

1 INTRODUÇÃO

Em modalidades como o futebol é comum os jogadores desempenharem suas habilidades em ambientes variados como, por exemplo, o gramado e o campo de areia. Mas, ao mudar do gramado para a areia eles têm de lidar com mudanças, como por exemplo, a velocidade com que a bola se desloca, a previsibilidade da trajetória da bola (por causa dos acúmulos de areia), a firmeza do solo e com o fato de se jogar descalço. Todas essas mudanças demandam ajustes por parte do jogador. Nesse sentido, verifica-se que indivíduos igualmente habilidosos em determinadas condições, freqüentemente possuem diferente capacidade de adaptação a essas modificações. Portanto, deve haver um ou mais fatores relacionados ao processo de aprendizagem motora influenciando a capacidade de adaptação de indivíduos habilidosos.

Sabe-se que o processo de aprendizagem motora envolve mudanças que se referem à melhora na capacidade de desempenhar a tarefa, aumento da fluência dos movimentos, diminuição nas demandas de atenção, entre outras. Mas também é observável que essas mudanças decorrentes da aprendizagem são relativamente permanentes, o que leva à seguinte questão: o que é adquirido para que essas mudanças permaneçam?

Ao longo de décadas tem-se entendido que com o processo de aprendizagem de habilidades motoras há formação de uma representação mental, denominada de programa motor. Pode-se entender programa motor como uma representação do movimento armazenada na memória. Esse programa já foi pensado como específico para cada movimento (KEELE, 1968), generalizado para uma classe de movimentos (SCHMIDT, 1975), distribuído ao longo do sistema nervoso (PEW, 1984; TURVEY, 1977) e organizado hierarquicamente (ROSENBAUM, 1985; ROSENBAUM, KENNY & DERR, 1983). A evolução do conceito ocorreu em virtude dos dados de pesquisa provenientes da testagem das proposições e também dos problemas teóricos apontados. Atualmente, um dos principais problemas para as propostas de programa motor é explicar o aumento de complexidade do programa adquirido.

Esse problema pode ser equacionado se entendermos que a aprendizagem motora se dá através de um processo adaptativo, no qual uma estrutura mental (como um programa motor), adquirida através da prática, é continuamente aplicada a

novas tarefas motoras. Nesse processo, quando a exigência da nova tarefa excede a capacidade da estrutura, essa estrutura torna-se instável, voltando a se estabilizar em um nível de complexidade maior.

Para que uma concepção de programa motor comporte essa visão do processo de aprendizagem motora é necessário, entre outras características, que a estabilidade do programa adquirido seja vista como provisória, conquanto, para que o programa atinja níveis de complexidade superiores, a instabilidade é fundamental (TANI, 1995, 2005b). MANOEL e CONNOLLY (1995, 1997) e TANI (1995, 2000, 2005b) têm proposto um programa de ação organizado hierarquicamente em dois níveis – macroscópico e microscópico – que atende a essa necessidade e soluciona os problemas levantados na literatura. Nesse programa, o nível macroscópico é responsável pela consistência das ações motoras habilidosas, ou seja, o padrão observável, ao passo que o nível microscópico dá origem à variabilidade inerente às ações motoras, ou seja, os pormenores. No entanto, considerando que todos os indivíduos aprendem habilidades motoras por meio de um processo adaptativo e que, mediante esse processo, adquirem uma representação mental de mesma natureza (um programa de ação organizado hierarquicamente) como explicar que indivíduos igualmente habilidosos em determinadas condições possam, freqüentemente, possuir diferente capacidade de adaptação?

Tem-se reportado um aumento crescente no número de estudos investigando a liberdade de escolha do aprendiz, não somente na área de Aprendizagem Motora (CHIVIAKOWSKY, 2000) como também em áreas relacionadas à Psicologia (WINNE, 2005), apontando-a como uma variável importante a ser estudada. Além disso, há evidências na literatura (TANI, 1982 – experimentos 1 e 2) apontando a liberdade na escolha da resposta como um fator capaz de influenciar a capacidade de adaptação de indivíduos a novas situações e tarefas motoras. Uma linha de explanação é que os programas motores adquiridos em diferentes regimes de liberdade de escolha se diferenciam no que se refere à flexibilidade, a fim de se adaptarem.

Considerando que a aquisição de programas de ação flexíveis é uma condição necessária para que se possa ter um bom desempenho motor em diferentes condições ou tarefas motoras, o objetivo da presente pesquisa foi investigar o efeito do grau de liberdade na escolha da resposta no processo adaptativo em aprendizagem motora.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O processo de aquisição de habilidades motoras

Ao vermos uma pessoa desempenhando uma habilidade motora complexa, como é o caso de tocar bateria, realizar uma série da ginástica artística, andar de bicicleta, entre outras, percebe-se que ela pode praticar essa habilidade por anos e ainda assim ser capaz de continuar progredindo, ou seja, de melhorar seu desempenho. Também é bastante claro que essas habilidades ganham complexidade. No baterista, pode-se verificar que após conseguir realizar consistentemente uma série de batidas, ele pode adicionar outras batidas ou pausas à série; no caso da ginasta, após estabilizar um salto carpado, utiliza essa habilidade para aprender um “duplo *twist* carpado”; ou a criança, que aprendeu a andar de bicicleta com rodinhas, pode agora aprender a andar sem usá-las. Em outras palavras, a aprendizagem motora é um processo contínuo por natureza, no qual, se observa um processo de desenvolvimento hierárquico (TANI, MANOEL, KOKUBUN & PROENÇA, 1988). O conceito de desenvolvimento hierárquico, nesse contexto, significa que a interação entre o aumento de diversificação e de complexidade do comportamento motor pode levar à formação de estruturas crescentemente complexas (TANI, 1989).

Teorias importantes da área de aprendizagem motora, como a de Circuito Fechado (ADAMS, 1971) e de Esquema (SCHMIDT, 1975) não explicam como uma habilidade adquirida pode ser utilizada para a aprendizagem de uma habilidade mais complexa, ou seja, não explicam como se dá, no processo de aquisição, o aumento da complexidade das habilidades.

Para ADAMS (1971), a aprendizagem ocorre mediante a formação de duas estruturas chamadas de traço de memória e traço perceptivo. Ao praticar a

habilidade o indivíduo recebe o *feedback* sensorial proveniente de seus movimentos e armazena essa informação, formando uma referência para avaliar a correção de seus movimentos: o traço perceptivo. A comparação entre o movimento desejado, contido no traço perceptivo, e o movimento realizado, captado pelos órgãos sensoriais, gera uma discrepância (*feedback* negativo) que é progressivamente eliminada. Por sua vez, o traço de memória é responsável pela produção do início movimento, cuja continuidade se dá sob controle do circuito fechado de *feedback*, portanto, envolvendo o traço perceptivo.

Já a Teoria de Esquema foi elaborada por SCHMIDT (1975) para explicar a aprendizagem de movimentos discretos. Assim como ADAMS (1971), SCHMIDT (1975) concebe a existência de dois estados de memória (ou esquemas), quais sejam, o esquema de lembrança e o esquema de reconhecimento. O esquema de reconhecimento armazena relações entre informações sensoriais, condições iniciais e o resultado no ambiente, sendo responsável pela avaliação do movimento. Já o esquema de lembrança armazena relações entre parâmetros (como força, amplitude de movimento e velocidade), resultados esperados no ambiente (distância a se arremessar um objeto, por exemplo) e condições iniciais, e é responsável por fornecer os parâmetros ao Programa Motor Generalizado (PMG).

Por sua vez o PMG é responsável pela execução dos movimentos dentro de uma mesma classe de movimentos. Assim, um mesmo PMG, através da aplicação de parâmetros provenientes do esquema de lembrança, é capaz de gerar inúmeras variações de movimento.

Ambas as teorias descritas (Circuito Fechado e Esquema), partem de uma visão finita do processo de aquisição de habilidades motoras. Mais especificamente, quando um indivíduo adquiriu um traço de memória suficientemente refinado (Teoria do Circuito Fechado) ou armazenou muitas relações no esquema, de forma que o mesmo possa fornecer parâmetros precisos (Teoria de Esquema), considera-se que a aprendizagem da habilidade motora chegou a um estágio final denominado genericamente de automatização.

Essa visão finita de aprendizagem está fundamentada no modelo clássico de três estágios de aprendizagem, proposto por FITTS e POSNER (1967). De acordo com o modelo, no primeiro estágio de aprendizagem, denominado de cognitivo, o iniciante procura fundamentalmente compreender a tarefa. Nesse estágio, ele dá

atenção a dicas, eventos e respostas que, posteriormente, não serão relevantes. Outra característica desse estágio diz respeito ao desempenho, que apresenta erros grosseiros e um padrão de movimento inconsistente, ou seja, os movimentos são desorganizados espacial e temporalmente. No estágio intermediário, ou associativo, as respostas aprendidas no estágio cognitivo estão disponíveis rapidamente. Os erros grosseiros do início da aprendizagem, como seqüências de ações erradas e respostas a estímulos errados, são gradualmente eliminados. Concomitantemente, há padronização espaço-temporal das ações motoras e, em conseqüência, melhora do desempenho.

O estágio final, ou autônomo, se caracteriza pela menor necessidade de processamento para a realização das habilidades, de forma que o indivíduo pode estar engajado em mais de uma atividade que envolve considerável demanda cognitiva. Os autores chegam a comparar a execução de habilidades muito praticadas a reflexos, no sentido de que em ambos os casos os movimentos parecem ocorrer sem muita verbalização ou mesmo inconscientemente. Nesse estágio o desempenho é consistente e o mecanismo de detecção e correção de erros está bem desenvolvido para a habilidade.

No entanto, as teorias e modelos em questão explicam somente parte do processo de aprendizagem, qual seja, a estabilização do desempenho. Essas teorias baseiam-se num referencial de equilíbrio, no qual, um sistema deve buscar alcançar uma determinada referência. Porém uma vez atingido o estado almejado, o sistema procura manter-se nesse estado, eliminando a instabilidade por meio de mecanismos de auto-regulação (FREUDENHEIM, 2005). Dessa forma, um sistema baseado em *feedback* negativo é capaz de manter a estrutura ou ordem, mas é incapaz de conduzir a uma nova estrutura ou ordem, visto que para isso, é necessária a quebra da estabilidade (TANI, 2005b). Essa assunção advém de proposições de meta-teorias da ciência, nas quais, a formação de novas estruturas em sistemas abertos pressupõe instabilidade. O ser humano é visto como um sistema aberto, uma vez que troca matéria/energia/informação com o ambiente, podendo sofrer influências das mudanças nesse meio. Isso implica a necessidade do ser humano ter capacidade de responder adequadamente a essas mudanças, ou seja, adaptabilidade (TANI, 2005b). O autor acrescenta que quando um sistema aberto é perturbado, existem basicamente duas possibilidades de resposta: (a) tentar

neutralizar a perturbação mantendo a estabilidade ou (b) fazer da perturbação uma fonte de ordem em direção a estados mais elevados de complexidade.

Essa concepção reforça o possível papel positivo de fatores como instabilidade, variabilidade, incerteza, entre outros relacionados à desordem, ressaltando a importância de se rever a visão pejorativa classicamente adotada para os mesmos (BENDA, 2001; NEWELL & CORCOS, 1993; TANI, 1995). Essa visão negativa advém de uma concepção de ciência em que o determinismo e a linearidade são os postulados fundamentais: a ciência clássica. Um exemplo de mudança nessa concepção é a taxonomia proposta por MANOEL e CONNOLLY (1995), na qual dois tipos de variabilidade são distinguidos: variabilidade de erro e variabilidade funcional. A variabilidade de erro seria inerente ao sistema e não poderia ser dominada, ao passo que a variabilidade funcional resultaria da redundância adquirida pelo sistema em virtude dos processos de aprendizagem e desenvolvimento. Nesse sentido, é possível ver a variabilidade (no caso a funcional) como uma expressão dos recursos disponíveis no sistema e não como algo que deve ser eliminado.

Assim, concebendo a aprendizagem motora como um processo contínuo e que sistemas abertos necessitam de quebra da estabilidade para formar novas estruturas, a aquisição de habilidades motoras melhor se explica como um processo cíclico e dinâmico de instabilidade-estabilidade-instabilidade, resultando em crescente complexidade (TANI, 1995, 2005a). Nesse sentido, CHOSHI^{1,2,3} (citado por TANI, 2005a), CHOSHI e TANI⁴ (citados por TANI, 2005a), TANI (1982, 1989, 1995) e TANI, BASTOS, CASTRO, JESUS, SACAY e PASSOS (1992) têm proposto um modelo de aprendizagem de habilidades motoras em que além da estabilização há a

¹ K. CHOSHI, The organization of perceptual-motor behaviour. In: H. HAGIWARA; K. CHOSHI (Eds.). The organization of perceptual-motor behaviour. Tokyo: Fumaido, 1978. (em japonês)

² _____. The significance of error response in adaptive systems. Sport Psychology Research, v.7, p.60-64, 1981. (em japonês)

³ _____. An analytical study of the adaptive process in motor learning. Memoirs of the Faculty of Integrated Arts and Sciences III, Hiroshima University, v.6, p.75-82, 1982. (em japonês)

⁴ K. CHOSHI; G. TANI, Stable systems and adaptative systems in motor learning. In: JAPANESE ASSOCIATION OF BIOMECHANICS. The Science of movement V. Tokyo: Kyorin, 1983, p.346-351.(em japonês)

adaptação, na qual habilidades já adquiridas podem ser organizadas em habilidades mais complexas.

Nessa concepção de aprendizagem motora, chamada de processo adaptativo, duas fases são fundamentais, quais sejam, a fase de estabilização e a fase de adaptação. Na fase de estabilização os componentes da ação, que inicialmente são desordenados, passam a ser organizados espacial e temporalmente, resultando numa melhora gradativa do desempenho. Quando ocorre essa padronização do movimento, infere-se que houve a formação de uma estrutura de representação mental – como será discutido mais detalhadamente adiante. A cada tentativa, o aprendiz armazena relações entre informações que lhe permitem comparar o desempenho atual com o referencial do desempenho desejado. Uma informação sobre a discrepância obtida dessa comparação, ou seja, o *feedback* negativo é utilizado para efetuar as correções necessárias na próxima tentativa. O processo de estabilização, portanto, ocorre mediante a eliminação progressiva dessa discrepância.

Na fase de adaptação, a habilidade adquirida é aplicada a uma nova tarefa motora, podendo resultar em uma adaptação paramétrica ou estrutural. Na adaptação paramétrica, a instabilidade gerada ao sistema, pela demanda da nova tarefa, é neutralizada pela flexibilidade da estrutura mental adquirida, ou seja, a própria estrutura adquirida com a prática e o *feedback* possui recursos que permitem lidar com a nova tarefa. Essa disponibilidade de recursos “extras”, que resulta na flexibilidade do comportamento adquirido, tem sido referida como redundância do sistema (CORRÊA, BENDA, MEIRA JÚNIOR & TANI, 2003; TANI, 1995).

Porém, mesmo que haja redundância, existem demandas que vão além da disponibilidade da estrutura adquirida e, portanto, de sua flexibilidade. Quando isso ocorre torna-se necessário que o indivíduo reorganize a própria estrutura. Esse tipo de adaptação (estrutural) pode promover um aumento de complexidade da estrutura, resultando numa mudança qualitativa do sistema. Há ainda um tipo de adaptação previsto no modelo hierárquico de aprendizagem motora proposto por CHOSHI⁵ (citado por TANI, 1995), denominado de auto-organizacional. No caso, haveria a

⁵ K. CHOSHI, Human motor learning as a self-organising systems. *Memoirs of the Faculty of Integrated Arts and Sciences IV, Hiroshima University*, v.4, p.11-21, 1986. (em japonês)

emergência de uma estrutura completamente nova desencadeada por perturbações ambientais, mas sem prescrição externa, baseada num processo de auto-organização.

Se o processo de aprendizagem motora consiste num processo adaptativo que, por sua vez, implica instabilidade, duas questões são fundamentais: quando e quanta instabilidade deve ser gerada para que a estrutura se adapte (TANI, 1995). Para responder a essas questões, TANI (1995) e UGRINOWITSCH (2003) desenvolveram alguns experimentos.

TANI (1995) conduziu três experimentos compreendendo duas fases: estabilização e adaptação. A tarefa utilizada nos experimentos consistiu no rastreamento de um padrão seriado de cinco estímulos luminosos e os participantes foram crianças de, em média, 10 anos de idade. Quatro medidas qualitativas foram utilizadas para a análise dos dados, quais sejam, respostas omissas, respostas erradas, respostas corretas e respostas antecipatórias.

No primeiro experimento, a fase de estabilização consistiu de 60 tentativas; o intervalo interestímulos (definido em 800 ms) e a ordem de apresentação dos estímulos foram mantidos constantes. A fase de adaptação foi composta de 40 tentativas e a modificação da tarefa foi dada pela alteração dos intervalos interestímulos (definidos em 700 ms) e pela troca de posição dos dois últimos estímulos da seqüência. Com base em uma análise descritiva, observou-se que os indivíduos que apresentavam respostas antecipatórias, no final da fase de estabilização, passaram a apresentar respostas corretas na fase de adaptação. Esse dado permitiu ao autor concluir que a adaptação deve ser precedida de estabilização, ou seja, a redundância alcançada na estabilização é fundamental para a adaptação. Além disso, foi observada uma organização hierárquica no processo de aquisição de habilidades motoras, ou seja, a adaptação à instabilidade foi realizada no nível de desempenho imediatamente inferior ao alcançado na fase anterior.

No entanto, não houve um critério de estabilização do desempenho, o que limita a interpretação dos resultados, já que não é possível determinar se a estabilidade do comportamento foi realmente alcançada.

Baseando-se nessa limitação, o segundo experimento realizado por TANI (1995) contou com dois grupos de sujeitos organizados em razão de um critério de estabilização do desempenho: o comportamento foi considerado estabilizado e os

indivíduos aptos a seguir para a adaptação quando fossem realizadas três séries completas de respostas corretas ou três séries completas de respostas antecipatórias, conforme o grupo ao qual pertencessem. Os resultados desse experimento corroboraram os do primeiro experimento.

Como visto, na fase de adaptação dos dois primeiros experimentos, os aspectos espaciais e temporais do movimento foram manipulados concomitantemente; no terceiro experimento, um dos grupos teve a seqüência dos estímulos mantida e o intervalo interestímulos alterado e, um outro, o intervalo interestímulos mantido e a ordem de apresentação dos estímulos alterada. O critério de estabilização do comportamento foi o mesmo para ambos os grupos, ou seja, responder uma série completa com respostas antecipatórias. Comparando descritivamente os resultados do segundo experimento – no qual foram feitas as modificações espaciais e temporais concomitantemente – com os resultados do terceiro experimento, o autor encontrou uma hierarquia quanto ao nível de instabilidade gerado na fase de adaptação. Mais especificamente, o nível de instabilidade foi maior quando ambos os aspectos (espacial e temporal) foram alterados simultaneamente e menor quando apenas o aspecto temporal foi alterado, tendo a modificação espacial provocado um nível intermediário.

