as bobinas indutoras de campo.

Com base no software FLUX 2D versão 7.6 foram realizadas simulações de efeitos eletromagnéticos por meio de um desenho de um perfil simplificado do equipamento sendo que o próprio software dispõe de uma ferramenta CAD para isso.

Desenhado o perfil, gerou-se uma malha de elementos finitos sobre o desenho. Quanto mais elementos mais fiéis são os resultados, entretanto maior é o tempo requerido para a resolução das equações diferenciais que regem os fenômenos eletromagnéticos e desta forma foi procurado um ponto de otimização.

Após a geração da malha, foi necessário atribuir características físicas dos materiais constituintes de cada parte do equipamento. O núcleo do indutor e o núcleo do induzido foram caracterizados como constituídos por aço predominantemente, assim como os condutores presentes no induzido foram caracterizados como constituídos predominantemente por cobre. Para o entreferro foram atribuídas as características do ar.

Definidos os materiais constituintes, atribuíram-se condições de contorno sobre as fronteiras da geometria do conjunto. Definiu-se fluxo magnético igual a zero nas fronteiras.

Um circuito elétrico auxiliar foi necessário para simular a alimentação das bobinas indutoras de campo de excitação que foram desenhadas e conectadas apropriadamente em série com uma fonte de corrente DC ajustável. As conexões apropriadas referem-se às direções dos fluxos induzidos nos indutores ao circular uma corrente por eles. A fonte de corrente DC ajustável é necessária a fim de se estabelecer um campo magnético ajustável nos indutores, no induzido e no entreferro existente entre ambos. A intensidade de campo magnético no entreferro influi diretamente na máxima força resistente à translação possível do indutor sobre o induzido. Assim, ajustando a corrente nos indutores de campo, ajusta-se a resistência do aparelho em relação à translação do indutor sobre o induzido.

Após a definição de todos os fatores, enfim pôde-se dar início à simulação em si. Dentre as análises possíveis, a escolhida foi à análise transiente magnética, já que nem a análise magnetostática nem a análise magnetodinâmica se adequaram ao caso. Na análise transiente magnética, dois parâmetros foram variados ao longo da simulação. Foram eles os níveis de corrente contínua de alimentação das bobinas indutoras de campo, e a velocidade de deslocamento relativa entre o indutor e o induzido.

ANEXO III – Detalhes do funcionamento do Aparelho de Posicionamento Linear com Dinamometria (cont.).

O dado de interesse na presente análise é a força resistente induzida pelo deslocamento do indutor sobre o induzido. Foi utilizado um intervalo de tempo de 1 segundo para cada simulação, ou seja, para cada combinação de uma corrente “ i ” com uma velocidade “ u ”, uma força “ F ” foi calculada. Os resultados relevantes pertencem ao regime permanente, o qual se estabeleceu após um intervalo de tempo de 0,8 s aproximadamente. Foi realizada uma única simulação com o conjunto indutor completo e por comparação com os resultados obtidos com o conjunto incompleto (simplificado), extrapolaram-se os demais resultados para o conjunto completo.

De posse dos resultados para o conjunto completo, uma tabela 1 e o gráfico da figura 7 foram montados. Eles exibem o comportamento do aparelho frente à variação dos parâmetros anteriormente citados: força magnetomotriz (nível de corrente contínua de alimentação das bobinas indutoras de campo) e velocidade de deslocamento relativa entre o indutor e o induzido. Constituem, portanto, as características externas do aparelho do ponto de vista eletromagnético. Resultados Finais da Simulação para o Módulo Completo

		Força Magnetomotriz Aesp			
		200	300	420	500
Velocidades m/s	0.00	0.00 N	0.00 N	0.00 N	0.00 N
	0.05	12.76 N	26.96 N	44.20 N	52.06 N
	0.10	22.74 N	48.64 N	81.64 N	97.60 N
	0.15	29.22 N	61.64 N	107.20 N	133.02 N
	0.20	32.40 N	69.94 N	123.40 N	157.08 N
	0.25	32.56 N	70.92 N	127.70 N	166.36 N
	0.30	30.92 N	68.04 N	125.20 N	165.94 N