UGRINOWITSCH (2003) abordou questões semelhantes às investigadas por TANI (1995), porém destacando a importância do momento em que a instabilidade era gerada, utilizando a idéia de níveis de estabilidade do desempenho proposta por FREUDENHEIM (1999). Mais especificamente, foram distinguidos três momentos do processo de estabilização do comportamento: pré-estabilização (prática aquém do necessário para a estabilização), estabilização (prática suficiente) e superestabilização (prática além do necessário). O equipamento utilizado consistiu de uma canaleta com *leds* (*light emitter diode*) – semelhante à do Bassin antecipatório – e cinco sensores dispostos sobre uma mesa de madeira. A tarefa praticada foi tocar os cinco sensores enquanto um estímulo luminoso percorria a canaleta, de forma que o último toque coincidissem com o acendimento do último *led* da canaleta. O estudo constou das fases de estabilização e adaptação, sendo que a magnitude da perturbação gerada na fase de adaptação foi manipulada mediante o tipo de modificação da tarefa. Baseando-se no estudo de TANI (1995) foram utilizadas modificações perceptiva, motora e perceptivo-motora. Assim, os

participantes foram divididos de forma que houvesse uma combinação entre nível de estabilização do comportamento e tipo de modificação da tarefa.

Os resultados desse estudo corroboraram os de TANI (1995). A modificação perceptiva gerou a menor magnitude de perturbação, seguida da motora e então, da perceptivo-motora. Além disso, UGRINOWITSCH (2003) verificou uma interação entre os níveis de estabilização e os tipos de perturbação. De acordo com o autor, na pré-estabilização é possível manter o nível de desempenho quando há uma modificação perceptiva. Com o comportamento estabilizado também é possível mantê-lo sendo a perturbação de fonte perceptiva e motora, mas não no caso de combinação das duas. Já na superestabilização, é possível manter o desempenho diante dos três níveis de perturbação. Assim, a adaptação não só pressupõe estabilização, como depende da relação entre o nível de estabilidade alcançado (quando) e a magnitude da perturbação gerada (quanto).

Mesmo havendo diferenças marcantes entre as teorias de aprendizagem motora apresentadas, elas concordam em que o processo de aprendizagem envolve mudança relacionada à capacidade de executar tarefas motoras. Por isso, surge uma questão fundamental: o que é adquirido a ponto de permitir a ocorrência dessa mudança de desempenho e a relativa permanência dessa mudança?

2.2 O que é adquirido?

Até a década de 1970, as pesquisas em aprendizagem motora tinham como foco o efeito de variáveis em tarefas motoras com significado em si mesmas, ou seja, o resultado obtido tinha importância para a aprendizagem de uma determinada habilidade motora em questão. Uma das principais características dessa Abordagem Orientada à Tarefa (AOT) era a utilização de tarefas motoras que envolviam complexos processos perceptivo-motores (ABERNETHY & SPARROW, 1992; TANI, 1992). No entanto, apesar da validade ecológica proporcionada pela utilização dessas tarefas, as suas próprias características dificultavam a atribuição de eventuais mudanças no desempenho a uma variável específica. A principal limitação das pesquisas realizadas nessa abordagem (AOT), portanto, diz respeito à restrição ao propósito de se elaborar uma teoria de aprendizagem motora (PEW, 1970). A partir da década de 1970 as pesquisas na AOT foram praticamente abandonadas,

dando lugar a uma outra abordagem, na qual os processos subjacentes a aquisição de habilidades motoras são enfatizados: a Abordagem Orientada ao Processo (AOP).

A mudança para a AOP teve como fator determinante os trabalhos de PEW (1970) e ADAMS (1971), os quais ressaltam a importância do esclarecimento dos processos e mecanismos internos envolvidos na aquisição de habilidades motoras. Em consequência, um conceito até então pouco explorado ganha destaque: programa motor.

Inicialmente, o programa motor foi definido como um conjunto de comandos motores estruturado antes do início da seqüência de movimentos, que possibilita toda a seqüência ser realizada sem influência do *feedback* periférico (KEELE, 1968). A proposta surgiu como uma alternativa à concepção de controle por circuito-fechado, na qual o *feedback* é considerado imprescindível para a execução de movimentos. Basicamente, três linhas de evidência têm sido apresentadas para a existência do programa motor (SUMMERS, 1989): (a) o movimento pode ocorrer na ausência de *feedback*; (b) para alguns movimentos, ainda que o *feedback* esteja presente, ele não é utilizado, e (c) o movimento pode ser estruturado antes do seu início e não durante sua execução.

Um estudo classicamente citado ao se tratar da capacidade do ser humano de realizar movimentos sem a necessidade de *feedback* sensorial é o publicado por LASHLEY (1917). Nesse estudo, um indivíduo com ferimento a bala, privado de *feedback* cinestésico, mostrou-se capaz de executar movimentos com uma relativa precisão, evidenciando que apesar de ser importante para o ajuste fino do movimento, o *feedback* não é imprescindível para sua realização. Outra linha de evidência para se tratar da execução de movimentos independentemente do *feedback* é a que mostra a existência de circuitos neurais no sistema nervoso central (SNC) e na coluna espinhal, que quando estimulados geram padrões de movimentos distinguíveis. Uma evidência de padrão de coordenação controlado por um gerador central de padrão (CPG) é encontrado no estudo de SHIK, SEVERIN e ORLOVSKY (1966). O experimento consistiu da aplicação de diferentes níveis de estimulação numa via eferente de um gato descerebrado. A estimulação gerou o padrão de andar quando um nível baixo foi aplicado e gerou o padrão de correr para níveis mais altos de estimulação. Esses dados sugerem que há um CPG responsável pelo controle da locomoção localizado na coluna espinhal.

A segunda linha de evidências diz respeito à impossibilidade de utilizar o *feedback*, ainda que ele esteja disponível durante a execução do movimento. Um exemplo é o fato de que em muitas habilidades motoras o intervalo entre movimentos sucessivos é inferior a 100 ms, ao passo que o tempo para reagir ao *feedback* cinestésico é maior (GLENCROSS, 1977). Isso implica que não há tempo suficiente para a utilização do *feedback* no controle dos movimentos seqüenciais envolvidos numa habilidade, como tocar piano, por exemplo.

Apesar de haver evidências de processamento de *feedback* por volta de 30 a 80 ms, esse dado não rejeita o conceito de programa motor (SUMMERS, 1989). Isso porque esse processamento ocorre num circuito localizado num nível inferior do sistema nervoso, por meio do qual é possível efetuar somente pequenas correções nos movimentos, garantindo que o programa original seja executado como planejado (SCHMIDT, 1982). Entretanto, erros grosseiros que resultam da seleção de um programa motor inapropriado não podem ser corrigidos por esse circuito, visto que esse tipo de correção exige a participação de centros elevados do sistema nervoso.

A terceira linha de evidências está relacionada à pré-programação das respostas. Nessa linha, pode-se entender que se uma resposta é estruturada (pré-programada) antes do seu início e o tempo para essa preparação pode ser medido, então, movimentos mais complexos devem necessitar de mais tempo para sua estruturação. Uma metodologia que permite investigar essa hipótese é a medida do tempo de reação para movimentos com diferentes níveis de complexidade, como realizado por HENRY e ROGERS (1960). No referido estudo, obteve-se evidência de que quanto mais complexa a seqüência de movimentos, maior o tempo de reação, o que corrobora a hipótese da pré-programação. Outro estudo que dá suporte a idéia de pré-programação é o de WADMAN, DENIER VAN DER GON, GEUZE e MOL⁶ (citado por SCHMIDT, 2003). Nesse estudo, os participantes realizaram movimentos rápidos de extensão do cotovelo, direcionados a um alvo. A partir de dados eletromiográficos dos músculos antagonista e antagonista, os autores observaram que o padrão dos impulsos nervosos foi mantido mesmo quando o membro utilizado foi bloqueado mecanicamente, antes do início do movimento. Esse resultado evidencia

⁶ W.J. WADMAN; J.J. DENIER VAN DER GON; R.H. GEUZE; C.R. MOL, Control of fast goal directed arm movements. *Journal of Human Movement Studies*, London, v.5, p.3-17, 1979.

que o padrão de ativação dos músculos estava armazenado previamente em uma estrutura cognitiva, não sendo alterado por mudanças na posição do membro efetor.

Apesar das evidências a favor da concepção de programa motor, a proposta inicial de KEELE (1968), de um programa motor específico para cada movimento, incorre em alguns problemas conceituais. TURVEY (1977) denomina constância da ação a capacidade do ser humano de atingir uma mesma meta por diferentes meios. Essa flexibilidade implica, no caso dos programas motores específicos, necessidade de um programa motor para cada variação de movimento. Além disso, se levarmos em conta as pequenas variações contidas nos detalhes do movimento (observados mediante análise cinemática, por exemplo) em virtude da variabilidade inerente ao sistema motor, seria necessário que o SNC tivesse uma enorme capacidade de armazenamento para dar conta de todas essas representações. Ainda que seja possível, em tese, que o SNC possua essa capacidade de armazenamento por causa da sua plasticidade, parece pouco provável e ineficiente em termos operacionais (TANI, 2005b).

Além do problema do armazenamento, derivado basicamente da flexibilidade e variabilidade do comportamento motor, há um outro problema relacionado aos programas motores específicos que se refere à capacidade do ser humano de executar movimentos nunca antes experimentados. É encontrado na literatura como problema da novidade (*novelty problem*), e consiste na idéia de que um movimento novo não possa ser executado com sucesso caso os programas motores sejam específicos, uma vez que o programa para a execução do movimento não existiria previamente.

2.3 Programa Motor Generalizado

Procurando solucionar os problemas de armazenamento e novidade, SCHMIDT (1975) propôs, no cerne da Teoria de Esquema, que os movimentos são controlados por um Programa Motor Generalizado (PMG). Mais especificamente, um PMG é uma representação abstrata do padrão motor de uma classe de movimentos como, por exemplo, chutar ou arremessar, sendo capaz de gerar variações desse padrão mediante a aplicação de parâmetros selecionados a partir de uma estrutura de memória denominada de esquema de lembrança. A consistência da ação motora

é garantida pela existência de aspectos invariantes representados no PMG, como *timing* relativo, força relativa e seqüenciamento. Características como o tempo total de movimento, força total e grupos musculares são tidos como parâmetros selecionados do esquema de lembrança, garantindo a flexibilidade das ações motoras, ou seja, o ajuste a diferentes demandas da tarefa.

No que diz respeito à invariância das medidas relativas – relacionadas à aspectos que permanecem invariantes e que, portanto, são armazenados no PMG – existem basicamente duas linhas de evidência. Uma delas consiste em verificar a invariância frente a uma variação que é característica ao comportamento motor humano e outra, em provocar propositalmente uma variação nas medidas absolutas (por exemplo, tempo total de movimento) e verificar se as medidas relativas se mantêm.

Um estudo que ilustra a primeira linha de evidências é o de SUMMERS (1975), no qual os participantes executaram uma seqüência de toques em que a proporção de tempo utilizada para cada segmento foi determinada pelo experimentador. Após a aprendizagem da tarefa foi pedido que os sujeitos realizassem a mesma seqüência de toques, todavia, desprezando a estrutura temporal aprendida anteriormente e procurando realizar a seqüência o mais rápido possível. Os resultados indicaram que, embora o tempo para a execução da tarefa toda tenha diminuído, o desempenho continuou sendo influenciado pelo padrão temporal aprendido na primeira parte do experimento. Outro estudo clássico com o mesmo propósito é o de TERZUOLO e VIVIANI (1980), do qual participaram quatro datilógrafos profissionais ao longo de três anos. Foram coletados os caracteres e o tempo em que cada um deles foi pressionado. Foi possível verificar que apesar de haver variação no tempo total para se reproduzir uma palavra, a proporção dos intervalos de tempo entre os toques sucessivos (*timing* relativo) se manteve constante.

Por ser capaz de gerar variações de movimento dentro de uma classe de movimentos, a concepção de PMG resolve o problema do armazenamento, uma vez que não há necessidade de um programa motor específico para cada uma dessas variações. Por sua vez, o esquema é capaz de gerar estimativas de valores de parâmetros adequados às demandas ambientais, o que possibilita que um indivíduo possa realizar movimentos que nunca foram realizados. Dessa forma, a existência de

um PMG, que recebe informações de um esquema de lembrança soluciona também o problema da novidade.

No entanto, apesar de superar os problemas de armazenamento e novidade que inviabilizam o conceito de programa motor específico e de ser capaz de explicar a consistência e a flexibilidade que são características do comportamento motor, a concepção de PMG e, conseqüentemente a Teoria de Esquema, possui algumas limitações em sua proposição. A questão, por exemplo, de quão ampla seria a classe de movimento “atendida” por um mesmo PMG foi um problema apresentado pelo próprio SCHMIDT (1975). Ainda, o autor não fornece explicações sobre a gênese do PMG (SUMMERS, 1989), o que limita a teoria a explicar apenas parte do fenômeno “aprendizagem motora”, qual seja, o refinamento do desempenho. Além disso, a teoria de esquema prevê que os esquemas podem ser aperfeiçoados, mas não o PMG (FREUDENHEIM, 1999). Os esquemas são aperfeiçoados com o acréscimo de informações que lhes permite gerar estimativas cada vez mais precisas dos parâmetros. No entanto, o PMG não possui a capacidade de se tornar mais complexo. Assim, o processo de aquisição, segundo essa visão, é explicado pelo aperfeiçoamento do esquema. Isso implica que as mudanças que ocorrem mediante o processo de aquisição sejam restritas a um mesmo PMG e, portanto, finitas.

Por fim, a concepção de um esquema de lembrança para fornecer os parâmetros e de um PMG que armazena os aspectos invariantes do movimento permite contemplar a característica do comportamento motor de possuir ao mesmo tempo flexibilidade e consistência. Entretanto, essa separação entre o PMG e o esquema de lembrança gera a necessidade de uma outra estrutura que selecione os parâmetros que serão adicionados ao PMG, levando a um problema de regressão infinita (TANI, 1995, 2000, 2005b).

2.4 Programa Motor Organizado Hierarquicamente

ROSENBAUM, KENNY e DERR (1983) propuseram que um programa motor é organizado hierarquicamente na forma de uma árvore transversal, ou seja, um elemento (nódulo) no ápice da hierarquia se ramifica formando conexões com outros nódulos que, por sua vez, ramificam-se e assim sucessivamente.

Essa estrutura em árvore transversal é composta de dois tipos de nódulos: (a)

de movimento, que resulta em atividade muscular quando ativado, e (b) de controle que, quando ativado, estimula outro nódulo de controle ou um nódulo de movimento. Assim, esta estrutura em árvore transversal tem uma organização hierárquica, visto que a informação trafega de um nódulo no ápice da árvore, passando por nódulos de controle, até um nódulo de movimento.

O propósito dessa proposição de programa motor em árvore transversal é explicar a decodificação da informação contida na memória, isto é códigos de um nível superior são sucessivamente traduzidos em códigos de nível mais baixo, até que esses códigos possam ser executados – nódulos de movimento.

ROSENBAUM, KENNY e DERR (1983) idealizaram um experimento para verificar se o controle de movimentos consiste em um processo hierárquico. Nesse experimento, os indivíduos realizaram seqüências pré-determinadas de oito toques com os dedos indicador e médio de ambas as mãos. O raciocínio foi o seguinte: supondo que o tempo para que a informação atravessasse um nódulo é finito e mensurável, então, o tempo para realizar uma resposta motora após uma predecessora deverá aumentar de acordo com o número de nódulos a serem atravessados, caso haja hierarquia. No entanto, se o processo for linear, não deverá ser encontrada diferença com relação à posição serial das respostas. Os resultados sustentaram a hipótese de que as seqüências que os indivíduos realizaram foram controladas através de um processo em árvore transversal, uma vez que o tempo entre as respostas (tempo de latência) variou de acordo com a posição serial.

Considerando que o desempenho está baseado no *timing* relativo – o mesmo se mantém em ações habilidosas ainda que haja mudanças nas condições em que os movimentos são realizados – ROSENBAUM (1985) vai um passo além e propõe uma teoria de programação motora denominada *scheduling theory*. De acordo com o autor, essa teoria está baseada em três pilares: (1) há listas abstratas de *timing* que guiam a produção de movimentos; (2) são formadas associações entre comandos de resposta e pulsos de *clock* e (3) a resposta motora se dá através dos pulsos de um ou mais *clocks*.

A idéia principal é que um programa motor constitui-se de uma lista de associações entre comandos e pulsos de um *clock*, sendo essa lista organizada hierarquicamente, uma vez que comandos e pulsos de *clocks* podem controlar outros comandos e pulsos de *clock*, bem como as associações entre eles. Programação

motora, nesse sentido, é o processo que determina quais comandos motores serão empregados e com quais pulsos de *clock* serão associados, ao passo que executar um programa motor é o processo de permitir que as respostas associadas aos pulsos de *clock* sejam disparadas quando eles ocorrem.

Segundo esse modelo, os erros de desempenho do experimento de ROSENBAUM, KENNY e DERR (1983) consistiram no desígnio incorreto de pulsos, o que fez com que as respostas ocorressem no tempo errado, já que quanto maior a similaridade entre os identificadores de pulsos de *clock* (*clock pulse identifiers*) para duas respostas, maior a possibilidade de confusão entre elas.

A proposta de ROSENBAUM (1985) avança no sentido de apresentar uma forma para a transmissão da informação pelo sistema nervoso, tendo como foco os substratos cognitivos para o movimento. O autor apresenta evidências dessa estrutura em relação a resultados relacionados à lembrança serial, invariâncias espaço-temporais e erros no desempenho seqüencial.

No entanto, há alguns problemas na concepção de programa motor organizado hierarquicamente proposta por ROSENBAUM (1985). Um deles diz respeito à própria estrutura hierárquica do programa. Da forma como foi apresentada, a estrutura hierárquica permite a interação entre os processos somente em uma direção, qual seja, dos níveis superiores para os níveis inferiores. TURVEY (1977) ressalta que em sistemas hierárquicos não há comunicação entre processos num mesmo nível, nem mesmo entrada de informação de um nível inferior para um nível superior.

Além disso, se cada movimento componente do comportamento deve fazer parte da lista de associações, o número de nódulos a ser armazenado tende ao infinito, o que leva ao problema do armazenamento (FREUDENHEIM, 1999). Essa autora aponta ainda que a proposta não contempla o processo de aquisição de habilidades motoras, ou seja, questões relativas à formação e mudança desses programas.

2.5 Controle Motor Distribuído

Diferentemente do que ocorre com a concepção de PMG que pode ser atribuída principalmente a SCHMIDT (1975), a proposta de controle distribuído teve diferentes proponentes. O objetivo principal da proposta é explicar o trânsito de informações pelo sistema, tendo em vista as diferentes linguagens em cada nível do sistema nervoso.

Nessa concepção, o programa motor não é pensado como um sistema único, que atua exclusivamente ao nível do SNC, mas como um sistema composto por várias estruturas de processamento independentes, que possuem informações específicas do seu nível. PEW (1984) propõe que essas estruturas, ou centros de atividade, são coordenadas pela passagem de especificações de umas para as outras, para cima e para baixo na hierarquia.

TURVEY (1977) contrapõe organizações heterárquicas e hierárquicas de níveis de controle argumentando que numa estrutura hierárquica os elementos de nível inferior respondem às instruções do nível superior “sem questionar”, ao passo que numa estrutura heterárquica, os domínios de nível inferior reprocessam as representações mais elevadas da perspectiva dos conhecimentos especiais disponíveis nesses domínios inferiores. Entretanto, isso não significa que a organização hierárquica dos centros de atividade é descartada, uma vez que um nível de especificidade segue o próximo (PEW, 1984).

Na proposta de TURVEY (1977), um nível elevado da hierarquia, ou executivo, especifica as metas fundamentais da ação, deixando para estruturas subordinadas, denominadas estruturas coordenativas, as decisões sobre os detalhes do movimento. Mais especificamente, o executivo não controla os níveis inferiores em si, mas o modo de interação entre eles, permanecendo ignorante quanto às mudanças de funções e detalhes do plano de ação aplicados pelos níveis inferiores.

Nesse sentido, um plano de ação num nível superior é representado por funções definidas a partir de um número relativamente pequeno de estruturas coordenativas grandes e complexas e, nos níveis inferiores, por funções definidas a partir de um número relativamente grande de estruturas coordenativas pequenas e simples (TURVEY, 1977).

Nessa perspectiva de controle motor distribuído, na qual entende-se que o

programa motor possa ter diferentes representações em diferentes níveis do sistema motor (PEW, 1984), torna-se difícil identificar qualquer parte do sistema de controle como um programa motor no sentido tradicional (SUMMERS, 1989). Em outras palavras, se todos os processos envolvidos na execução de uma ação forem considerados oriundos de representações, até a necessidade do conceito de programa motor é questionável.

REQUIN (1992) tenta superar essa limitação escolhendo um nível particular do sistema de controle como um programa motor. O autor descreve a representação da ação como sendo distribuída hierarquicamente em três níveis: o semântico, no qual estaria representada a meta da ação; o sintático, responsável pela programação motora; o fonêmico, responsável pelo resultado efetor em si.

No nível semântico, a linguagem da representação é não-motora, ou seja, não contém a estrutura espaço-temporal específica à classe de movimento, implicando que essa linguagem não pode ser utilizada pelo sistema neuro-muscular. Nesse nível a ação é representada por uma única característica que define conceitualmente a meta, de forma simbólica e independente do contexto.

A linguagem é não-motora também no nível sintático, contudo, a representação nesse nível possui algumas relações homomórficas e é dependente do contexto. De acordo com o autor, a representação nesse nível tem uma característica sub-simbólica, ou seja, ainda abstrata, mas possuindo alguma relação com os códigos dos quais é derivada. A *grosso modo*, esse nível da representação faz a tradução da linguagem simbólica para a neuromuscular.

No nível fonêmico, a linguagem é motora, ou seja, os comandos motores estão “escritos” em linguagem neuromuscular e há alguma relação homomórfica entre a distribuição das unidades de movimento no SNC e a organização espacial dos efetores musculares. Nesse nível, a ativação de padrões é restrita biomecanicamente.

A proposição de controle distribuído é capaz de reduzir a quantidade de informações a serem armazenadas na memória, pois a especificação dos detalhes do movimento é distribuída por várias representações do sistema motor. Além disso, a proposta também explica a simultânea consistência e flexibilidade, característica do comportamento motor habilidoso. Os centros mais elevados da hierarquia possuem representações abstratas relativamente estáveis do comportamento que restringem o

papel das estruturas em níveis inferiores garantindo a consistência das ações motoras. A flexibilidade está presente em virtude do detalhamento do movimento ser distribuído entre as estruturas em níveis inferiores, possibilitando variações de movimento ainda que oriundas de uma mesma “ordem” de um centro superior.

No entanto, há algumas limitações nessa visão de programa motor. GLENCROSS (1980) aponta que um dos principais problemas da proposição de controle distribuído é a não definição de quão geral ou específica é a resposta determinada pelo executivo (o “ballpark”).

Outro problema estaria relacionado a quão flexíveis podem ser os centros inferiores para o detalhamento dos movimentos (TANI, 1995, 2005b). Mais especificamente, quanto mais baixo na estrutura do SNC, mais fortes são as restrições e menores os graus de liberdade, permitindo supor que a própria natureza do sistema nervoso seria oposta ao pressuposto implícito de flexibilidade das estruturas inferiores.

Como se pôde notar, a concepção de programa motor tem evoluído mediante a proposição de novas idéias, do próprio questionamento dessas idéias e dos resultados de pesquisas. No entanto, ainda falta uma proposta que lide com os problemas clássicos de armazenamento, novidade e gênese, tendo em vista o processo de aquisição de habilidades motoras como um processo contínuo envolvendo o desenvolvimento hierárquico dessas habilidades motoras. Além disso, a proposta deve ser capaz de explicar características do comportamento motor habilidoso, como a simultaneidade entre consistência e flexibilidade e a relativa permanência das mudanças decorrentes do processo de aprendizagem.

2.6 Programa de Ação Organizado Hierarquicamente

Procurando solucionar os problemas clássicos de armazenamento, novidade e gênese, explicar o aumento de complexidade e dar conta da consistência e flexibilidade características do comportamento motor habilidoso, MANOEL e CONNOLLY (1995, 1997) e TANI (1995, 2000, 2005b) têm proposto uma estrutura, baseados fundamentalmente nas idéias de organização hierárquica da complexidade (KOEHLER, 1967), na qual concepções dicotômicas – como ordem e desordem, estabilidade e instabilidade – são substituídas pela idéia de complementaridade

(TANI, 1995). Nessa concepção, o programa de ação é organizado hierarquicamente em dois níveis: macroscópico e microscópico. O nível macroscópico do programa é orientado à ordem e responsável pela consistência das ações motoras habilidosas. O nível microscópico é orientado à desordem, permitindo a flexibilidade das ações motoras habilidosas. Assim, o padrão de organização espaço-temporal do movimento, ou seja, o que é distinguível nas habilidades motoras de indivíduos habilidosos (por exemplo, o que permanece constante em assinaturas de diferentes tamanhos) é dado pela macroestrutura do programa de ação, ao passo que as variações que ocorrem de uma tentativa para outra, relativas à parametrização da ação (por exemplo, a variação no tamanho das assinaturas) emergem a partir da microestrutura do programa de ação organizado hierarquicamente (PAOH). Como exemplo, TANI (1995, 2005b) apresenta a estrutura hipotética de um PAOH para o salto em distância (FIGURA 1).

De acordo com o autor, o programa de ação para o salto em distância compreende os seguintes componentes: corrida (C), impulsão (I), fase aérea (F) e aterrissagem (A). A interação entre os componentes (C-I-F-A), que resulta no padrão de movimento, é a macroestrutura do programa, e os componentes em si (C I F A) correspondem à microestrutura desse mesmo programa. Entretanto, como a determinação do que é macro e do que é microestrutura num PAOH é relativo ao nível na estrutura hierárquica, cada componente pode ser visto como uma macroestrutura de um conjunto de subcomponentes ainda menores. Assim, a corrida pode ser vista como uma macroestrutura, que tem como componentes o apoio (AP) e o balanço (BA), e cada um desses, por sua vez, possui outro conjunto de subcomponentes e assim sucessivamente, descendo na hierarquia.

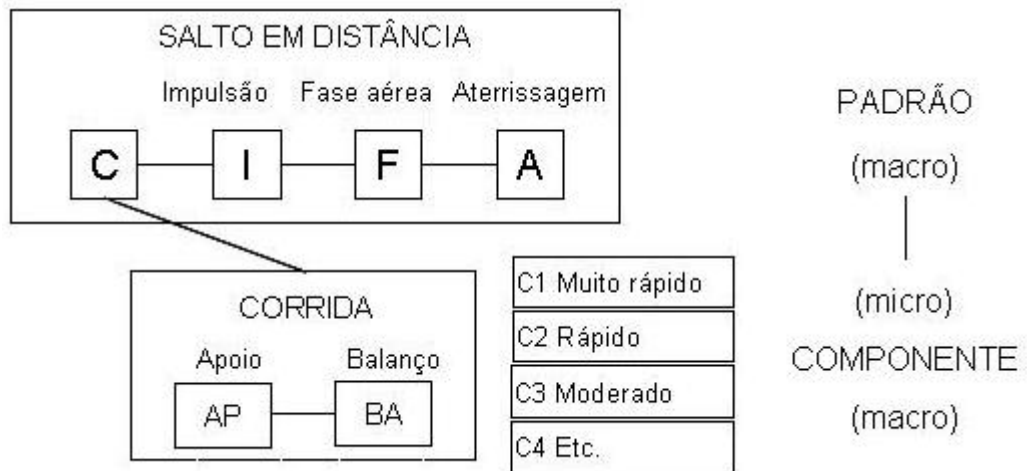


FIGURA 1 – Estrutura hipotética do PAOH para o salto em distância (adaptado de TANI, 1995).

Na proposta, a macroestrutura é sempre selecionada, garantindo uma baixa sobrecarga computacional para os níveis superiores do SNC, enquanto a microestrutura é gerada a cada tentativa, permitindo a adequação às demandas ambientais.

A própria organização do PAOH explica as características de consistência e flexibilidade das ações habilidosas, sem incorrer nos problemas de armazenamento e novidade. Uma dada macroestrutura é capaz de gerar diferentes variações de um mesmo padrão de movimento por causa da indeterminação existente em sua microestrutura. Mais especificamente, como os aspectos relacionados à microestrutura são gerados a cada tentativa, somente a macroestrutura deve estar previamente armazenada. Isso evita o problema do armazenamento, uma vez que, há uma representação da interação entre os componentes para diversas variações nos componentes. Esse processo de operacionalização de um programa de ação, por meio da seleção da macroestrutura e geração da microestrutura, soluciona também o problema da novidade. Isso porque a partir de uma mesma macroestrutura, parâmetros nunca antes utilizados podem emergir da microestrutura e, em conseqüência, produzir movimentos novos que permitem atingir a meta da ação.

Outra lacuna importante de proposições anteriores, como a de PMG (SCHMIDT, 1975), diz respeito à gênese do programa. A concepção de PAOH oferece uma explicação para esse processo: no início do processo de aquisição de

uma habilidade motora os componentes da ação possuem alta variabilidade na interação, o que implica ausência de um padrão consistente e um baixo desempenho. Nesse sentido, no início não há uma macroestrutura formada para a ação que se pretende realizar, mas somente os componentes desordenados. Com a prática e o *feedback*, aumenta a interação entre eles e uma macroestrutura é formada. Essa macroestrutura passa a restringir o comportamento dos próprios componentes que lhe deram origem e que passam a fazer parte da microestrutura desse PAOH.

A idéia de hierarquia na proposta do PAOH é de uma relação dinâmica entre a macro e a microestrutura, uma vez que a macroestrutura se forma a partir da interação entre os componentes e esses são restringidos pela própria macroestrutura. Mais especificamente, a macroestrutura é, ao mesmo tempo, causa e efeito da padronização na microestrutura, pois a interação macro-micro pode acontecer tanto de cima para baixo (*top-down*) como de baixo para cima (*bottom-up*) (TANI, 1995, 2000, 2005b). A restrição aplicada à microestrutura tem a função de reduzir a extensão de variações dos componentes, porquanto, para o PAOH formado, apenas certa extensão dessas variações é interessante: aquela que diz respeito à meta da ação. Assim, a restrição da variabilidade na microestrutura ocorre até o ponto no qual a variabilidade pode ser entendida como resultante da redundância do sistema (TANI, 1995), ou seja, como resultado da disponibilidade de recursos e não mais, como inicialmente, como resultado da baixa interação entre os componentes.

Essa concepção vai além das explicações referentes à formação da representação mental, pois assume que a partir das estruturas adquiridas, estruturas mais complexas podem ser desenvolvidas. Esse desenvolvimento depende de dois tipos de processos: de mudança horizontal, ou seja, do aumento das variações dos componentes do programa de ação; de mudança vertical, isto é, do aumento da quantidade de interações entre os componentes.

A existência de muitas alternativas em relação a cada componente não é em si uma condição suficiente para o aumento da complexidade. Esse processo depende do indivíduo buscar atingir uma nova meta, para a qual é necessário um novo padrão de interação entre os componentes. Quando isso ocorre, inicia-se um novo processo de aprendizagem (descrito anteriormente), que resultará em um

programa de ação mais complexo que o anterior. Nesse contexto, a proposição de PAOH soluciona o problema do aumento de complexidade.

A concepção de PAOH não somente apresentou alternativas para suplantar limitações teóricas dos modelos anteriores, mas também incorporou aspectos importantes das concepções que a antecederam – não somente da visão de programa motor organizado hierarquicamente, mas também das de PMG e programa motor distribuído.

A idéia de que uma mesma macroestrutura é capaz de gerar um grande número de variações assemelha-se à idéia de PMG. No entanto, vale ressaltar que um PMG é capaz de gerar variações dentro de uma classe de movimentos e mediante a aplicação de parâmetros provenientes do esquema de lembrança. Por sua vez, o PAOH atende a variações, tendo como base a meta da ação (e não uma classe de movimentos) e a parametrização se dá pela emergência dos parâmetros, dadas às alternativas disponíveis em cada componente.

Mais especificamente, uma vez que a meta da ação é selecionada, faz-se necessário operacionalizá-la. Para isso, um programa capaz de implementar a ação é selecionado e/ou gerado (ROSENBAUM, 1985; TANI, 1995) e define o padrão de movimento a ser produzido, enviando informações necessárias para que os movimentos sejam computados de acordo com suas especificações. Assim, o programa de ação participa de um dos passos necessários à tradução da intenção em uma ação, conforme ilustra o modelo simplificado de ação motora proposto por TANI (1995) – FIGURA 2. Contudo, vale ressaltar que esses passos não são considerados necessários para a execução de todo e qualquer comportamento motor, mas pelo menos para aqueles que demandam grande envolvimento cognitivo (FREUDENHEIM, 1999; TANI, 1982).

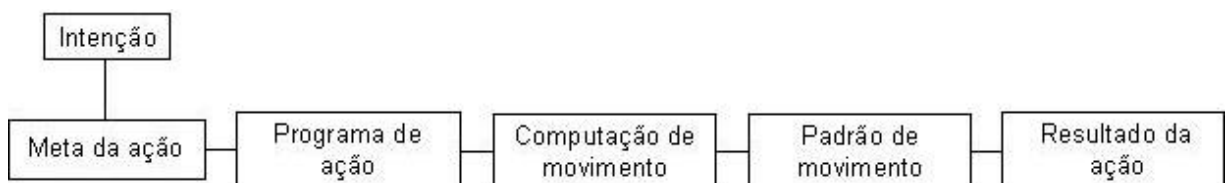


FIGURA 2 – Modelo simplificado da ação motora (adaptado de TANI, 1995).

No que diz respeito à proposta de controle motor distribuído, a concepção de PAOH assemelha-se às idéias de REQUIN (1992), que identifica o programa motor

como uma determinada estrutura do sistema motor que possui funções e características próprias. Mais especificamente, TANI (1995, 2005b) concebe uma representação hierárquica, compreendendo três níveis: (1) o primeiro nível é constituído de representações de unidades de ação e também algumas conexões estáveis entre essas unidades; (2) o segundo nível é constituído de programas de ação, ou seja, representações de seqüências dessas unidades de ação; (3) no nível mais elevado e mais abstrato da hierarquia, está representada a meta da ação.

Com o intuito de fornecer evidências empíricas a essa concepção de programa de ação, foram realizados alguns experimentos envolvendo habilidades gráficas (FREUDENHEIM, 1999; FREUDENHEIM & MANOEL, 1999; MANOEL, BASSO, CORRÊA & TANI, 2002; MANOEL, FREUDENHEIM, BASSO & TANI, 2001; TANI, 1995). Um padrão gráfico foi escolhido como tarefa por apresentar características fundamentais para a investigação da proposta: possuir componentes facilmente distinguíveis e ser uma habilidade que exige alta demanda cognitiva. Esse padrão gráfico, extraído do alfabeto chinês, era composto por 10 traços com início e fim bem definidos. O instrumento utilizado para adquirir os dados era composto de uma caneta sem fio e de uma mesa digitalizadora sensível à pressão da caneta. Por meio de um software foi possível adquirir medidas relacionadas à macroestrutura – seqüenciamento dos componentes, dimensão relativa da figura, *timing* relativo e tempo de pausa relativo – e à microestrutura do programa de ação – dimensão total, tempo total de movimento e tempo total de pausa.

No experimento realizado por TANI (1995) participaram 30 sujeitos adultos que realizaram 100 tentativas de reprodução do padrão gráfico descrito. O autor verificou que ao longo da prática houve tanto redução da variabilidade das medidas que indicavam o comportamento da macroestrutura do programa de ação, quanto das medidas referentes à microestrutura desse programa. Esse resultado indica que a formação de um PAOH está associada à prática e ao *feedback*. O autor ressalta que as medidas que melhor representaram as predições do modelo foram relacionadas à estrutura temporal da habilidade.

No entanto, nesse experimento não foi verificada a associação entre a formação do PAOH e a estabilidade do comportamento apresentado em função da prática, devido à impossibilidade de verificar platôs de desempenho. Essa questão foi investigada por FREUDENHEIM (1999), que conduziu um experimento em que foi

possível observar platôs de desempenho na mesma tarefa utilizada por TANI (1995). Para isso, os indivíduos realizaram 270 tentativas na tarefa, ou seja, os voluntários foram submetidos a uma prática extensiva. A quantidade de prática necessária foi determinada em um estudo realizado previamente por FREUDENHEIM e MANOEL (1999). Foram consideradas, referentes ao desempenho, as medidas de tempo total de pausa e tempo total de movimento, pois, refletem o tempo para tomar decisões, respectivamente, sobre qual traço realizar e o tempo despendido para executar cada traço. Verificou-se que a melhora e o aumento da estabilidade do desempenho que ocorreram ao longo da prática estavam associados à diminuição da variabilidade nas medidas que correspondem à macroestrutura e à microestrutura do PAOH. Como esperado, o aumento da consistência na macroestrutura restringe a variabilidade na microestrutura. Além disso, a associação entre esse processo e a melhora do desempenho indicam que a estabilidade do comportamento, alcançada por meio da prática, está relacionada à formação de um PAOH.

Um estudo de caso foi realizado por MANOEL et al. (2001) com uma análise mais detalhada dos dados e com a administração de uma quantidade de prática ainda maior que no estudo de FREUDENHEIM (1999): 700 tentativas distribuídas em cinco dias. Vale ressaltar que, além da prática extensa, o adolescente voluntário já possuía experiência com a execução de caracteres semelhantes aos utilizados no estudo. O desempenho melhorou nos dois primeiros dias, apresentando um platô nos três últimos. Foi utilizada uma medida de coeficiente de variabilidade relativa para verificar a magnitude da variabilidade da macroestrutura e da microestrutura do PAOH formado. Com base nessa medida, verificou-se que tanto a variabilidade da macroestrutura quanto da microestrutura diminuíram no primeiro dia. No segundo dia, a variabilidade da macroestrutura se manteve, enquanto a variabilidade da microestrutura aumentou. Nos três últimos dias, a medida referente à macroestrutura oscilou mais que a medida referente à microestrutura.

Esses resultados corroboram os obtidos por FREUDENHEIM (1999), quando apontam uma associação entre a melhora do desempenho e a redução da variabilidade exibida pela macro e pela microestrutura do PAOH nos dois primeiros dias de prática. Levando em consideração a limitação de um estudo de caso, os dados referentes ao comportamento da variabilidade da macro e da microestrutura do PAOH associados ao comportamento do desempenho permitem inferir que, após

a prática extensiva, a macroestrutura pode apresentar variabilidade funcional (MANOEL & CONNOLLY, 1995). Em outras palavras, esse dado sugere que após atingir um estado de grande redundância, o indivíduo pode se permitir explorar a extensão de variações possíveis, sem que isso provoque queda no desempenho.