Tabela 1

Projetou-se um circuito elétrico simples a fim de alimentar as bobinas indutoras com corrente contínua ajustável. Um transformador com onze derivações foi projetado e construído para esse fim. Uma chave seletora de onze posições foi conectada a este transformador, sendo que o nível de corrente contínua de alimentação das bobinas indutoras de campo varia de 0% até 100% da corrente máxima possível, em passos de 10%. Nos terminais de saída desta chave conectou-se uma ponte retificadora. Apesar da corrente instantânea ser variável no tempo (senóide retificada), apenas o valor médio desta onda é relevante no comportamento do aparelho. Assim sendo, os terminais do retificador foram conectados diretamente às bobinas do conjunto indutor.

O conjunto sensor das forças tanto de prensão como de translação é um transdutor eletromecânico do tipo “*Linear Variable Differential Transformer*” – LVDT (Fig.5). Nos dois sensores, tanto o referente à força de translação (Fig. 3) como o referente à força de prensão (Fig. 4), o princípio de funcionamento é o mesmo. Cada conjunto sensor é formado por um LVDT, uma mola calibrada, um eixo coaxial a ambos e um circuito elétrico acoplado a um voltímetro calibrado (Fig. 6).

O LVDT é basicamente um transformador de acoplamento variável. Possui um enrolamento primário e dois secundários. Estes secundários são conectados de maneira que os enrolamentos tenham sentidos opostos e, portanto suas tensões induzidas se subtraíam. Variando-se o acoplamento magnético entre o primário e os secundários, varia-se a tensão induzida entre os secundários. Quanto maior o acoplamento magnético entre o primário e um secundário, maior a tensão induzida neste secundário. O acoplamento é possibilitado pelo núcleo ferromagnético móvel, que se desloca dentro das bobinas (fig. 5).

Ajustou-se o acoplamento magnético entre primário e os dois secundários de maneira que as tensões induzidas em cada secundário se igulassem em módulo e se cancelassem pela defasagem de 180°. Assim, a menos de uma perturbação externa, a leitura do voltímetro sobre o secundário total é zero Volt. Qualquer perturbação no acoplamento magnético entre os enrolamentos induz uma tensão mensurável nos terminais do secundário total do LVDT. Essa perturbação é gerada pela ação ou da força resistente à translação ou da força de prensão. Ao aplicar uma força no aparelho, uma mola é defletida proporcionalmente a essa força atuante.

A mola e o LVDT são montados de modo que a força ativa que age sobre a mola induza uma tensão no secundário do LVDT. Isso é possível, pois o núcleo ferromagnético do LVDT e o

ANEXO III – Detalhes do funcionamento do Aparelho de Posicionamento Linear com Dinamometria (cont.).

vínculo da mola estão conectados mecanicamente. Em outras palavras, a tensão medida pelo LVDT é proporcional ao deslocamento do núcleo de sua posição de equilíbrio. Sendo a força na mola proporcional ao deslocamento, é possível estabelecer uma relação linear entre esse esforço aplicado e a tensão induzida no LVDT.

Um circuito de memória também foi projetado (Fig. 6), possibilitando ao usuário optar entre leituras instantâneas ou leituras de valores máximos atingidos. A memória nada mais é do que um capacitor escolhido adequadamente. O voltímetro consiste em um microamperímetro em série com resistências limitadoras de corrente, com fundo de escala de 100 μA e resistência interna em torno de 3 $\text{k}\Omega$.

Ambos LVDT's são alimentados por um segundo transformador aplicado nos primários dos transdutores. O sinal do secundário, proporcional à força resistente, passa por uma ponte retificadora e é então aplicado ou no circuito de memória ou diretamente no voltímetro, dependendo da escolha do tipo de leitura.