MANOEL et al. (2002) realizaram um estudo cuja tarefa motora foi a mesma utilizada por TANI (1995), mas com o objetivo de encontrar evidências de modularização. O experimento consistiu das fases de aquisição, transferência e retenção e teve dois grupos experimentais correspondentes à manipulação realizada na fase de transferência, qual seja, o acréscimo de uma parte da figura praticada na fase de aquisição. Os grupos foram diferenciados pelo acréscimo da parte do lado direito ou esquerdo da figura praticada durante a fase de aquisição – forma de controlar os efeitos da gramática da ação e da posição serial. A pequena modificação dos tempos de movimento e de pausa na fase de transferência foi interpretada como evidência de que um mesmo módulo foi utilizado no padrão mais complexo. No que se refere às medidas de macroestrutura, a diminuição da variabilidade do tempo relativo do primeiro bloco da transferência para o último da retenção indicou a estabilidade de um módulo num nível macroscópico. Com base nesses dados, os autores concluíram que a aquisição de habilidades motoras pode envolver a formação de módulos que são armazenados e selecionados de uma forma hierárquica para formar padrões mais complexos, corroborando a noção de organização hierárquica de um programa de ação.

3 PROBLEMA DE PESQUISA

Tendo em vista o pano de fundo teórico adotado, é inegável a importância do processo de adaptação para que o indivíduo possa alcançar níveis mais elevados de complexidade do comportamento. Desse modo, é possível considerar que a aquisição de programas de ação flexíveis é uma condição necessária para que se possa ter um bom desempenho motor em diferentes condições ou tarefas motoras.

No entanto, retomando o fenômeno, observamos que apesar de todos os indivíduos aprenderem habilidades motoras mediante um processo adaptativo e adquirirem uma representação mental de mesma natureza (PAOH), indivíduos habilidosos podem possuir diferentes capacidades de adaptação.

Baseando-se na concepção de processo adaptativo e na proposição de KOESTLER (1967), de que em habilidades motoras existe sempre um aspecto invariável governado por regras fixas e um aspecto variável dirigido por estratégias flexíveis, TANI (1982) realizou dois experimentos que lançam alguma luz sobre a questão das diferentes capacidades de adaptação.

Esses experimentos foram pautados no raciocínio de que seria preciso permitir um certo grau de liberdade na escolha das respostas durante a fase de estabilização funcional da habilidade. Isso porque permitir liberdade minimizaria a ênfase no aspecto invariável da habilidade durante o processo de aprendizagem motora, permitindo a formação de programas motores mais flexíveis no que se refere a adaptação.

A tarefa motora utilizada em ambos os experimentos foi a execução de habilidades seriadas de basquetebol. Participaram do primeiro experimento, 36 estudantes universitárias que não possuíam experiência com a aprendizagem do basquetebol. As estudantes foram divididas em três grupos com diferentes condições de aprendizagem, relativos ao grau de liberdade na escolha dos elementos que compunham a seqüência de movimentos. No primeiro grupo, a ordem dos elementos na seqüência e os sub-elementos que compunham a seqüência foram escolhidos pelos próprios sujeitos. No segundo grupo a ordem dos elementos na seqüência foi determinada pelo experimentador, porém, os sub-elementos foram escolhidos pelos próprios sujeitos. E no terceiro grupo, tanto a ordem dos elementos como os sub-elementos foram determinados pelo experimentador.

Em suma, ao primeiro grupo foi permitido um maior grau de liberdade de escolha, ao segundo, um grau intermediário e, ao terceiro, nenhuma liberdade de escolha.

Os grupos foram comparados por intermédio de dois testes, cujos objetivos foram analisar o nível de desempenho após o período de prática (12 horas aula) e testar a adaptação dos indivíduos a uma nova situação. As medidas utilizadas para essas análises foram o número total de tentativas executadas, o tempo para executar todas as tentativas, as tentativas bem sucedidas, a antecipação e o *timing*.

Verificou-se que o grupo ao qual foi permitido maior grau de liberdade de escolha mostrou melhor desempenho em relação aos outros dois grupos no que se refere às quatro primeiras medidas. Porém com relação ao *timing*, embora os três

grupos tenham mostrado uma tendência de diminuição do desempenho na situação de adaptação, essa tendência foi mais evidente para o grupo com maior liberdade. O autor concluiu que o padrão seqüencial de movimento não foi devidamente organizado nessa condição de prática, o que originou uma queda de desempenho.

O segundo experimento contou com 60 estudantes universitárias, tendo sido mantidas as condições de aprendizagem, a tarefa motora e a distribuição dos grupos em relação ao primeiro experimento. A habilidade adquirida foi avaliada por meio de um teste de adaptação que consistiu na execução de um padrão seqüencial pré-estabelecido pelo experimentador. As medidas utilizadas para analisar o desempenho dos grupos foram o tempo necessário para executar a seqüência, o número de tentativas bem sucedidas, a antecipação, os erros de performance e o número de passadas e de quiques. Como resultado, obteve-se que o grupo ao qual foi permitido maior grau de liberdade mostrou um nível mais elevado de desempenho.

O autor concluiu, com base nesses dois experimentos, que para se adquirir planos motores flexíveis que melhor se adaptam a novas situações, é preciso que durante o processo de estabilização funcional seja permitido ao executante um grau adequado de liberdade na escolha das respostas. A conclusão refere-se a um “nível adequado”, em virtude do resultado do primeiro experimento, no qual, quando um excessivo grau de liberdade foi permitido, houve dificuldade em se alcançar a estabilidade funcional.

A literatura tem reportado um aumento crescente no número de estudos investigando a liberdade de escolha do aprendiz, ou contextos autocontrolados (*self-controlled*) de aprendizagem, não somente na área de Aprendizagem Motora (CHIVIAKOWSKY, 2000) como também em áreas relacionadas à Psicologia (WINNE, 2005). Especificamente na área de Aprendizagem Motora tem-se investigado o autocontrole por parte do aprendiz sobre fatores que afetam a aprendizagem. Entre eles, o fator que mais recebeu atenção foi o conhecimento de resultados (CR), comparando-se freqüências determinadas pelo experimentador com a freqüência autocontrolada (CHIVIAKOWSKY, 2000; JANELLE, BARBA, FREHLICH, TENNANT & CAURAUGH, 1997; JANELLE, KIM & SINGER, 1995).

Tendo sido encontradas evidências favoráveis à frequência autocontrolada, alguns estudos posteriores procuraram investigar as causas dessa superioridade (CHIVIAKOWSKY, GODINHO & TANI, 2005; CHIVIAKOWSKY & WULF, 2002, 2005).

Além do CR, outros fatores foram investigados em razão do controle por parte do aprendiz, como a frequência de apresentação de modelos (WRISBERG & PEIN, 2002; WULF, RAUPACH & PFEIFFER, 2005), a estruturação da prática (WU & MAGILL, 2004), o estabelecimento de metas (BOYCE, 1992) e o uso de auxílio físico (WULF & TOOLE, 1999). Entretanto, diferente dos estudos desenvolvidos por TANI (1982), a liberdade de escolha nesses estudos está relacionada à regulação de um outro fator que afeta a aprendizagem. Em outras palavras, nos estudos mais recentes, além de não ser a única variável independente manipulada, a liberdade de escolha não estava relacionada às possibilidades de solução do problema motor (tarefa) apresentado.

Nesse sentido, retomando o raciocínio de TANI (1982), oferecer diferentes graus de liberdade na escolha da resposta motora proporciona a formação de diferentes PAOH no que diz respeito à flexibilidade dos mesmos, ou seja, à capacidade de se adaptarem a novas exigências.

Tendo em vista a importância de se adquirir programas de ação flexíveis para que se possa ter um bom desempenho motor em diferentes condições ou tarefas motoras, o objetivo do presente estudo foi investigar o efeito do grau de liberdade na escolha da resposta no processo adaptativo em aprendizagem motora. Com esse intuito, foram realizados três experimentos que testaram a capacidade de adaptação de indivíduos – submetidos a diferentes condições de liberdade de escolha – a três modificações da tarefa: perceptiva, efetora e perceptiva-efetora.

4 EXPERIMENTO 1

4.1 Objetivo

O objetivo desse experimento foi investigar o efeito do grau de liberdade na escolha da resposta no processo adaptativo em aprendizagem motora. Mais especificamente, procurou-se testar a capacidade de adaptação de indivíduos, submetidos a diferentes condições de liberdade na escolha da resposta motora, a uma modificação perceptiva da tarefa.

4.2 Método

4.2.1 Amostra

Participaram do experimento 46 voluntários, com média de idade de 21 ($\pm 5,3$) anos, de ambos os gêneros, sem experiência prévia com a tarefa. Todos preencheram um termo de consentimento pelo qual foram informados dos procedimentos da pesquisa, bem como de seus direitos como participantes de um experimento para fins científicos. O presente estudo foi aprovado pela Comissão de Ética e Pesquisa da Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo (protocolo n°2006/08).

4.2.2 Equipamento e tarefa

Foi utilizado o aparelho de *timing* coincidente em tarefas complexas (Patente n° 0.403.1330-04), que consiste de uma canaleta com 90 *leds* (*light emitter diode*), uma mesa de resposta, sensores metálicos, um dispositivo com cinco *leds* para fornecimento de *feedback* e um computador. A canaleta tem 200 cm de comprimento, 10 cm de largura e 10 cm de altura. O primeiro *led* funciona como sinal de alerta. Após o acendimento desse *led*, os próximos acendem e apagam sucessivamente simulando movimento. Essa canaleta é semelhante àquela do temporizador de antecipação de Bassin, muito utilizado em estudos de aprendizagem motora.

A mesa de resposta é de madeira, com 70 cm de comprimento, 90 cm de largura e seis centímetros de altura. Sobre a mesa foram dispostos oito sensores retangulares medindo cinco centímetros de largura e 15cm de comprimento. Essa mesa permite a elaboração de diferentes configurações no que se refere ao número e tamanho do sensor, distância entre eles e sua disposição espacial. O dispositivo para fornecimento de *feedback* é composto de uma placa contendo cinco *leds* alinhados e, sobre cada um deles, da esquerda para a direita, as denominações: “muito antes”, “antes”, “certo”, “depois”, “muito depois”.

A canaleta, os sensores e o computador são interligados por um *software* que controla o início, a seqüência e a velocidade de acendimento dos *leds*. Esse software registra as seguintes medidas: (a) tempo total de execução da tarefa (tempo utilizado para tocar todos os sensores); (b) tempo parcial de cada toque (tempo utilizado entre o toque em um sensor e o próximo); (c) *timing* relativo (proporção dos tempos parciais em relação ao tempo total); (d) seqüência dos toques nos sensores.

A tarefa consistiu em tocar seis sensores seqüencialmente a fim de que o último toque coincidissem com o acendimento do último *led* da canaleta. O movimento era iniciado com a mão dominante do participante sobre o sensor de tempo de reação (FIGURA 3). Um esquema da disposição dos sensores, com a indicação de quais deveriam ser tocados e a seqüência de toques (dependendo do grupo experimental) foi colocado junto à mesa de resposta. O experimento constou de duas fases, quais sejam, estabilização e adaptação; a fase de estabilização diferiu entre os grupos de acordo com a manipulação experimental.

4.2.3 Delineamento

Os participantes (n = 46) foram divididos aleatoriamente em três grupos experimentais conforme o grau de liberdade de escolha relativo ao seqüenciamento dos sensores: sem liberdade de escolha (Sem), grau intermediário (Med) e alto (Alt). Junto à mesa de resposta foi colocado um esquema da disposição dos sensores contendo a seqüência de toques a ser seguida ou somente quais sensores deveriam ser tocados – dependendo do grupo experimental (FIGURA 3).

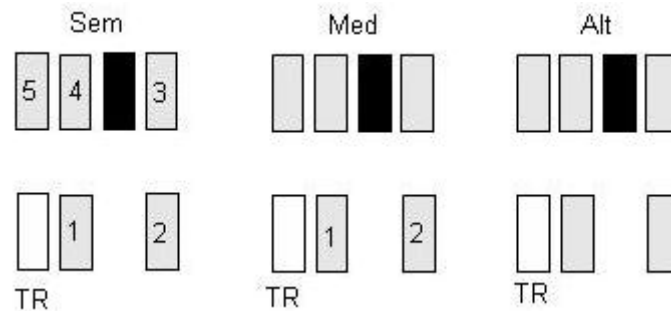


FIGURA 3 – Esquema da disposição dos sensores nas fases de estabilização para os três grupos, com indicação do sensor alvo (em preto), do sensor tempo de reação (TR) e dos sensores que deveriam ser tocados pelos sujeitos (cinza). O seqüenciamento dos sensores (quando pertinente) está representado pela numeração.

Para os participantes do grupo Sem ($n = 16$), a seqüência de toques realizada durante a fase de estabilização foi toda pré-definida. Mais especificamente, os voluntários tocaram os sensores na seqüência 1-2-3-4-5-alvo, coincidindo o toque no sensor alvo com o acendimento do último *led* da canaleta. Essa seqüência foi determinada com base em um estudo piloto, do qual analisou-se o seqüenciamento utilizado por 12 participantes que realizaram a tarefa sem prescrição da ordem dos toques. Mais especificamente, nesse estudo os participantes foram submetidos a um tratamento idêntico ao aplicado para o grupo Alt (descrito à frente) e a seqüência mais utilizada por eles foi escolhida.

O grupo Med ($n = 15$) teve os dois primeiros sensores da seqüência pré-definidos. Assim como para o grupo Sem, essa prescrição teve como base o resultado do estudo piloto citado anteriormente, do qual foram determinados o primeiro e o segundo toques da seqüência, restando três sensores para que o participante escolhesse a ordem.

Os participantes do grupo Alt ($n = 15$) realizaram a mesma tarefa, diferindo dos outros grupos por não terem nenhum sensor pré-definido na seqüência, com exceção do sensor alvo. Assim, havia cinco sensores a serem tocados em seqüência de livre escolha por parte do participante.

A velocidade do estímulo luminoso foi igual para os três grupos durante a fase de estabilização, tendo sido definida em 1,33 m/s mediante um estudo piloto. Nessa fase os indivíduos praticaram a habilidade até atingirem um desempenho critério estabelecido em três acertos consecutivos. Mais especificamente, o desempenho foi

considerado estabilizado quando eram obtidos três valores de coincidência, entre o último toque e o acendimento do último *led*, na faixa de ± 30 ms (UGRINOWITSCH, 2003). Uma vez atingido esse critério, os indivíduos passaram para a fase de adaptação. O intuito desse desempenho critério foi garantir que a habilidade motora estivesse estabilizada antes de se passar à fase de adaptação. É importante ressaltar que os participantes que não alcançaram o desempenho critério antes de realizar 100 tentativas, passaram automaticamente para a fase de adaptação, mas seus dados não foram incluídos na amostra. Considerando a importância da estabilização do desempenho precedendo a adaptação (TANI, 1995, 2005a), outro critério de delimitação da amostra foi utilizado: a não-inclusão dos dados dos participantes com menos de 12 tentativas na fase de estabilização. Esse critério baseou-se no estudo piloto de UGRINOWITSCH (2003), no qual um número inferior a 10 tentativas de prática não proporcionou a estabilização do desempenho.

Na fase de adaptação a tarefa foi a mesma para todos os grupos. Mais especificamente, foi pedido aos participantes que mantivessem a seqüência de toques realizada na última tentativa da fase de estabilização, enquanto a velocidade do estímulo visual foi reduzida para 1,17 m/s (modificação perceptiva). A redução da velocidade do estímulo visual foi escolhida em razão de um estudo exploratório realizado previamente, também em uma tarefa complexa de *timing* coincidente (ARAUJO, BASTOS & FREUDENHEIM, 2006). Esse estudo apontou que a redução da velocidade, quando comparada ao seu aumento, gerou maior perturbação aos sujeitos.

De acordo com o modelo teórico adotado, o intuito da modificação perceptiva é procurar provocar no sujeito uma perturbação de cunho paramétrico (TANI, 1995; UGRINOWITSCH, 2003). Nesse sentido, o que se pretendeu foi gerar um nível baixo de instabilidade em relação às modificações realizadas nos experimentos 2 e 3.

4.2.4 Procedimentos

Os indivíduos foram convidados a participar do estudo como voluntários mediante explicações sobre o objetivo, a tarefa motora e o equipamento utilizado, bem como sobre o tempo de duração da coleta de dados.

A coleta foi individual. Ao entrar na sala, o participante foi orientado a

permanecer em pé em frente à mesa de resposta, de forma que os sensores estivessem ao alcance da mão dominante e a canaleta pudesse ser vista por completo. Foi apresentado um esquema de quais sensores deveriam ser tocados e o seqüenciamento dos mesmos (para os grupos Sem e Med), juntamente com a explicação sobre a tarefa. Mais especificamente, foi fornecida a seguinte instrução ao participante: “É como se fosse um jogo. Você deverá tocar uma seqüência de sensores (o experimentador demonstrou que se deveria tocar suavemente com os dedos das mãos) enquanto vai descendo uma luz por essa canaleta. Uma primeira luz vai acender na parte mais alta da canaleta, o que significa que você deve ficar atento. Quando ela começar a se deslocar para baixo (o experimentador acompanhou a canaleta com o dedo) você pode começar a tocar a seqüência e, quando a última luz acender você deverá tocar o último sensor que é este (o experimentador tocou o sensor alvo). Quando você coincidir o último toque com a última luz, esse painel (o experimentador indicou o painel contendo os *leds* de *feedback*) indicará 'certo'. Os demais indicadores ajudarão você a se aproximar do 'certo', pois eles avisam se você tocou 'antes', 'muito antes', 'depois' ou 'muito depois' (o experimentador apontou os *leds* correspondentes). Assim, seu objetivo é obter o maior número de resultados 'certo' possível. A seqüência que você vai tocar está nesse esquema a sua frente. Nós vamos repetir esse procedimento algumas vezes”.

Foi permitido que o participante experimentasse a seqüência até duas vezes, sem a presença do estímulo visual, para verificar se o mesmo compreendeu a tarefa. Logo após essas tentativas de familiarização e imediatamente antes do início do experimento, o deslocamento do estímulo luminoso foi mostrado uma vez ao participante. A ocorrência de erros no seqüenciamento dos toques foi informada aos participantes logo após a execução da tentativa e foi registrada para posterior análise.

Imediatamente depois de alcançado o critério de estabilização (três tentativas consecutivas na faixa de erro de ± 30 ms), os indivíduos foram informados de que: (a) restavam 30 tentativas para o término no experimento; (b) a mesma tarefa seria realizada, mas em velocidade de estímulo visual diferente; (c) a seqüência de toques não poderia ser modificada, devendo o participante utilizar o mesmo seqüenciamento realizado na última tentativa.

Ao término dessas 30 tentativas foi oferecida a oportunidade de esclarecer qualquer dúvida relacionada ao estudo.

4.2.5 Medidas

Foram utilizadas sete medidas: uma relacionada à eficiência no alcance da estabilidade funcional; outra relacionada à manipulação experimental; três relacionadas ao desempenho na realização da tarefa motora e duas medidas complementares, para inferir sobre o comportamento do programa de ação organizado hierarquicamente.

Para se inferir sobre a eficiência em alcançar a estabilidade funcional do comportamento foi utilizado o número de tentativas necessárias para se alcançar o critério de estabilização.

A variabilidade do seqüenciamento foi utilizada para verificar se houve efeito da manipulação experimental.

Como medidas de desempenho foram calculados os erros de execução, o erro absoluto e o erro variável. Essa três medidas são amplamente utilizadas na literatura para inferir a melhora no desempenho de habilidades motoras. Dessas, a medida de erros de execução é a mais grosseira, o erro absoluto retrata a precisão com que a meta foi alcançada e o erro variável, a consistência do desempenho exibido. No presente experimento, o erro absoluto também foi utilizado para inferir a estabilidade funcional do comportamento.

Como medidas complementares foram calculadas a variabilidade da macroestrutura e a variabilidade da microestrutura. A proporção de tempo utilizada entre componentes da ação motora está relacionada aos aspectos invariantes da habilidade motora e, portanto, à macroestrutura do programa de ação organizado hierarquicamente. Mais especificamente, a medida de variabilidade da macroestrutura deriva da proporção de tempo utilizada entre os toques e permite inferir sobre a interação entre os componentes da ação. Por sua vez, a medida de variabilidade da microestrutura, calculada com base no tempo de movimento intertoques, está associada aos aspectos variantes das habilidades motoras e permite inferir sobre o comportamento dos componentes da ação em si.

4.2.6 Cálculo das medidas

Todas as medidas descritas a seguir foram calculadas com base em blocos de seis tentativas.

Número de tentativas: média do número de tentativas utilizadas até o alcance do critério de estabilização (três tentativas corretas consecutivas).

Variabilidade do seqüenciamento: calculada a partir do registro da ordem em que cada sensor foi tocado. Assim, no conjunto de dados havia o registro do primeiro sensor tocado (independentemente de qual fosse), do segundo e assim por diante. Analisando-se a série de dados dessa posição (primeiro a ser tocado), foi somado um (1) para cada vez que um sensor diferente do anterior foi utilizado. Tendo sido contabilizadas as mudanças ocorridas nas cinco posições passíveis de variação, as mesmas foram somadas e, em seguida, divididas pelo número de possibilidades de variação – cinco (sensores), multiplicado pelo número de tentativas sem erro de execução. Esse valor, multiplicado por 100, expressa a proporção de variação do seqüenciamento. Essa medida foi analisada de duas formas: (a) comparando-se os blocos inicial e final da fase de estabilização e (b) comparando-se toda a fase de estabilização. Dessa forma, a medida da variabilidade do seqüenciamento nos blocos inicial e final da fase de estabilização foi relativa às seis primeiras e seis últimas tentativas da fase de estabilização, ao passo que a medida de variabilidade do seqüenciamento durante a fase de estabilização foi relativa ao número de tentativas realizadas pelo participante em toda a fase de estabilização.

Erros de execução: média de erros cometidos em um bloco de tentativas. Essa medida é a resultante da ocorrência dos seguintes eventos: seqüência incompleta de toques; ordem incorreta de toques e omissão de resposta ao estímulo luminoso.

Erro absoluto: média da diferença entre o toque no sensor alvo e o acendimento do último *led* da canaleta (dado fornecido pelo *software* em módulo). Essa medida reflete a capacidade dos indivíduos de realizar a tarefa.

Erro variável: desvio padrão da diferença entre o toque no sensor alvo e o acendimento do último *led* da canaleta (dado fornecido pelo *software*). Essa medida expressa a consistência com que a meta da tarefa foi atingida.

Variabilidade da macroestrutura: inicialmente foi calculada a proporção de tempo gasto entre os toques seqüenciais (tempo relativo), pela razão entre o tempo de movimento intertoque e o tempo total de movimento, multiplicado por 100. Em seguida, calculou-se a média dos desvios padrão dos tempos relativos.

Variabilidade da microestrutura: média dos desvios padrão dos tempos de movimento inter-toques.

4.2.7 Análise inferencial

Considerando que todas as medidas utilizadas são de natureza escalar e que há pelo menos 15 participantes em cada grupo (podendo-se assumir a distribuição normal dos dados) restava somente realizar o teste de homogeneidade de variância (teste de Levene), para que os pressupostos para a análise paramétrica dos dados fossem satisfeitos. Quando detectada a homogeneidade para todos os blocos envolvidos na análise ($p > 0,05$), foi realizada uma análise de variância de dois fatores (ANOVA two-way) – Grupos X Blocos – com medidas repetidas no segundo fator. Para localizar as diferenças apontadas pela ANOVA, foi aplicado o teste de *post hoc* de Tukey_(HSD). Esse teste foi utilizado tanto na comparação entre o início e o fim da fase de estabilização, quanto na comparação envolvendo o último bloco da fase de estabilização e os blocos da fase de adaptação. Em casos específicos foi utilizada a análise de variância de um fator (ANOVA one-way), quais sejam, para comparar os grupos na medida ‘número de tentativas’, bem como nos casos em que foi localizada diferença significativa entre blocos pela ANOVA two-way, mas o *post hoc* (realizado por intermédio do teste de Tukey) não foi capaz de localizar as diferenças.

Nos casos em que a homogeneidade de variância não foi detectada em algum(ns) bloco(s) envolvidos na análise, testes não-paramétricos foram utilizados. Mais especificamente, nas comparações intragrupo, entre o início e o fim da fase de estabilização, foi utilizado o teste de Wilcoxon. Para a comparação entre grupos,

desses mesmos dois blocos de tentativas, foi utilizado o teste de Kruskal Wallis. Para localizar as diferenças apontadas pelo teste de Kruskal Wallis foi utilizado o teste de *post hoc* sugerido por SIEGEL e CASTELLAN JÚNIOR (1988). A fim de controlar o Erro Tipo 1, esse teste de *post hoc* corrige o valor de 'p' para que uma diferença seja considerada significativa. Essa correção foi feita em função do número de comparações realizadas, o que implica um mesmo valor de 'p' para a análise de um mesmo número de blocos. No caso do presente experimento, o valor adotado para localizar diferenças entre grupos foi $p = 0,00833$.

Na comparação intragrupo envolvendo o último bloco da fase de estabilização e os blocos da fase de adaptação foi utilizada a ANOVA de Friedman. Para localizar as diferenças apontadas por esse teste foi utilizado o *post hoc* sugerido por SIEGEL e CASTELLAN JÚNIOR (1988). Assim como para o teste de *post hoc* utilizado na comparação entre grupos, esse teste também controla o Erro Tipo 1, corrigindo o valor de 'p' com base no número de comparações. Assim, o valor adotado para localizar diferenças entre blocos foi de $p = 0,000238$. Para comparar os grupos no último bloco da fase de estabilização e nos blocos da fase de adaptação foi utilizado o teste de Kruskal Wallis e, para localizar as diferenças encontradas, o teste de *post hoc* sugerido por SIEGEL e CASTELLAN JÚNIOR (1988).

4.3 Resultados

4.3.1 Número de tentativas até o desempenho critério

A FIGURA 4 apresenta a distribuição dos participantes, nos três grupos, quanto ao número de tentativas. Descritivamente, o grupo Med apresenta-se mais homogêneo em relação aos demais. No entanto, conforme apontado pela ANOVA one-way, não há diferença significativa entre os grupos.

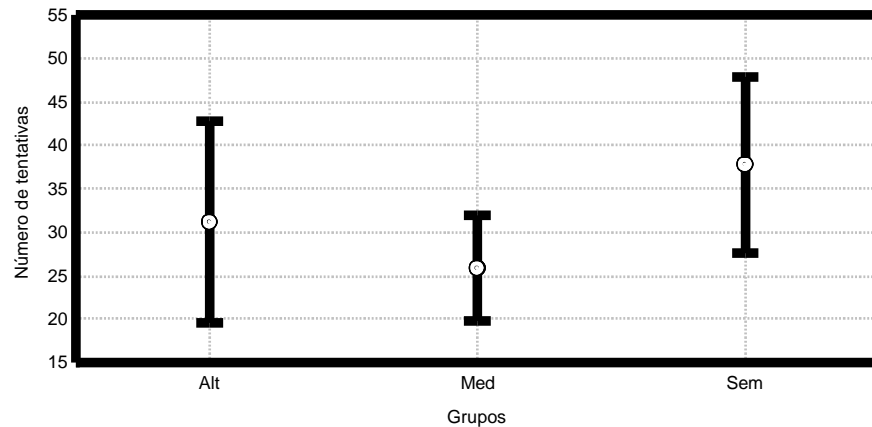


FIGURA 4 – Média e intervalo de confiança (95%) do número de tentativas necessárias para o alcance do critério de estabilização.

4.3.2 Variabilidade do seqüenciamento

A mediana dessa medida nos blocos inicial e final da fase de estabilização foi nula para ambos os grupos (Alt e Med). Entretanto, o teste de Wilcoxon encontrou diferença significativa entre o início e o fim da fase de estabilização para o grupo Med ($Z = 2,11$; $p < 0,03$). Quando comparados os grupos, o teste de Kruskal-Wallis detectou diferença significativa ($X^2[n = 46, gl = 2] = 8,22$; $p = 0,0164$), tendo sido localizada, mediante a verificação dos postos de maior e menor valor, entre os grupos Alt e Med (401 e 400, respectivamente) e o grupo Sem (280).

A FIGURA 5 mostra que o grupo Alt realizou uma proporção ligeiramente maior de variações do seqüenciamento do que o grupo Med durante a fase de estabilização. O teste de Kruskal-Wallis apontou diferença significativa entre os grupos, que foi localizada entre os grupos Alt e Med e o grupo Sem ($p < 0,00833$) pelo teste de *post hoc* sugerido por SIEGEL e CASTELLAN JÚNIOR (1988).

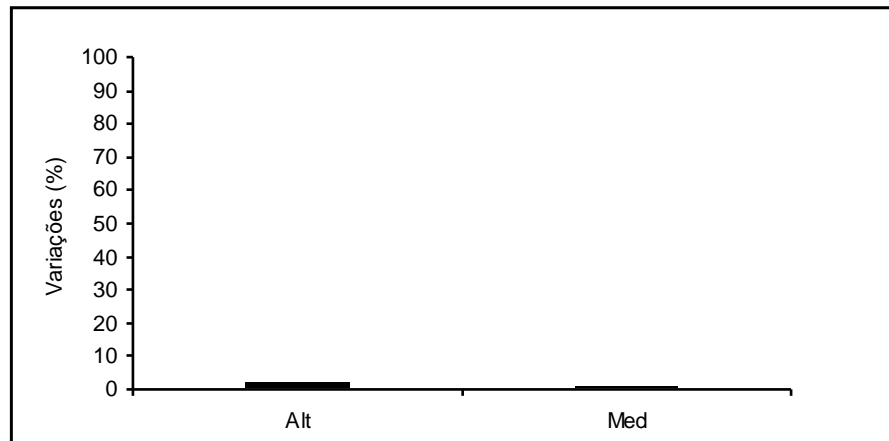


FIGURA 5 – Proporção de variações do seqüenciamento realizadas durante a fase de estabilização pelos grupos Alt e Med.

4.3.3 Medidas de desempenho

4.3.3.1 Erros de execução

Observando-se a FIGURA 6, nota-se que no início da fase de estabilização (E1) o grupo Sem apresenta maior quantidade de erros de execução em relação aos grupos Alt e Med que, por sua vez, exibiram um mesmo nível. Tendo como referência o início da fase de estabilização, observa-se uma menor quantidade de erros de execução para os três grupos no final dessa mesma fase, momento em que os grupos apresentam um mesmo valor para essa medida. A quantidade de erros de execução não se altera entre o último bloco da fase de estabilização e os blocos da fase de adaptação para nenhum dos grupos.

A análise inferencial, realizada pelo teste de Wilcoxon, detectou diferença significativa entre o início e o final da fase de estabilização para os grupos Med e Sem ($[Z = 2,19; p < 0,05]$ e $[Z = 3,51; p < 0,001]$, respectivamente), apontando uma diferença marginal para o grupo Alt ($Z = 1,82; p = 0,06$). O teste de Kruskal Wallis apontou diferença significativa entre os grupos no início da fase de estabilização ($X^2(n = 46, gl = 2) = 11,12; p < 0,01$), tendo sido localizada entre Med e Sem ($p = 0,0083$) pelo teste de *post hoc*. Corroborando a análise descritiva, não foi detectada diferença significativa intra ou entre grupos na comparação entre o último bloco da fase de estabilização e os blocos da fase de adaptação.

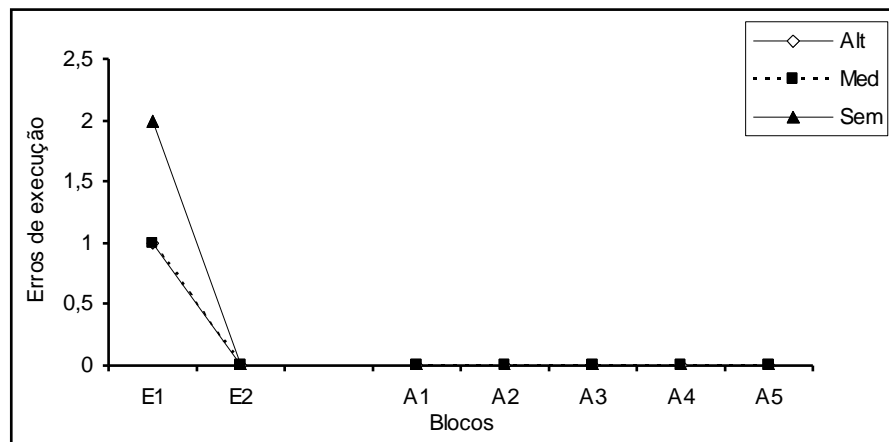


FIGURA 6 – Mediana dos erros de execução cometidos pelos grupos Alt, Med e Sem no início e no fim da fase de estabilização (E1 e E2) e na fase de adaptação (A1 a A5), por blocos de seis tentativas.

4.3.3.2 Erro absoluto

Os grupos apresentaram diferentes magnitudes de erro no início da fase de estabilização tendo, o grupo Sem, apresentado o maior valor de erro, seguido dos grupos Alt e Med (FIGURA 7). A magnitude do erro foi a mesma para os três grupos no final da fase de estabilização, diminuindo em relação ao seu início. No primeiro bloco da fase de adaptação houve um aumento do erro absoluto apresentado pelos grupos, ocorrendo uma pequena redução no segundo bloco e a manutenção da magnitude nos blocos subseqüentes.

O teste de Wilcoxon apontou diferença significativa entre o início e o fim da fase de estabilização para os três grupos (Alt [$Z = 3,40$; $p < 0,001$], Med [$Z = 3,29$; $p < 0,001$] e Sem [$Z = 3,46$; $p < 0,001$]), corroborando a análise descritiva. Entretanto, não foi detectada diferença estatisticamente significativa entre os grupos nessa fase. Na comparação entre o último bloco da fase de estabilização e os blocos da fase de adaptação, a ANOVA de Friedman permitiu verificar diferença significativa (Alt [$X^2(n = 15, gl = 5) = 16,77$; $p < 0,01$], Med [$X^2(n = 15, gl = 5) = 15,28$; $p < 0,01$] e Sem [$X^2(n = 16, gl = 5) = 26,07$; $p < 0,001$]). O teste de *post hoc* sugerido por SIEGEL e CASTELLAN JÚNIOR (1988) possibilitou localizar uma diferença somente para Sem entre o último bloco da fase de estabilização e o primeiro bloco da fase de adaptação ($p < 0,000238$). Verificando-se os postos de maior e menor valor foi possível

identificar as diferenças entre E2 (38,21) e A1 (69,35) para o grupo Med e entre E2 (8,23) e A2 (23,09) para o grupo Alt.

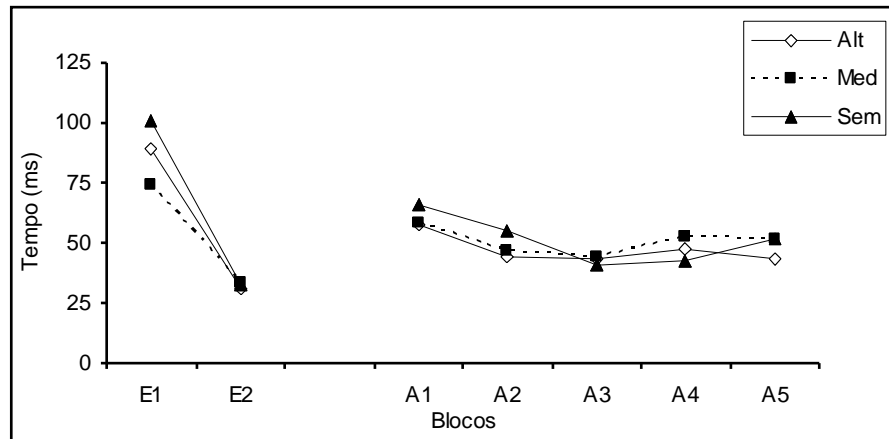


FIGURA 7 – Mediana do erro absoluto dos grupos Alt, Med e Sem no início e no fim da fase de estabilização (E1 e E2) e na fase de adaptação (A1 a A5), por blocos de seis tentativas.

4.3.3.3 Erro variável

A FIGURA 8 mostra que os grupos apresentam um valor de erro variável semelhante tanto no bloco inicial da fase de estabilização (E1) quanto no bloco final (E2). Nota-se também que há uma diminuição do erro variável para os três grupos de E1 para E2. Do bloco E2 para o primeiro da fase de adaptação (A1) houve um ligeiro aumento do erro para os três grupos, que tenderam a manter um mesmo nível nos blocos subsequentes. A análise inferencial, realizada pela ANOVA two-way, com teste de Tukey_(HSD) como *post hoc*, corroborou a análise descritiva, detectando diferença entre o início e o final da fase de estabilização ($F(1, 43) = 57,02$; $p < 0,0001$) para os grupos Alt, Med e Sem ($p = 0,002$; $p = 0,002$ e $p = 0,0003$, respectivamente) e não apontando diferença entre os grupos. Na análise compreendendo o último bloco da fase de estabilização e os blocos da fase de adaptação, a ANOVA de Friedman não detectou diferença entre blocos para nenhum dos grupos. Também corroborando a análise descritiva, não foi detectada diferença entre os grupos pelo teste de Kruskal-Wallis.

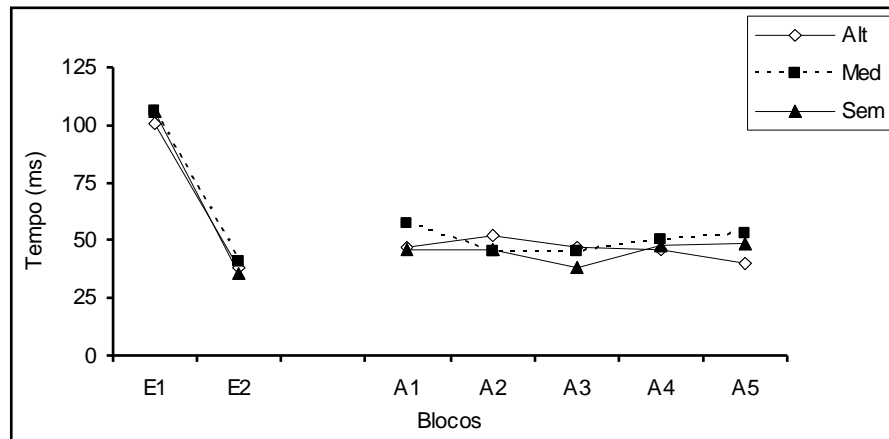


FIGURA 8 – Mediana do erro variável dos grupos Alt, Med e Sem no início e no fim da fase de estabilização (E1 e E2) e na fase de adaptação (A1 a A5), por blocos de seis tentativas.

4.3.4 Medidas complementares

4.3.4.1 Variabilidade da macroestrutura

A FIGURA 9 mostra um aumento da variabilidade entre o último bloco da fase de estabilização (E2) e o primeiro bloco da fase de adaptação (A1) para o grupo Med. Não houve oscilação da variabilidade durante a fase de adaptação em relação ao último bloco da fase de estabilização.