Todo o conjunto das partes elétricas foi montado dentro de uma pequena caixa, com um painel de instrumentos composto por chave de controle e "led" indicador da situação do equipamento, dois mostradores analógicos, um para mensuração da força resistente à translação e o outro para mensuração da força resistente à preensão; duas chaves de seleção para leituras instantâneas ou de memórias (uma para cada mostrador); dois botões de zeragem (um para cada mostrador) para zerar as medidas de memória; além do cabo de força e de dois cabos para conexão com a máquina, cujas funções são alimentar o conjunto indutor, alimentar os primários dos LVDT's, e extrair os sinais dos secundários dos LVDT's.

O equipamento é composto pelas seguintes partes básicas: a) Conjunto induzido (1A); b) Conjunto indutor (1B); c) Manípulo (1G); Sistema de medição de força de translação (1F).

O conjunto induzido (1A) compreende uma massa sólida de material ferromagnético (1D; 1E) na qual duas grades vazadas de cobre (1C) foram fixadas em cada lado. As malhas cumprem o papel dos condutores de cobre sendo que por razões práticas e econômicas optou-se pelas grades vazadas, sendo as mesmas fixadas por parafusos no bloco central de aço. Os condutores da grade circundam projeções de material ferromagnético (1E) solidárias ao núcleo central (1D), formando um padrão de "dentes e ranhuras" longitudinal.

No conjunto induzido (1A) situam-se também os apoios do aparelho (1I) que garantem estabilidade e sustentação ao conjunto. Além disso, uma cobertura por perfis de alumínio (1H) garante proteção, tanto ao aparelho quanto ao usuário, contra acidentes. Na lateral desta cobertura externa situam-se dois conectores necessários aos cabos que provém do painel de instrumentos. Estes conectores estão ligados a um cabo chicote que tem como função levar energia ao conjunto indutor (1B) e aos conjuntos sensores (1G; 1F), além de extrair os sinais dos mesmos. Na parte superior da capa, fixou-se também uma régua graduada (1J) para mensuração espacial da posição do manípulo.

O conjunto indutor (1B) compreende quatro pares de pólos magnéticos, induzidos pela circulação de corrente contínua em oito bobinas (2B) conectadas apropriadamente. Essa conexão leva em conta o sentido do campo induzido, dada uma corrente circulante. O conjunto indutor possui simetria, sendo que existe um passo polar entre pólos vizinhos de um mesmo lado do conjunto. Em lados opostos, os pólos situados sobre o mesmo eixo direto possuem a mesma polaridade magnética. Cada pólo possui um perfil de pólo saliente (2A), parecido com os existentes em máquinas elétricas rotativas.

O conjunto indutor (Fig. 2) é composto por quatro partes desmontáveis, constituídas por material ferromagnético predominantemente (aço). Nas laterais (2C) foram fixadas as bobinas indutoras (2B). Na parte superior e na parte inferior do conjunto foram fixados os conjuntos de rolamentos (2D). O sistema de deslizamento do indutor é constituído de rolamentos simples (2D) cujos eixos são acoplados no conjunto suporte do indutor (2C). Os rolamentos (2D) rodam diretamente sobre a superfície de um trecho plano e liso estendido do próprio conjunto induzido (1D). Desta maneira, qualquer força eletromagnética que tenha origem em uma possível excentricidade entre conjunto indutor (1B) e conjunto induzido (1A) é aplicada diretamente sobre os rolamentos (2D) e o conjunto permanece estável. O suporte do indutor (2C) foi desenhado de modo que é possível ajustar o entreferro entre o conjunto indutor e o conjunto induzido caso estes fiquem muito distantes ou muito próximos entre si. Esse ajuste é feito com a adição de calços apropriados no suporte indutor.

ANEXO III – Detalhes do funcionamento do Aparelho de Posicionamento Linear com Dinamometria (cont.).

Sobre o conjunto indutor situa-se também o conjunto sensor da força resistente à translação (1F) e o manípulo de preensão (1G). Na lateral do conjunto indutor situa-se também um conector que liga os fios do cabo chicote aos respectivos terminais de alimentação das bobinas indutoras e dos enrolamentos primários e secundários dos LVDT.