Corroborando a análise descritiva, a ANOVA two-way encontrou diferença entre blocos ($F[5, 215] = 2,58$; $p = 0,02$) localizada pelo teste de *post hoc* de Tukey_(HSD) entre o último bloco da fase de estabilização e o primeiro bloco da fase de adaptação ($p = 0,03$) para o grupo Med.

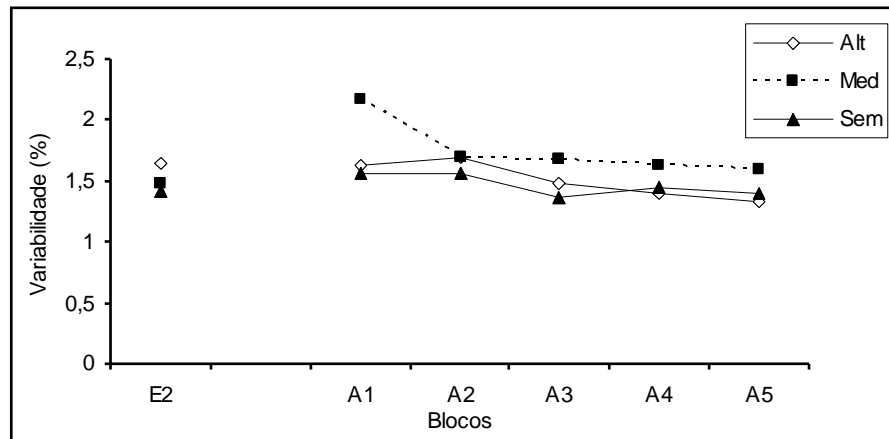


FIGURA 9 – Mediana da média dos desvios padrão dos tempos relativos para os grupos Alt, Med e Sem no fim da fase de estabilização (E2) e na fase de adaptação (A1 a A5), por blocos de seis tentativas.

4.3.4.2 Variabilidade da microestrutura

A FIGURA 10 expõe que no primeiro e segundo blocos da fase de adaptação (A1 e A2) os grupos Alt e Sem apresentam um ligeiro aumento da variabilidade, em relação à exibida no último bloco da fase de estabilização (E2), seguida de uma diminuição que se mantém nos blocos seguintes. Por sua vez, o grupo Med apresenta, no primeiro bloco da adaptação, um aumento mais pronunciado da variabilidade em relação aos demais grupos, seguida de uma diminuição que permanece nos blocos seguintes.

A ANOVA two-way detectou diferença entre blocos ($F[5, 215] = 265,4$; $p < 0,01$) localizada pelo teste de *post hoc* de Tukey_(HSD) entre E2 e A1 ($p = 0,0006$) e entre esse último e A5 ($p = 0,04$). Essas diferenças referem-se somente ao grupo Med, corroborando a análise descritiva. Não foi detectada diferença entre os grupos nessa fase do experimento.

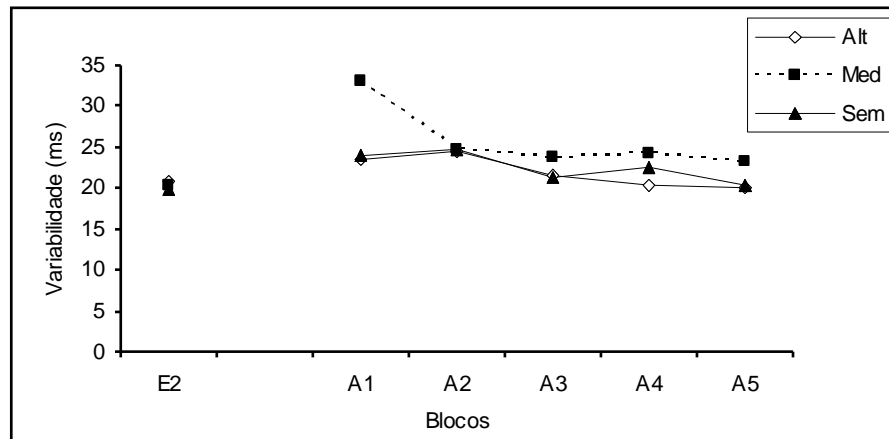


FIGURA 10 – Mediana da média dos desvios padrão dos tempos de movimento parciais para os grupos Alt, Med e Sem no fim da fase de estabilização (E2) e na fase de adaptação (A1 a A5), por blocos de seis tentativas.

4.4 Discussão

O objetivo do presente experimento foi investigar o efeito do grau de liberdade na escolha da resposta, no processo adaptativo em aprendizagem motora. Assim, a discussão dos dados será organizada no que se refere às fases de estabilização e adaptação.

Conforme tratado na sessão 4.2, do presente documento, os participantes praticaram a tarefa na fase de estabilização até atingirem o desempenho critério de três tentativas corretas consecutivas. Dessa forma, o número de tentativas que os grupos utilizaram até atingir o referido critério permite inferir sobre o efeito do grau de liberdade de escolha na eficiência em estabilizar o desempenho. Entretanto, convém ressaltar que o método utilizado visou a evidenciar a liberdade na escolha da resposta em detrimento de outras variáveis intervenientes. Nesse sentido, procurou-se controlar a dificuldade para se realizar a tarefa aplicando-se o seqüenciamento mais utilizado pelo grupo Alt ao grupo Sem e, parte dele (primeiro e segundo toques), ao grupo Med. Assim, seria esperado que os grupos necessitassem de um mesmo número de tentativas para estabilizar o desempenho, como de fato ocorreu. Esse resultado confere segurança em descartar a possível interpretação de que os efeitos da manipulação experimental ocorreram por causa da dificuldade da tarefa imposta ao grupo com seqüenciamento fixo ou em razão do número de tentativas praticadas.

Operacionalmente, a variável independente foi manipulada oferecendo aos participantes diferentes graus de liberdade para escolherem o seqüenciamento dos sensores durante a fase de estabilização. Nesse sentido, algumas questões são fundamentais. Primeira: os participantes que tiveram liberdade para variar o seqüenciamento dos componentes o fizeram? Segunda: a exploração das possibilidades de solução do problema motor (tarefa), proveniente dessa liberdade de escolha, ocorre igualmente no início e no final do processo de estabilização? Terceira: o grau de variação correspondeu ao grau de liberdade de escolha oferecido? Essas questões relativas à manipulação experimental podem ser respondidas considerando-se a medida de variabilidade do seqüenciamento, a qual foi realizada de duas formas, quais sejam, durante toda a fase de estabilização (como um único bloco) e nos blocos inicial e final dessa mesma fase. Nos resultados referentes a essa primeira medida foi possível verificar que a liberdade de escolha oferecida foi utilizada pelos grupos Alt e Med durante a fase de estabilização, mesmo que em pequeno grau.

No que diz respeito à segunda questão, estudos anteriores, baseando-se na concepção e PAOH, verificaram uma diminuição da variabilidade do seqüenciamento utilizado, em função da prática e do *feedback* (FREUDENHEIM, 1999; FREUDENHEIM & MANOEL, 1999; MANOEL et al., 2001, 2002; TANI, 1995 – experimento 4). Essa diminuição também foi observada no presente estudo, em que a liberdade para variar foi oferecida aos grupos Alt e Med. Mais especificamente, esses grupos diminuíram a proporção de variações do seqüenciamento entre o início e o final da fase de estabilização ao nível do grupo sem liberdade de escolha. Esse dado permite concluir que ainda que haja liberdade para explorar diferentes soluções para o problema motor proposto, os indivíduos diminuem a proporção com que o fazem a fim de alcançar a estabilidade funcional. Esse efeito foi mais pronunciado no grupo Med do que no grupo Alt, uma vez que, houve diferença também entre o início e o final da fase de estabilização para esse grupo.

Outro dado fornecido pela medida de variabilidade do seqüenciamento é que não se verificou relação direta entre uma maior liberdade para variar o seqüenciamento e uma maior variação, indicando que oferecer maiores graus de liberdade de escolha não determina que haja maior exploração das possibilidades de solução dos problemas motores.

Para que uma tarefa seja considerada adequada para investigar a aquisição de uma habilidade motora é fundamental que demande aprendizagem, ou seja, que a capacidade dos indivíduos de executá-la dependa de prática e *feedback*. Operacionalmente, para se verificar a ocorrência de mudança na capacidade de executar a habilidade motora foram comparados os blocos inicial e final da fase de estabilização em três medidas: erro de execução, erro absoluto e erro variável. Essas medidas retratam, respectivamente, a ocorrência de erros grosseiros, a precisão com que a meta foi alcançada e a consistência com que isso foi realizado.

Com a estabilização do desempenho, os três grupos apresentaram menor quantidade de erros de execução em relação ao início do processo de aquisição. Entretanto, no início da prática, o grupo Sem cometeu mais erros do que o grupo Med. Essa maior quantidade de erros pode ser explicada pela exigência de um padrão de movimento específico para esse grupo que, quando não realizado, era contabilizado como erro de execução.

No que diz respeito ao erro absoluto, já se esperava que os três grupos apresentassem uma mesma magnitude no final da fase de estabilização, uma vez que, houve um desempenho critério a ser atingido (três tentativas corretas consecutivas). Entretanto, é importante destacar que os grupos iniciaram o processo de estabilização num patamar de erro mais alto. Portanto, foi verificada uma melhora da precisão no alcance da meta entre o início e o final da fase de estabilização. Essa melhora foi acompanhada por um aumento da consistência do desempenho nos três grupos. Em conjunto, a melhora da precisão e da consistência no alcance da meta permite concluir que a tarefa utilizada precisou ser aprendida, sendo adequada para a investigação.

Segundo a proposta de processo adaptativo, infere-se que uma estrutura cognitiva foi formada quando ocorre a estabilização funcional de uma habilidade motora. FREUDENHEIM (1999), FREUDENHEIM e MANOEL (1999) e MANOEL et al. (2001) obtiveram evidências de que essa estrutura cognitiva adquirida com o processo de estabilização consiste de um PAOH. No presente experimento, todos os indivíduos praticaram a tarefa até que fosse identificada a estabilização do desempenho (desempenho critério), de forma que se pudesse inferir a formação de uma estrutura cognitiva. Assim, assume-se que todos os indivíduos adquiriram um PAOH e, portanto, ele será o alvo das explanações acerca dos efeitos dos diferentes

graus de liberdade na escolha da resposta no processo adaptativo.

Metodologicamente, uma forma de investigar as características dos PAOH adquiridos em diferentes condições de liberdade de escolha é analisar como os indivíduos se ajustam diante de uma modificação da tarefa, ou seja, como ocorre o processo adaptativo. Mais especificamente, no presente experimento, um aspecto perceptivo da tarefa foi modificado a fim de investigar essas características.

A modificação da tarefa não resultou na execução de erros grosseiros, nem afetou a consistência do desempenho de nenhum dos grupos. No entanto, houve aumento do erro absoluto dos três grupos no início do processo de adaptação, notadamente no primeiro bloco da fase de adaptação. Esses resultados permitem concluir que a modificação da tarefa gerou perturbação, mas que esta foi pequena, corroborando os estudos de TANI (1995) e UGRINOWITSCH (2003), nos quais a modificação perceptiva da tarefa gerou o menor grau de perturbação, seguida da modificação efetora e, por fim, da modificação perceptivo-efetora. Adicionalmente, não foi possível verificar diferenças entre os grupos quanto ao desempenho na adaptação à modificação na velocidade do estímulo visual.

Visando a análise mais profunda do processo de adaptação do PAOH adquirido mediante diferentes graus de liberdade de escolha, foram utilizadas medidas complementares que correspondem aos níveis macroscópico e microscópico do PAOH: média da variabilidade da proporção de tempo gasto entre os toques (macroestrutura) e média da variabilidade dos tempos de movimento intertoques (microestrutura). Para que sejam interpretadas, é necessária uma análise conjunta dessas medidas e das medidas de desempenho.

Nesse sentido, o grupo Med foi o único a alterar tanto a variabilidade da macro quanto da microestrutura no início da fase de adaptação, portanto, foi o único para o qual a modificação da tarefa gerou instabilidade na estrutura formada. Apesar disso, não foi detectada diferença entre os grupos, indicando que eles não apresentaram diferença nesse quesito. Ainda, esse aumento de instabilidade não afetou o desempenho do grupo Med que, ressalte-se, exibiu o mesmo desempenho dos demais grupos. Por conseguinte, esse aumento de instabilidade não foi suficiente para diferenciá-lo dos demais grupos. Em suma, a partir do comportamento estabilizado, não foi verificado efeito na capacidade de adaptação de indivíduos submetidos a diferentes condições de liberdade na escolha da resposta motora

perante uma modificação perceptiva da tarefa.

5 EXPERIMENTO 2

5.1 Objetivo

O objetivo desse experimento foi investigar o efeito do grau de liberdade na escolha da resposta, no processo adaptativo em aprendizagem motora. Mais especificamente, procurou-se testar a capacidade de adaptação de indivíduos a uma modificação efetora da tarefa, quando submetidos a diferentes condições de liberdade na escolha da resposta motora.

5.2 Método

5.2.1 Amostra

Participaram do experimento 48 voluntários, com média de idade de 21 ($\pm 5,6$) anos, de ambos os gêneros, sem experiência prévia com a tarefa. Todos preencheram um termo de consentimento pelo qual foram informados dos procedimentos da pesquisa, bem como de seus direitos como participante de um experimento para fins científicos. O presente estudo foi aprovado pela Comissão de Ética e Pesquisa da Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo (protocolo n°2006/08).

5.2.2 Equipamento e tarefa

Foi utilizado o aparelho de *timing* coincidente em tarefas complexas (Patente n° 0.403.1330-04), descrito no item 4.2.2 do presente documento. A tarefa consistiu em tocar seis sensores seqüencialmente de forma que o último toque coincidissem com o acendimento do último *led* da canaleta. O movimento era iniciado com a mão dominante do participante sobre o sensor de tempo de reação (FIGURA 11). Um esquema da disposição dos sensores, com a indicação de quais deveriam ser tocados e a seqüência de toques (dependendo do grupo experimental) foi posto junto

à mesa de resposta.

O experimento constou de duas fases: estabilização e adaptação; a fase de estabilização diferiu entre os grupos de acordo com a manipulação experimental.

5.2.3 Delineamento

No que se refere à fase de estabilização, o delineamento é idêntico ao descrito no item 4.2.3 do EXPERIMENTO 1.

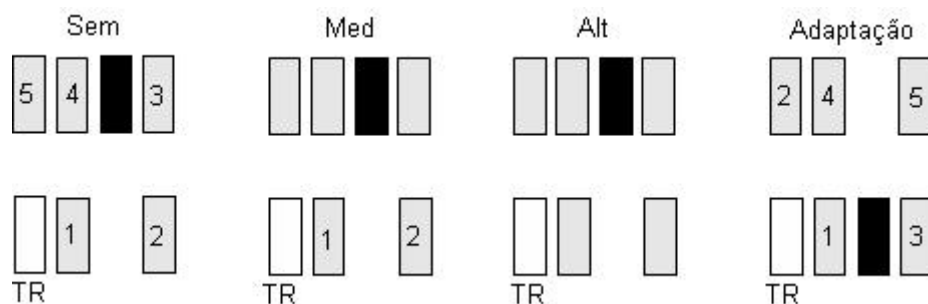


FIGURA 11 – Esquema da disposição dos sensores nas fases de estabilização – para os três grupos – e adaptação, com indicação do sensor alvo (em preto), do sensor tempo de reação (TR) e dos sensores que deveriam ser tocados pelos sujeitos (cinza). O seqüenciamento dos sensores (quando necessário) está representado pela numeração.

Na fase de adaptação a tarefa foi a mesma para todos os grupos. Nessa fase, os indivíduos realizaram uma seqüência não praticada de seis toques em correspondência com um estímulo visual de mesma velocidade em relação à fase de estabilização (FIGURA 11). Mais especificamente, a seqüência de toques foi pré-definida e a velocidade do estímulo visual permaneceu ajustada em 1,33 m/s. De acordo com o modelo teórico adotado, o intuito dessa modificação foi procurar provocar no sujeito uma perturbação de cunho estrutural (TANI, 1995; UGRINOWITSCH, 2003). Nesse sentido, pretendeu-se gerar um nível médio de instabilidade, em relação às modificações realizadas nos experimentos 1 e 3.

5.2.4 Procedimentos

Os procedimentos foram os mesmos descritos no item 4.2.4 do presente documento, com exceção das informações a seguir, referentes à fase de adaptação.

Imediatamente depois de alcançado o critério de estabilização (três tentativas consecutivas dentro da faixa de erro de 30 ms), os indivíduos foram informados de que: (a) restavam 30 tentativas para o término no experimento; (b) o objetivo da tarefa era o mesmo, mas uma nova seqüência de toques deveria ser realizada; (c) a nova seqüência ficaria disponível junto à mesa de resposta.

Ao término dessas 30 tentativas foi oferecida a oportunidade de esclarecer qualquer dúvida relacionada ao estudo.

5.2.5 Medidas

Como o objetivo desse experimento também foi o de investigar o efeito do grau de liberdade na escolha da resposta no processo adaptativo em aprendizagem motora, foram utilizadas as mesmas medidas descritas nos itens 4.2.5 e 4.2.6 do presente documento. Dessa forma, os critérios para a análise inferencial também são os mesmos descritos no item 4.2.7.

5.3 Resultados

5.3.1 Número de tentativas até o desempenho critério

A FIGURA 12 apresenta a distribuição dos participantes, nos três grupos, quanto ao número de tentativas. Descritivamente, o grupo Sem apresenta-se menos homogêneo que os demais. No entanto, conforme apontado pela ANOVA one-way, não há diferença significativa entre os grupos.

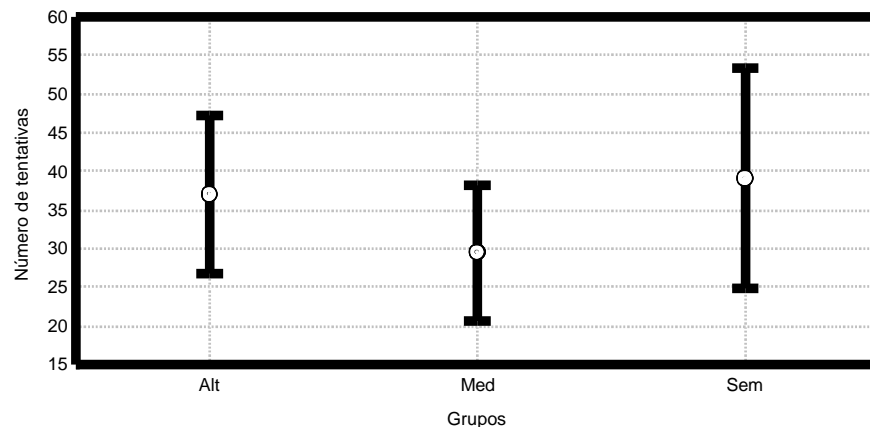


FIGURA 12 – Média e intervalo de confiança (95%) do número de tentativas necessárias para o alcance do critério de estabilização.

5.3.2 Variabilidade do seqüenciamento

A FIGURA 13 mostra uma diferença entre a variabilidade apresentada nos blocos inicial e final dessa fase por ambos os grupos, sendo mais expressiva a diferença para o grupo Alt. Além disso, nota-se uma grande diferença na variabilidade presente no bloco inicial dos dois grupos.

O teste de Wilcoxon encontrou diferença significativa entre o início e o fim da fase de estabilização para o grupo Alt ($Z = 1,98$; $p < 0,04$), o que corrobora a análise descritiva. Quando comparados os grupos, o teste de Kruskal-Wallis detectou diferença significativa no bloco inicial da fase de estabilização ($X^2[n = 48; gl = 2] = 15,31$; $p = 0,0005$), localizada entre os grupos Alt e Sem ($p < 0,00833$) pelo teste de *post hoc* sugerido por SIEGEL e CASTELLAN JÚNIOR (1988).

A FIGURA 14 mostra o grupo Alt apresentando maior variabilidade do seqüenciamento, em relação ao grupo Med, na fase de estabilização. O teste de Kruskal-Wallis apontou diferença entre os grupos ($X^2[n = 48; gl = 2] = 17,68$; $p = 0,0001$), mas ela foi localizada pelo teste de *post hoc* sugerido por SIEGEL e CASTELLAN JÚNIOR (1988) somente entre o grupo Sem e os demais ($p < 0,00833$).

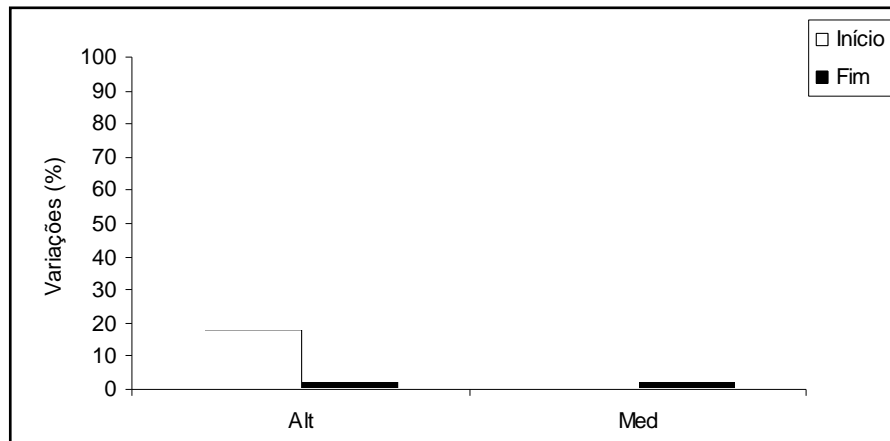


FIGURA 13 – Proporção de variações do seqüenciamento realizadas no início e no fim da fase de estabilização pelos grupos Alt e Med, por blocos de seis tentativas.

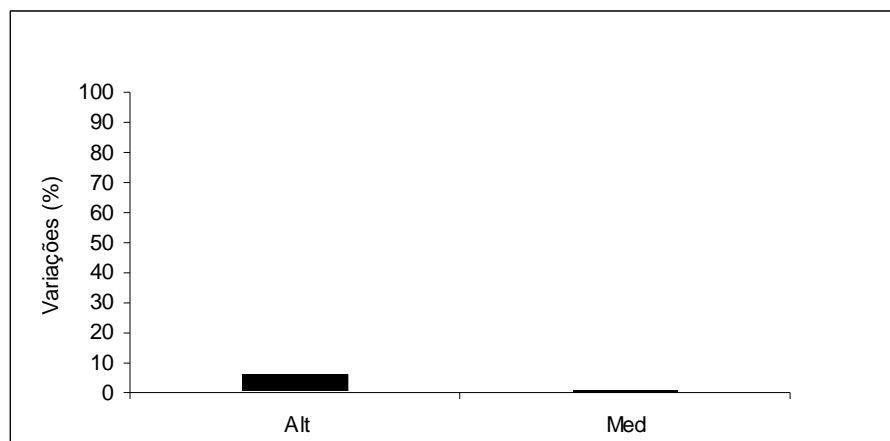


FIGURA 14 – Proporção de variações do seqüenciamento realizadas durante a fase de estabilização pelos grupos Alt e Med.

5.3.3 Medidas de desempenho

5.3.3.1 Erros de execução

A FIGURA 15 mostra uma diminuição dos erros de execução para os três grupos. Considerando-se o último bloco da fase de estabilização (E2) e os blocos da fase de adaptação (A1 a A5), observa-se um aumento do erro entre E2 e A1 e uma posterior diminuição entre A1 e A2 para os três grupos, com o grupo Alt apresentando a maior redução.

O grupo Sem apresenta um aumento do erro no bloco A3, retornando em

seguida ao nível de A2 e mantendo-se assim nos demais blocos. No bloco A4 o grupo Med atinge o nível apresentado em A1, mas retorna e converge com os demais grupos em A5.

O teste de Wilcoxon detectou diferença significativa entre E1 e E2 para os grupos Alt ($Z = 2,23$; $p = 0,025$) e Sem ($Z = 3,17$; $p = 0,001$), indicando uma diferença marginal para o grupo Med ($Z = 1,83$; $p = 0,06$). Corroborando a análise descritiva, não foi encontrada diferença entre os grupos. No que diz respeito à análise entre E2 e os blocos da fase de adaptação (A1 a A5), a ANOVA de Friedman detectou diferença significativa para os três grupos (Alt [$X^2(n = 16, gl = 5) = 17,47$; $p < 0,003$], Med [$X^2(n = 16, gl = 5) = 22,99$; $p < 0,0003$] e Sem [$X^2(n = 16, gl = 5) = 33,24$; $p < 0,0000$]). Nos grupos Alt e Med essas diferenças foram localizadas pelo teste de *post hoc* sugerido por SIEGEL e CASTELLAN JÚNIOR (1988) entre os blocos E2 e A1 ($p < 0,000238$). No grupo Sem essas diferenças foram localizadas entre E2 e os blocos A1 e A3 ($p < 0,000238$). Nessa fase também não foram detectadas diferenças entre os grupos.

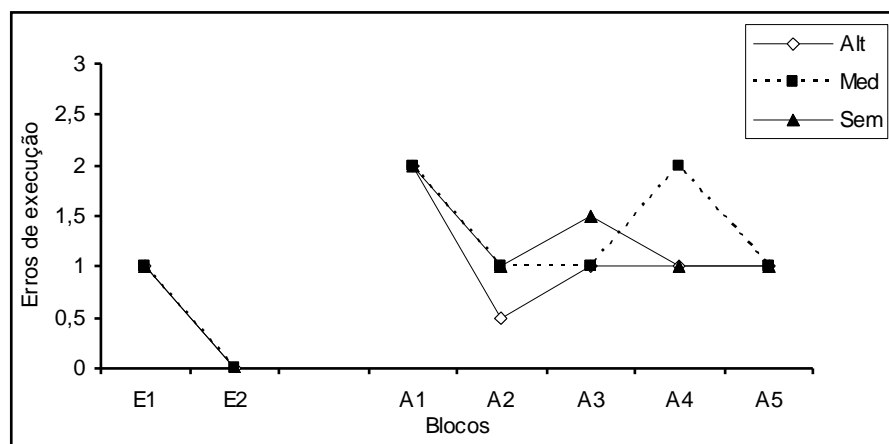


FIGURA 15 – Mediana dos erros de execução cometidos pelos grupos Alt, Med e Sem no início e no fim da fase de estabilização (E1 e E2) e na fase de adaptação (A1 a A5), por blocos de seis tentativas.

5.3.3.2 Erro absoluto

Os grupos apresentaram uma ligeira diferença no início da fase de estabilização, estando o grupo Sem com a maior magnitude, seguido pelos grupos Med e Sem. No final da fase de estabilização os três grupos mostraram um mesmo

erro absoluto. Como pode ser observado na FIGURA 16, o primeiro bloco da fase de adaptação foi marcado por um aumento expressivo do erro absoluto em relação ao apresentado no último bloco da fase de estabilização. Os grupos apresentam-se ligeiramente diferentes no bloco A1, tendo o grupo Med o menor valor de erro, seguido pelo grupo Sem e então, pelo grupo Alt. Entre A1 e A2 ocorre uma queda acentuada para todos os grupos que, por sua vez, mantém o erro absoluto nos demais blocos. Vale destacar que o grupo Alt apresenta uma redução menos expressiva que os grupos Med e Sem do primeiro para o segundo bloco de tentativas.

A ANOVA two-way detectou diferença entre os blocos inicial e final da fase de estabilização ($F[1,45] = 75,03$; $p < 0,01$). Essas diferenças foram localizadas pelo teste de *post hoc* de Tukey_(HSD), para os três grupos: Alt ($p = 0,0008$), Med ($p = 0,0014$) e Sem ($p = 0,00014$). Na análise compreendendo o último bloco da fase de estabilização e os blocos da fase de adaptação, a ANOVA de Friedman apontou diferença significativa para os três grupos (Alt [$\chi^2(n = 16, gl = 5) = 34,28$; $p < 0,001$], Med [$\chi^2(n = 16, gl = 5) = 28,10$; $p < 0,001$] e Sem [$\chi^2(n = 15, gl = 5) = 48,60$; $p < 0,001$]). Essas diferenças foram localizadas pelo teste de *post hoc* sugerido por SIEGEL e CASTELLAN JÚNIOR (1988) entre o último bloco da fase de estabilização (E2) e o primeiro e segundo blocos da fase de adaptação (A1 e A2) e entre A1 e A3 ($p < 0,000238$), no grupo Alt. No grupo Med as diferenças foram localizadas entre E2 e os blocos A1 e A2 ($p < 0,000238$). As diferenças no grupo Sem foram localizadas entre E2 e os blocos A1, A2 e A5 e entre A1 e os blocos A3 e A4.

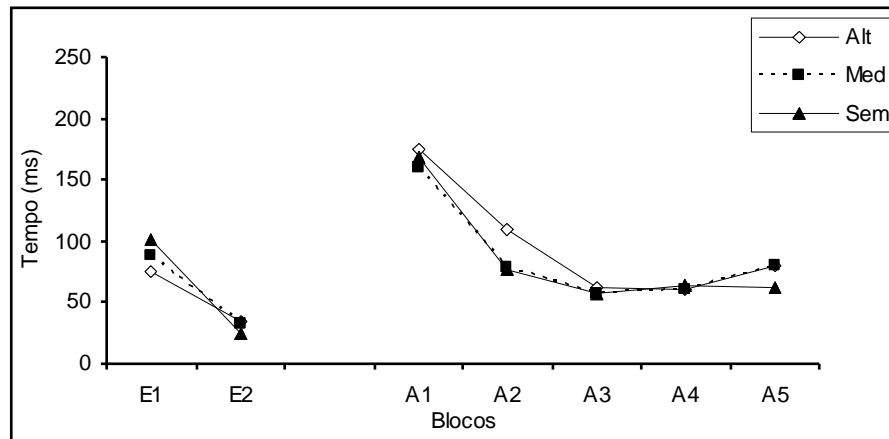


FIGURA 16 – Mediana do erro absoluto dos grupos Alt, Med e Sem no início e no fim da fase de estabilização (E1 e E2) e na fase de adaptação (A1 a A5), por blocos de seis tentativas.

5.3.3.3 Erro variável

Observando-se a FIGURA 17, nota-se que no início da fase de estabilização os grupos mostram magnitudes de erro diferentes, e o grupo Sem apresenta o maior valor, seguido dos grupos Med e Alt. Os três grupos diminuem o erro do início (E1) para o final da fase de estabilização (E2). Considerando-se o último bloco da fase de estabilização (E2) e os blocos da fase de adaptação (A1 a A5), observa-se um aumento expressivo do erro entre E2 e A1 e uma diminuição gradativa ao longo da fase de adaptação para os três grupos. A partir da FIGURA 17, nota-se que os grupos apresentaram um mesmo padrão durante a fase de adaptação, diferenciando-se somente o grupo Med no bloco A1, em que apresenta uma magnitude de erro menor que os demais.

O teste de Wilcoxon corrobora a análise descritiva indicando diferença significativa entre E1 e E2 para os três grupos (Alt [$Z = 3,10$; $p = 0,001$], Med [$2,53$; $p = 0,01$] e Sem [$3,30$; $p = 0,0009$]). Não foi detectada diferença entre os grupos pelo teste de Kruskal-Wallis, corroborando a análise descritiva. No que diz respeito à análise entre E2 e os blocos da fase de adaptação (A1 a A5), a ANOVA de Friedman detectou diferença significativa para os três grupos (Alt [$X^2(n = 15, gl = 5) = 24,94$; $p < 0,0001$], Med [$X^2(n = 15, gl = 5) = 13,13$; $p < 0,02$] e Sem [$X^2(n = 13, gl = 5) = 28,73$; $p < 0,00003$]). Nos grupos Alt e Sem essas diferenças foram localizadas pelo teste de *post hoc* sugerido por SIEGEL e CASTELLAN JÚNIOR (1988). No grupo Alt, as

diferenças foram localizadas entre E2 e A1 e entre A1 e A3 ($p < 0,000238$) e no grupo Sem entre E2 e os blocos A1 e A2 e entre A1 e A4 ($p < 0,000238$). As diferenças para o grupo Med foram localizadas entre A1 (71) e A4 (40) através da verificação dos postos de maior e menor valor. Não foram detectadas diferenças entre os grupos pelo teste de Kruskal-Wallis.

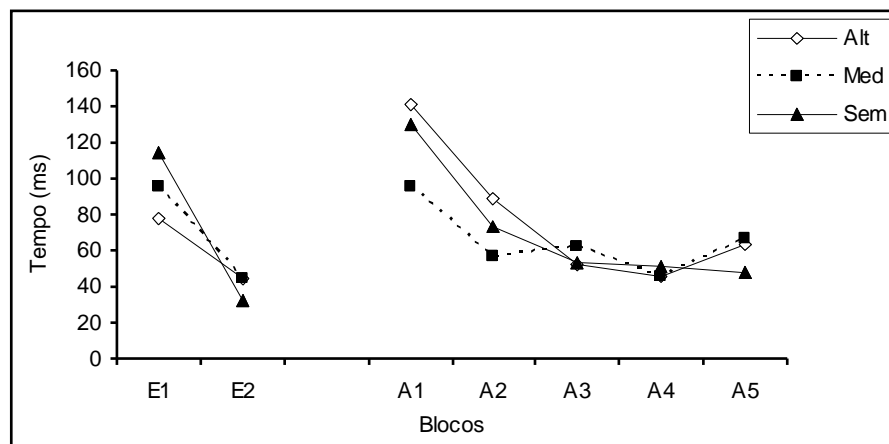


FIGURA 17 – Mediana do erro variável dos grupos Alt, Med e Sem no início e no fim da fase de estabilização (E1 e E2) e na fase de adaptação (A1 a A5), por blocos de seis tentativas.

5.3.4 Medidas complementares

5.3.4.1 Variabilidade da macroestrutura

Observando-se a FIGURA 18, nota-se um aumento da variabilidade entre E2 e A1 nos três grupos. Do bloco A2 até A4 há uma queda da variabilidade para os grupos Med e Sem, seguida de um aumento no bloco A5. O grupo Alt, ao contrário dos outros grupos, apresenta um aumento em A2. Entretanto, a partir do bloco A3, o grupo segue o mesmo padrão descrito pelos demais.

A ANOVA two-way detectou diferença entre blocos ($F(5, 200) = 5,98$; $p < 0,001$) não localizada pelo teste de *post hoc* de Tukey_(HSD). Assim, foram realizadas três ANOVAS one-way com o objetivo de localizar as diferenças detectadas pela primeira análise. Esses testes apontaram diferença para o grupo Alt ($F(5,70) = 3,24$; $p = 0,01$) e Med ($F(5,70) = 2,71$; $p = 0,02$). O teste de *post hoc* de Tukey_(HSD) localizou as diferenças para o grupo Alt entre A5 e os blocos A2 e A3, não as tendo

localizado para o grupo Med, cujo menor valor de p foi igual a 0,08 na comparação entre A3 e A5. Também nessa fase do experimento não foram identificadas diferenças entre os grupos.

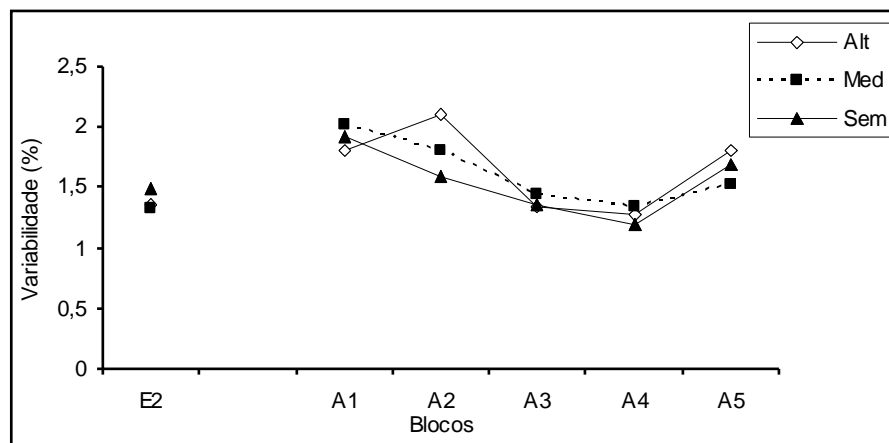


FIGURA 18 – Mediana da média dos desvios padrão dos tempos relativos para os grupos Alt, Med e Sem no fim da fase de estabilização (E2) e na fase de adaptação (A1 a A5), por blocos de seis tentativas.

5.3.4.2 Variabilidade da microestrutura

A FIGURA 19 mostra um aumento da variabilidade entre E2 e A1 nos três grupos; no bloco A1, os grupos apresentam uma ligeira diferença entre si, estando o grupo Sem seguido pelos grupos Med e Alt. No bloco A2 o grupo Sem apresenta uma diminuição da variabilidade, ao passo que o grupo Med mantém o mesmo nível de A1 e o grupo Alt mostra um ligeiro aumento. Do bloco A2 para o A3 há uma queda da variabilidade nos três grupos, que passam a exibir uma mesma magnitude dessa medida nos blocos subseqüentes.

A ANOVA de Friedman apontou diferença significativa no grupo Alt ($X^2[n = 15, gl = 5] = 18,92; p < 0,0019$) e uma diferença marginal no grupo Sem ($X^2[n = 13, gl = 5] = 10,71; p < 0,057$). Entretanto, o teste de *post hoc* sugerido por SIEGEL e CASTELLAN JÚNIOR (1988) não foi capaz de localizar as diferenças, tendo sido utilizada para isso a verificação dos postos de maior e menor valor. Assim, para o grupo Alt, a diferença foi localizada entre os blocos A2 (71) e A4 (37) e para o grupo Sem entre E2 (36) e A1 (62). Também nessa fase do experimento não foram encontradas diferenças entre grupos.

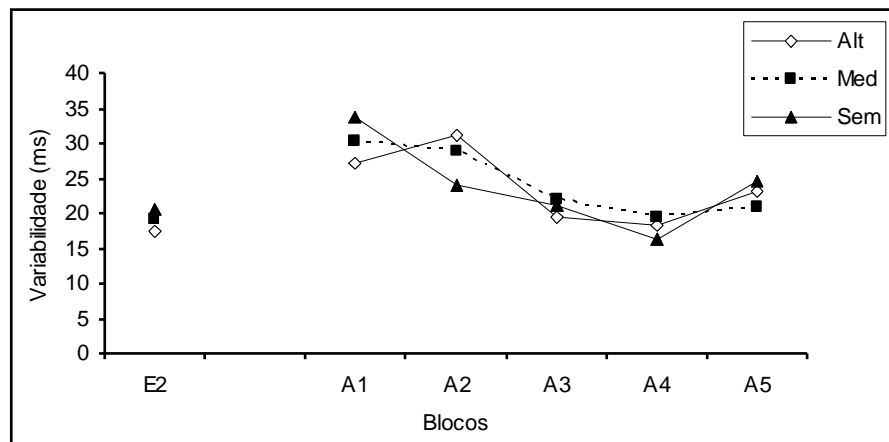


FIGURA 19 – Mediana da média dos desvios padrão dos tempos de movimento parciais para os grupos Alt, Med e Sem no fim da fase de estabilização (E2) e na fase de adaptação (A1 a A5), por blocos de seis tentativas.