O conjunto de medição da força de translação (Fig. 3) é constituído de uma base (3H) onde se apóiam dois mancais de deslizamento (3F). Pelos mancais é sustentado o eixo (3G), que comunica o movimento ao LVDT (3A) através do eixo do núcleo móvel (3B). O eixo (3G) é restringido pelas molas calibradas (3E). As molas são montadas pré-carregadas, de modo que o sistema não apresente folgas dentro da faixa de excursão nominal. O corpo central (3C) permite a fixação do manípulo por meio do engate (3D).

O manípulo (Fig. 4) é constituído de um apoio para a mão do operador e um transdutor de força de preensão. O conjunto é composto por um apoio à palma da mão (4I) e um apoio móvel para os dedos (4H). Este apoio aos dedos (4H) é regulável por meio do parafuso de ajuste (4G), possibilitando diversos tamanhos de mãos utilizarem o aparelho (adultos e crianças). A resistência à preensão é proporcionada por duas molas calibradas (4B) em paralelo, as quais estão conectadas a uma placa móvel (4C). A placa móvel por sua vez é tracionada através do eixo do núcleo móvel (4D) rosqueado no eixo de tração (4E). O corpo do LVDT (4A) é fixado ao suporte do manípulo (4F). O conjunto do manípulo é fixado ao engate do medidor de força de translação (3D) por meio do receptáculo (4J). Embora a resistência à preensão não seja proporcionada por fenômenos eletromagnéticos, como na resistência à translação, o conjunto sensor da força de preensão introduz uma inovação tecnológica no dispositivo. As molas (4B) e o LVDT (4A) são protegidos por uma capa de material polimérico. O manípulo é facilmente conectado ao aparelho por um cabo e por uma conexão parafusada (4J). Os movimentos possíveis com a máquina são os mais diversos. O manípulo possui dois graus de liberdade para rotação (com alguns limites) e os conjuntos indutor e induzido proporcionam um grau de liberdade para translação (com limites), além do próprio movimento de preensão da mão sobre o manípulo.

Em operação o aparelho funciona da seguinte forma: O operador deve acionar o aparelho através do conjunto do manípulo (1G), melhor detalhado na Figura 4. Para tanto a mão do operador deve apoiar-se sobre o apoio (4I) com os dedos aplicados sobre o apoio móvel (4H). O ajuste do manípulo ao tamanho da mão do operador é efetuado por meio do acionamento do parafuso de ajuste (4G). Com o manípulo ajustado, o movimento de preensão da mão do operador é transmitido à placa móvel (4C) através do eixo de tração (4E) e do eixo do núcleo móvel (4D). O esforço aplicado é então transmitido às molas calibradas (4B), que apoiadas sobre o suporte do manípulo (4F) se defletem, permitindo que o LVDT (4A) detecte o movimento e possibilite a medida do esforço de preensão. Esse esforço é registrado no instrumento indicador próprio que existe no painel de controle.

Simultaneamente ou não ao esforço de preensão o operador pode realizar a tarefa de translação, movimentando com o braço o conjunto indutor (1B). Desse modo o operador estará realizando uma tarefa de posicionamento espacial, que pode ser medida pela escala graduada (1J) que existe sobre a cobertura de proteção (1H) do aparelho.

Durante a translação podem ser introduzidas perturbações ao movimento através do sistema eletromagnético composto do indutor (1B) e induzido (1A). Para tanto é ajustado no painel de controle um nível de corrente de excitação que será aplicada às bobinas (2B). Essa corrente cria uma distribuição de campo magnético nas sapatas polares do indutor (2A), de modo que ao ser deslocado o conjunto indutor ocorrerá a interação eletromagnética entre esse campo e a malha condutora do induzido (1C), conforme já descrito previamente. O conjunto indutor (1B) se desloca sobre o induzido apoiado nos roletes de guia (2D), praticamente sem atrito. Assim, o esforço resistente ao movimento de translação é praticamente apenas o imposto pela interação eletromagnética, cuja característica é visualizada nas curvas da Figura 7. Como se observa nessas curvas, o nível de perturbação ao movimento de translação é ajustado pelo nível de corrente de excitação selecionado no painel, sendo função da velocidade de deslocamento.

O esforço resistente à translação, ou perturbação ao movimento, é medido pelo conjunto de medição melhor detalhado na Figura 3. O esforço aplicado pelo operador ao manípulo é transmitido ao corpo central (3C) através do engate (3D) inserido dentro do receptáculo (4J). Esse corpo central (3C) é solidário ao eixo (3G) de modo a guiar e sustentar o

ANEXO III – Detalhes do funcionamento do Aparelho de Posicionamento Linear com Dinamometria (cont.).

conjunto do manípulo. O eixo (3G) é apoiado nos mancais de deslizamento (3F), com atrito desprezível, de modo que todo o esforço aplicado pelo operador ao manípulo é descarregado nas molas calibradas (3E). Esse esforço promove a deflexão das molas, e esse movimento é então transmitido ao LVDT (3A) através do eixo do núcleo móvel (3B). Como as molas (3E) se apóiam nos mancais de deslizamento (3F), e tanto estes quanto o corpo do LVDT (3A) são solidários à base (3H), sendo ainda esta última solidária ao conjunto indutor (1B), o esforço aplicado pelo operador é exatamente contrabalançado pela interação eletromagnética entre o conjunto indutor (1B) e o conjunto induzido (1A). Esse esforço, registrado no instrumento indicador próprio no painel de controle, é então uma medida fiel do esforço de perturbação introduzido na tarefa de translação promovida pelo operador.

O procedimento a ser executado pelo operador, como alcançar uma meta espacial de deslocamento, bem como os esforços que devem ser aplicados, tanto de apreensão como de translação (perturbação ao movimento) são definidos individualmente para cada grupo de experimentos. Os resultados de tais experimentos são então dados de entrada para o estudo do comportamento motor, possibilitados de forma inovadora pela presente invenção.

Tal como pode ser observado, o objeto do presente invento é de fácil construção, possuindo adicionalmente a vantagem de permitir a dinamometria completa acoplada ao sistema de posicionamento linear. A variação da resistência ao movimento é feita por meio da variação da carga eletromagnética, permitindo ajuste suave e gradual das perturbações introduzidas, constituindo-se em um aparelho inovador na área específica do estudo do comportamento motor humano.

As reivindicações para patenteamento do invento são:

1. Aparelho eletromagnético de posicionamento linear com dinamometria, caracterizado por compreender: a) um conjunto induzido (1A) compreendendo uma massa sólida de material ferromagnético (1D; 1E) com grades vazadas de cobre (1C) fixadas lateralmente, ditos condutores da grade circundando projeções de material ferromagnético (1E) solidárias ao núcleo central (1D), formando um padrão de “dentes e ranhuras” longitudinal; dito conjunto (1A) possuindo apoios (1I) e cobertura por perfis de alumínio (1H) dotada de régua graduada (1J), dito conjunto (1A) possuindo ainda conectores para energia e para entrada e saída de dados; b) um conjunto indutor (1B) compreendendo pares de pólos magnéticos, preferencialmente quatro, induzidos pela circulação de corrente contínua em bobinas (2B), preferencialmente oito, conectadas apropriadamente, dito conjunto indutor (1B) possuindo simetria, sendo que existe um passo polar entre pólos vizinhos de um mesmo lado do conjunto e, em lados opostos, os pólos situados sobre o mesmo eixo direto possuem a mesma polaridade magnética, cada pólo possuindo um perfil de pólo saliente (2A), dito conjunto indutor (1B) composto por quatro partes desmontáveis, constituídas predominantemente por material ferromagnético, possuindo em suas laterais (2C) bobinas indutoras (2B), e na parte superior e na parte inferior do conjunto indutor (1B) conjuntos de rolamentos (2D), dito indutor (1B) possuindo um conjunto sensor da força resistente à translação (1F) e um manípulo de apreensão (1G) com conectores em sua lateral para alimentação e apreensão de dados; c) um conjunto de medição de esforço de translação, constituído de uma base (3H) onde se apóiam dois mancais de deslizamento (3F) que sustentam um eixo (3G), que comunica o movimento ao LVDT (3A) através do eixo de um núcleo móvel (3B), dito eixo (3G) sendo restringido por molas calibradas (3E) e possuindo um corpo central (3C) que permite a fixação de manípulo por meio de engate (3D); d) um manípulo, composto por um apoio à palma da mão (4I) e um apoio móvel para os dedos (4H) regulável por meio de parafuso de ajuste (4G), possuindo duas molas calibradas (4B) em paralelo, as quais estão conectadas a uma placa móvel (4C) que é tracionada através do eixo do núcleo móvel (4D) rosqueado no eixo de tração (4E), dito manípulo possuindo o corpo do LVDT (4A) fixado ao suporte do manípulo (4F), sendo que o conjunto do manípulo é fixado ao engate do medidor de força de translação (3D) por meio do receptáculo (4J), ditas molas (4B) e o LVDT (4A) protegidos por capa de material polimérico.

2. Método de medição de posicionamento linear com dinamometria, caracterizado por ser efetuado com o equipamento da reivindicação 1 e consistir na captação de medidas como força aplicada, deslocamento espacial, tempo, velocidade e aceleração de movimento através de um movimento com o braço num plano unidimensional envolvendo controle de força e alcance de uma meta espacial e temporal com ou sem uma resistência contrária.

ANEXO IV – Principais resultados do erro constante – fase de estabilização.

Diagrama de extremos e quartis relativos às distribuições dos valores de erro constante na demanda de força da amostra total nas tentativas de prática.

Diagrama de extremos e quartis relativos às distribuições dos valores de erro constante na demanda de distância da amostra total nas tentativas de prática.

ANEXO IV – Principais resultados do erro constante – fase de estabilização (cont.).

Comportamento das médias dos erros constantes da demanda de força nas tentativas de cada grupo.

Comportamento das médias dos erros constantes da demanda de força nas tentativas (frequência).

ANEXO IV – Principais resultados do erro constante – fase de estabilização (cont.).

Comportamento das médias dos erros constantes da demanda de força nas tentativas (precisão).

Comportamento das médias dos erros constantes da demanda de distância nas tentativas de cada grupo.

ANEXO IV – Principais resultados do erro constante – fase de estabilização (cont.).

Comportamento das médias dos erros constantes da demanda de distância nas tentativas (frequência).

Comportamento das médias dos erros constantes da demanda de distância nas tentativas (precisão).

ANEXO V – Principais resultados do erro constante – fase de adaptação.

Diagrama de extremos e quartis relativos às distribuições dos valores de erro constante na demanda de força da amostra total nas tentativas de prática.

Diagrama de extremos e quartis relativos às distribuições dos valores de erro constante na demanda de distância da amostra total nas tentativas de prática.

ANEXO V – Principais resultados do erro constante – fase de adaptação (cont.).

Comportamento das médias dos erros constantes da demanda de força nas tentativas de cada grupo.

Comportamento das médias dos erros constantes da demanda de força nas tentativas (frequência).

ANEXO V – Principais resultados do erro constante – fase de adaptação (cont.).

Comportamento das médias dos erros constantes da demanda de força nas tentativas (precisão).

Comportamento das médias dos erros constantes da demanda de distância nas tentativas de cada grupo.

ANEXO V – Principais resultados do erro constante – fase de adaptação (cont.).

Comportamento das médias dos erros constantes da demanda de distância nas tentativas (frequência).

Comportamento das médias dos erros constantes da demanda de distância nas tentativas (precisão).

ANEXO V – Principais resultados do erro constante – fase de adaptação (cont.).

Parâmetros dos modelos descritivos do desempenho na demanda de força.

ERRO ABSOLUTO (FORÇA)	M0 (NULO)	M1 (LINEAR)
EFEITOS FIXOS		
Intercepto	5,86±0,22	5,82±0,30
Função Linear	-	0,01±0,04
Função Quadrática	-	-
Função Cúbica	-	-
EFEITOS ALEATÓRIOS		
Variância Residual	16,36±0,57	14,27±0,51
Variância Intercepto	4,69±0,75	7,22±1,39
Variância F. Linear	-	0,10±0,02
Variância F. Quadrática	-	-
Variância F. Cúbica	-	-
Correlação Intracluster	0,22	-
Correlações Funções	-	-0,62 (I/L)
Log Likelihood Ratio	-5129,41	-5079,55
Deviance	10258,82	10159,10
Número de Iterações	12	13
Número de Parâmetros	3	5

ANEXO V – Principais resultados do erro constante – fase de adaptação (cont.).

Parâmetros dos modelos descritivos do desempenho na demanda de distância.

ERRO ABSOLUTO (DISTÂNCIA)	M0 (NULO)	M1 (LINEAR)
EFEITOS FIXOS		
Intercepto	2,93±0,11	2,69±0,13
Função Linear	-	0,04±0,02
Função Quadrática	-	-
Função Cúbica	-	-
EFEITOS ALEATÓRIOS		
Variância Residual	3,19±0,11	2,71±0,10
Variância Intercepto	1,30±0,20	1,36±0,26
Variância F. Linear	-	0,02±0,01
Variância F. Quadrática	-	-
Variância F. Cúbica	-	-
Correlação Intracluster	0,29	-
Correlações Funções	-	-0,42 (I/L)
Log Likelihood Ratio	-3637,37	3571,14
Deviance	7274,74	7142,28
Número de Iterações	12	13
Número de Parâmetros	3	5

ANEXO V – Principais resultados do erro constante – fase de adaptação (cont.).

Comparações pareadas entre grupos na demanda de força, considerando os valores de K totais.

Par de grupos	Ks	χ^2	p
G1/G2	0,24; 0,25	0,15	0,700
G1/G3*	0,24; 0,18	7,69	0,005
G1/G4*	0,24; 0,28	4,39	0,036
G1/G5	0,24; 0,25	0,23	0,630
G1/G6*	0,24; 0,28	4,94	0,026
G2/G3*	0,25; 0,18	10,05	0,001
G2/G4	0,25; 0,28	2,96	0,080
G2/G5	0,25; 0,25	0,009	0,930
G2/G6	0,25; 0,28	3,42	0,064
G3/G4*	0,18; 0,28	23,98	0,0001
G3/G5*	0,18; 0,25	10,61	0,001
G3/G6*	0,18; 0,28	25,38	0,0001
G4/G5	0,28; 0,25	2,62	0,110
G4/G6	0,28; 0,28	0,01	0,900
G5/G6	0,25; 0,28	3,04	0,081

* diferença na estabilidade entre os dois grupos

ANEXO V – Principais resultados do erro constante – fase de adaptação (cont.).

Comparações pareadas entre grupos na demanda de distância, considerando os valores de K totais.

Par de grupos	Ks	χ^2	p
G1/G2*	0,25; 0,12	31,55	0,0001
G1/G3*	0,25; 0,11	37,21	0,0001
G1/G4*	0,25; 0,13	28,74	0,0001
G1/G5*	0,25; 0,08	54,44	0,0001
G1/G6*	0,25; 0,06	63,98	0,0001
G2/G3	0,12; 0,11	0,33	0,560
G2/G4	0,12; 0,13	0,08	0,780
G2/G5	0,12; 0,08	2,85	0,090
G2/G6*	0,12; 0,06	6,03	0,010
G3/G4	0,11; 0,13	0,73	0,390
G3/G5	0,11; 0,08	1,16	0,280
G3/G6	0,11; 0,06	3,41	0,064
G4/G5*	0,13; 0,08	3,91	0,048
G4/G6*	0,13; 0,06	7,51	0,006
G5/G6	0,08; 0,06	0,68	0,41

* diferença na estabilidade entre os dois grupos

ANEXO VI – Principais resultados do erro variável – fase de estabilização.

Diagrama de extremos e quartis relativos às distribuições dos valores de erro variável na demanda de força da amostra total nas tentativas de prática.

Diagrama de extremos e quartis relativos às distribuições dos valores de erro variável na demanda de distância da amostra total nas tentativas de prática.

ANEXO VI – Principais resultados do erro variável – fase de estabilização (cont.).

Comportamento das médias dos erros variáveis da demanda de força nas tentativas de cada grupo.

Comportamento das médias dos erros variáveis da demanda de força nas tentativas (frequência).

ANEXO VI – Principais resultados do erro variável – fase de estabilização (cont.).

Comportamento das médias dos erros variáveis da demanda de força nas tentativas (precisão).

Comportamento das médias dos erros variáveis da demanda de distância nas tentativas de cada grupo.

ANEXO VI – Principais resultados do erro variável – fase de estabilização (cont.).

Comportamento das médias dos erros variáveis da demanda de distância nas tentativas (frequência).

Comportamento das médias dos erros variáveis da demanda de distância nas tentativas (precisão).

ANEXO VII – Principais resultados do erro variável – fase de adaptação.

Diagrama de extremos e quartis relativos às distribuições dos valores de erro variável na demanda de força da amostra total nas tentativas de prática.

Diagrama de extremos e quartis relativos às distribuições dos valores de erro variável na demanda de distância da amostra total nas tentativas de prática.

ANEXO VII – Principais resultados do erro variável – fase de adaptação (cont.).

Comportamento das médias dos erros variáveis da demanda de força nas tentativas de cada grupo.

Comportamento das médias dos erros variáveis da demanda de força nas tentativas (frequência).

ANEXO VII – Principais resultados do erro variável – fase de adaptação (cont.).

Comportamento das médias dos erros variáveis da demanda de força nas tentativas (precisão).

Comportamento das médias dos erros variáveis da demanda de distância nas tentativas de cada grupo.

ANEXO VII – Principais resultados do erro variável – fase de adaptação (cont.).

Comportamento das médias dos erros variáveis da demanda de distância nas tentativas (frequência).

Comportamento das médias dos erros variáveis da demanda de distância nas tentativas (precisão).

ANEXO VII – Principais resultados do erro variável – fase de adaptação (cont.).

Parâmetros dos modelos descritivos do desempenho na demanda de força.

ERRO VARIÁVEL (FORÇA)	M0 (NULO)	M1 (LINEAR)
EFEITOS FIXOS		
Intercepto	3,87±0,12	4,36±0,18
Velocidade (F. Linear)	-	-0,07±0,01
EFEITOS ALEATÓRIOS		
Variância Residual	8,24±0,29	7,98±0,29
Variância Intercepto	1,01±0,20	1,87±0,51
Variância Velocidade	-	0,008±0,005
Correlação <i>Intracluster</i>	0,11	-
Correlação Int./Vel.	-	-0,72
<i>Log Likelihood Ratio</i>	-4395,01	-4382,91
<i>Deviance</i>	8790,02	8765,82
Número de Iterações	12	13
Número de Parâmetros	3	5

ANEXO VII – Principais resultados do erro variável – fase de adaptação (cont.).

Parâmetros dos modelos descritivos do desempenho na demanda de distância.

ERRO VARIÁVEL (DISTÂNCIA)	M0 (NULO)	M1 (LINEAR)
EFEITOS FIXOS		
Intercepto	1,66±0,04	1,94±0,08
Velocidade (F. Linear)	-	-0,04±0,01
EFEITOS ALEATÓRIOS		
Variância Residual	1,46±0,05	1,38±0,05
Variância Intercepto	0,11±0,03	0,33±0,09
Variância Velocidade	-	0,002±0,001
Correlação <i>Intracluster</i>	0,07	-
Correlação Int./Vel.	-	-0,84
<i>Log Likelihood Ratio</i>	-2863,26	-2839,52
<i>Deviance</i>	5726,52	5679,04
Número de Iterações	12	13
Número de Parâmetros	3	5