5.4 Discussão

Esse experimento também procurou investigar o efeito do grau de liberdade na escolha da resposta no processo adaptativo em aprendizagem motora. A discussão dos dados será organizada da mesma forma que no EXPERIMENTO 1, ou seja, em função das fases de estabilização e adaptação, tendo como referência a medida do número de tentativas para alcance do critério de estabilização, a variabilidade do seqüenciamento, as medidas de desempenho – erros de execução, erro absoluto (EA) e erro variável (EV) – e as medidas complementares – variabilidade da macroestrutura e variabilidade da microestrutura.

Assim como verificado no experimento anterior, os grupos utilizaram um mesmo número de tentativas para estabilizar o desempenho. Esse resultado fornece segurança na interpretação de que os resultados referem-se aos efeitos da manipulação experimental, ou seja, à liberdade oferecida aos participantes na escolha do seqüenciamento.

Com base na medida de variabilidade do seqüenciamento, em toda a fase de estabilização, foi possível verificar que a liberdade de escolha oferecida foi utilizada pelos grupos Alt e Med, ainda que em pequeno grau. Além disso, o grupo Alt diminuiu a proporção de variações do seqüenciamento, ao nível do grupo Sem, do

início para o final da fase de estabilização. Assim, pode-se concluir que, ainda que haja liberdade para explorar diferentes soluções para o problema motor proposto, os indivíduos diminuem a proporção que o fazem para alcançarem a estabilidade funcional. Esse resultado corrobora o encontrado em estudos que investigaram o PAOH, sem a manipulação da liberdade de escolha (FREUDENHEIM, 1999; FREUDENHEIM & MANOEL, 1999; MANOEL et al., 2001, 2002; TANI, 1995 – experimento 4). Diferente do ocorrido no EXPERIMENTO 1 foi observada uma relação entre um maior grau de liberdade de escolha e uma maior variação. Essa conclusão é possível, pois embora não tenha havido diferença entre os grupos Alt e Med diretamente, somente o grupo Alt variou mais que o grupo Sem no início do processo de estabilização. Isso implica que oferecer maiores graus de liberdade de escolha pode determinar que haja maior exploração das possibilidades de solução dos problemas motores.

Com a estabilização do desempenho, os três grupos apresentaram menor quantidade de erros de execução em relação ao início do processo de aquisição. No que diz respeito ao erro absoluto, os grupos iniciaram o processo de estabilização num patamar de erro mais alto, sendo detectada uma melhora da precisão no alcance da meta entre o início e o final da fase de estabilização. Essa melhora foi acompanhada por um aumento da consistência do desempenho nos três grupos. Em conjunto, a melhora da precisão e da consistência no alcance da meta permite concluir que a tarefa utilizada foi aprendida.

A modificação da tarefa gerou perturbação aos três grupos, pois, provocou aumento dos erros de execução e queda na precisão (EA) e consistência (EV) do desempenho no início da fase de adaptação. Mais especificamente quanto ao EA foram necessários dois blocos de tentativas para que o mesmo retornasse ao nível apresentado no final da fase de estabilização. Por sua vez, no EXPERIMENTO 1, somente o EA sofreu alteração e retornou ao nível exibido no final da fase de estabilização com apenas um bloco de tentativas da fase de adaptação. Esses resultados permitem concluir que a modificação efetora da tarefa gerou perturbação e que ela foi maior do que a gerada pela modificação perceptiva no EXPERIMENTO 1. Esse resultado vai ao encontro dos achados de TANI (1995) e UGRINOWITSCH (2003), apontando para a mesma relação entre os tipos de modificação da tarefa e a magnitude da perturbação gerada.

Num sentido amplo pode-se afirmar que os grupos apresentaram melhora do desempenho ao longo da fase de adaptação havendo, no entanto, indicativos de um pior desempenho para o grupo Sem. Mais especificamente, o referido grupo aumentou a quantidade de erros de execução (A3) e a magnitude do erro absoluto (A5), sugerindo uma maior dificuldade desse grupo em adaptar-se à modificação efetora da tarefa. Em relação à consistência do desempenho, o grupo Med foi o único a mantê-la frente a uma modificação da tarefa. Contudo, esse dado não indica um melhor desempenho desse grupo comparativamente aos demais, uma vez que não houve precisão no alcance da meta.

A partir dos dados sobre as medidas correspondentes à variabilidade da macro e da microestrutura do PAOH, verifica-se que o grupo Alt oscilou a variabilidade da macroestrutura e, conseqüentemente, da microestrutura durante a fase de adaptação. Entretanto, não houve correspondência entre a oscilação na consistência do PAOH e o desempenho apresentado. Assim, infere-se que o grupo Alt procurou neutralizar a perturbação a partir de modificações estruturais e paramétricas. O grupo Med, todavia, com a modificação da tarefa, não alterou a variabilidade nas medidas correspondentes à macro e microestrutura; por outro lado, a consistência do PAOH utilizado não foi refletida num desempenho superior ao dos demais grupos. Por sua vez, o grupo Sem aumentou a variabilidade da microestrutura no início da fase de adaptação, indicando que esse grupo procurou neutralizar a perturbação gerada a partir de ajustes paramétricos; não obstante, diferente dos demais, o recurso utilizado por esse grupo não foi eficaz, pois houve indicativos de piora do desempenho ao longo da fase de adaptação.

Em suma, diante de uma modificação efetora da tarefa, estando o comportamento estabilizado, verifica-se efeito na capacidade de adaptação de indivíduos submetidos a diferentes condições de liberdade na escolha da resposta motora. Mais especificamente, os resultados sugerem que, em comparação às demais, a condição em que não houve liberdade na escolha da resposta propiciou a formação de um PAOH mais rígido para adaptar-se a uma modificação efetora da tarefa. Nesse sentido, concordando com o raciocínio de TANI (1982), o grau de liberdade na escolha da resposta motora afeta a formação de PAOH no que diz respeito à flexibilidade dos mesmos, ou seja, à capacidade de se adaptarem a novas exigências.

6 EXPERIMENTO 3

6.1 Objetivo

O objetivo desse experimento foi investigar o efeito do grau de liberdade na escolha da resposta no processo adaptativo em aprendizagem motora. Mais especificamente, procurou-se testar a capacidade de adaptação de indivíduos submetidos a diferentes condições de liberdade na escolha da resposta motora a uma modificação perceptivo-efetora da tarefa.

6.2 Método

6.2.1 Amostra

Participaram do experimento 45 voluntários, com média de idade de 23 (\pm 5,57) anos, de ambos os gêneros, sem experiência prévia com a tarefa. Todos preencheram um termo de consentimento pelo qual foram informados dos procedimentos da pesquisa, bem como de seus direitos como participante de um experimento para fins científicos. O presente estudo foi aprovado pela Comissão de Ética e Pesquisa da Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo (protocolo n°2006/08).

6.2.2 Equipamento e tarefa

Também nesse experimento foi utilizado o aparelho de *timing* coincidente em tarefas complexas (Patente n° 0.403.1330-04, descrito no item 4.2.2 deste documento). A tarefa consistiu em tocar seis sensores seqüencialmente de forma que o último toque coincidissem com o acendimento do último *led* da canaleta. O movimento era iniciado com a mão dominante do participante sobre o sensor de tempo de reação (FIGURA 20). Um esquema da disposição dos sensores, com a indicação de quais deveriam ser tocados e a seqüência de toques (dependendo do grupo experimental) foi posto junto à mesa de resposta. O experimento constou de

duas fases, quais sejam, estabilização e adaptação, sendo que a fase de estabilização diferiu entre os grupos de acordo com a manipulação experimental.

6.2.3 Delineamento

No que se refere à fase de estabilização, o delineamento é idêntico ao descrito no item 4.2.3 do EXPERIMENTO 1.

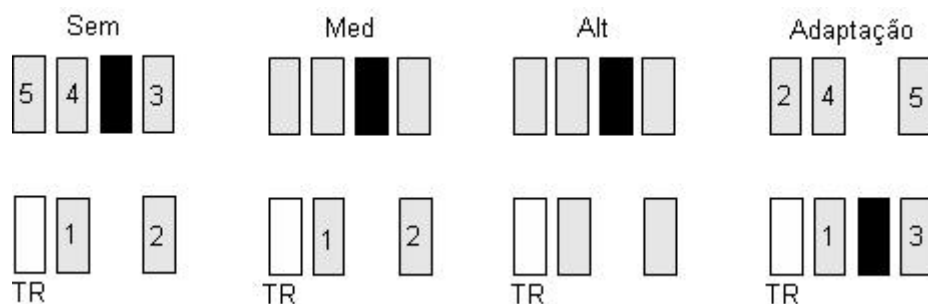


FIGURA 20 – Esquema da disposição dos sensores nas fases de estabilização – para dos três grupos – e adaptação, com a indicação do sensor alvo (em preto), do sensor tempo de reação (TR) e dos sensores que deveriam ser tocados pelos sujeitos (cinza). O seqüenciamento dos sensores (quando necessário) está representado pela numeração.

Na fase de adaptação a tarefa foi a mesma para todos os grupos. Nessa fase, os indivíduos deveriam realizar uma seqüência não praticada de seis toques em correspondência com um estímulo visual também modificado (FIGURA 20). Mais especificamente, a seqüência de toques foi pré-definida (idêntica à do EXPERIMENTO 2) e a velocidade do estímulo visual foi diminuída para 1,17 m/s (idêntica a do EXPERIMENTO 1). De acordo com o modelo teórico adotado, o intuito dessa modificação foi provocar no sujeito uma perturbação de maior grau do que somente a perceptiva ou a efetora (TANI, 1995; UGRINOWITSCH, 2003). Nesse sentido, o que se pretendeu foi gerar um nível alto de instabilidade, em relação às modificações realizadas nos experimentos 1 e 2.

6.2.4 Procedimentos

Os procedimentos foram os mesmos descritos no item 4.2.4 do presente documento, com exceção das informações a seguir, referentes à fase de adaptação.

Imediatamente após alcançado o critério de estabilização (três tentativas consecutivas dentro da faixa de erro de 30 ms), os indivíduos foram informados de que: (a) restavam 30 tentativas para o término no experimento; (b) o objetivo era o mesmo, mas uma nova seqüência de toques deveria ser utilizada; (c) a velocidade do estímulo visual seria diferente; (d) a nova seqüência ficaria disponível junto à mesa de resposta.

Ao término dessas 30 tentativas foi oferecida a oportunidade de esclarecer qualquer dúvida relacionada ao estudo.

6.2.5 Medidas

Como o objetivo desse experimento também foi o de investigar o efeito do grau de liberdade na escolha da resposta no processo adaptativo em aprendizagem motora, foram utilizadas as mesmas medidas descritas anteriormente nos itens 4.2.5 e 4.2.6. Dessa forma, os critérios para a análise inferencial também são os mesmos descritos no item 4.2.7.

6.3 Resultados

6.3.1 Número de tentativas até o desempenho critério

A FIGURA 21 apresenta a distribuição dos participantes, nos três grupos, quanto ao número de tentativas. Descritivamente, os grupos apresentam-se semelhantes, tendo o grupo Med a média ligeiramente inferior a dos demais. No entanto, conforme apontado pela ANOVA one-way, não há diferença significativa entre os grupos.

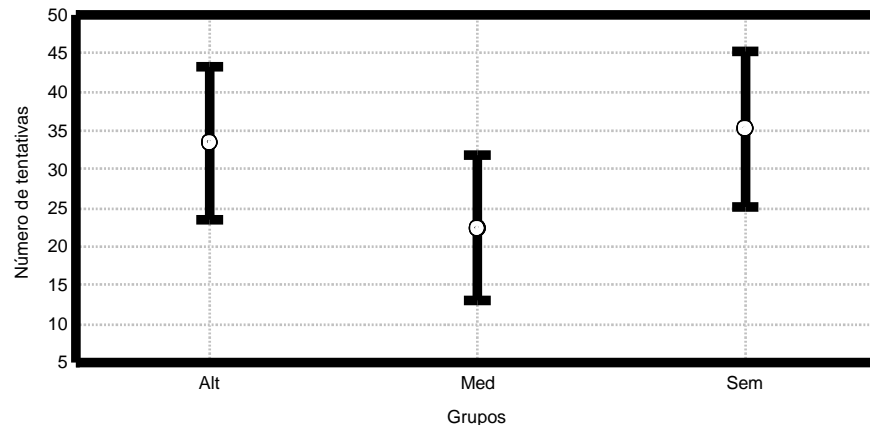


FIGURA 21 – Média e intervalo de confiança (95%) do número de tentativas necessárias para o alcance do critério de estabilização.

6.3.2 Variabilidade do seqüenciamento

A FIGURA 22 mostra uma diferença entre a variabilidade apresentada nos blocos inicial e final dessa fase pelos grupos Alt e Med, sendo mais expressiva a diferença para o grupo Alt. Além disso, nota-se uma grande diferença na variabilidade presente entre os blocos iniciais dos dois grupos.

O teste de Wilcoxon encontrou diferença significativa entre o início e o fim da fase de estabilização para o grupo Alt ($Z = 2,38$; $p = 0,017$), o que corrobora a análise descritiva. Quando comparados os grupos, o teste de Kruskal-Wallis detectou diferença significativa ($X^2[n = 45, gl = 2] = 11,5$; $p = 0,0032$), localizada entre os grupos Alt e Med ($p < 0,00833$) pelo teste de *post hoc* sugerido por SIEGEL e CASTELLAN JÚNIOR (1988).

A FIGURA 23 mostra os grupos Alt e Med apresentando uma mesma variabilidade do seqüenciamento durante a fase de estabilização. A análise inferencial corroborou a análise descritiva, uma vez que o teste de Kruskal-Wallis detectou diferença significativa ($X^2[n = 45, gl = 2] = 13,88$; $p = 0,001$) e ela foi localizada somente entre o grupo Sem e os demais ($p = 0,00833$), por meio do teste de *post hoc* sugerido por SIEGEL e CASTELLAN JÚNIOR (1988).

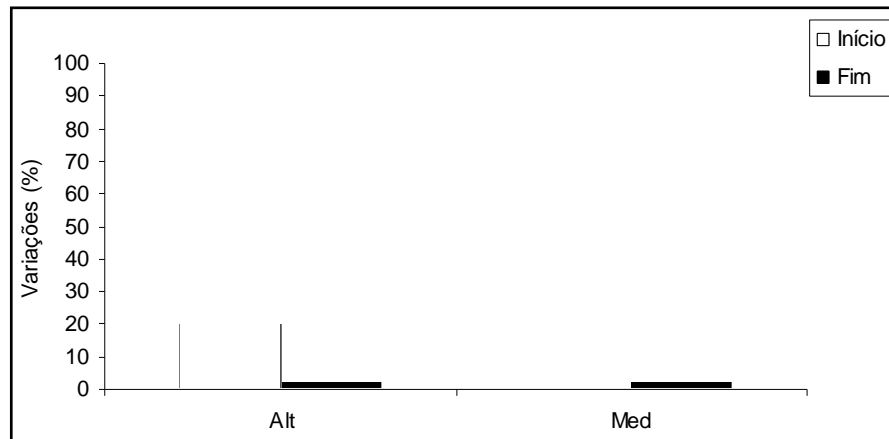


FIGURA 22 – Proporção de variações do seqüenciamento realizadas no início e no fim da fase de estabilização pelos grupos Alt e Med, por blocos de seis tentativas.

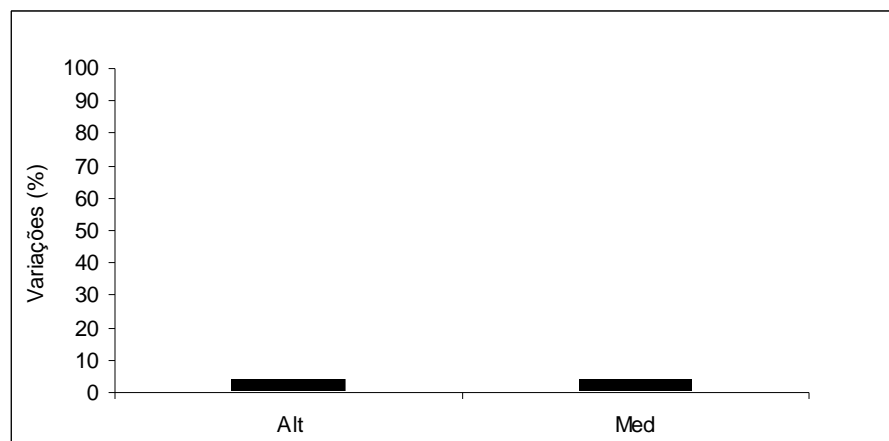


FIGURA 23 – Proporção de variações do seqüenciamento realizadas durante a fase de estabilização pelos grupos Alt e Med.

6.3.3 Medidas de desempenho

6.3.3.1 Erros de execução

Observando-se a FIGURA 24, nota-se que no início da fase de estabilização (E1) os grupos mostram magnitudes de erro diferentes, sendo que, o grupo Sem apresenta o maior valor, seguido pelo grupo Alt e, por fim, o grupo Med, cuja mediana não acusa erros de execução no bloco E1. Os grupos Alt e Sem diminuem o erro do início (E1) para o final (E2) da fase de estabilização, ao passo que o grupo Med mantém o valor nulo apresentado em E1. Considerando-se o último bloco da

fase de estabilização (E2) e os blocos da fase de adaptação (A1 a A5), observa-se um aumento do erro entre E2 e A1 para os três grupos, sendo mais expressivo para o grupo Alt. Os grupos Alt e Sem reduzem o erro em A2 e mantêm um mesmo nível até A5, sendo o erro do grupo Alt sempre superior ao do grupo Sem. O grupo Med, por sua vez, reduz o erro em A2, voltando a aumentar em A3 e reduzindo novamente em A5.

A análise inferencial corrobora a análise descritiva referente à fase de estabilização, visto que o teste de Wilcoxon indicou diferença significativa entre os blocos E1 e E2 para os grupos Alt e Sem ($Z = 2,93$; $p = 0,003$ e $Z = 2,93$; $p = 0,003$, respectivamente) e o teste de Kruskal Wallis detectou diferença significativa entre os grupos em E1 ($X^2[n = 45, gl = 2] = 7,805$; $p = 0,02$), localizada entre os grupos Med e Sem pelo teste de *post hoc* sugerido por SIEGEL e CASTELLAN JÚNIOR (1988). No que diz respeito à análise entre E2 e os blocos da fase de adaptação (A1 a A5), a ANOVA de Friedman detectou diferença significativa para os grupos Alt e Med ($X^2(n = 15, gl = 5) = 18,23$ $p < 0,002$ e $X^2(n = 15, gl = 5) = 12,34$; $p < 0,03$, respectivamente) e diferença marginal para o grupo Sem ($X^2(n = 15, gl = 5) = 10,77$; $p < 0,056$). Entretanto, somente a diferença para o grupo Alt foi localizada pelo teste de *post hoc* sugerido por SIEGEL e CASTELLAN JÚNIOR (1988), entre os blocos E1 e A1. Para os demais grupos a diferença foi localizada mediante a análise dos postos de maior e menor valor. Assim, para o grupo Med a diferença foi localizada entre os blocos E2 (35,5) e A1 (64), assim como para o grupo Sem (E2 = 44,5 e A1 = 69,5). O teste de Kruskal Wallis não detectou diferenças entre os grupos.

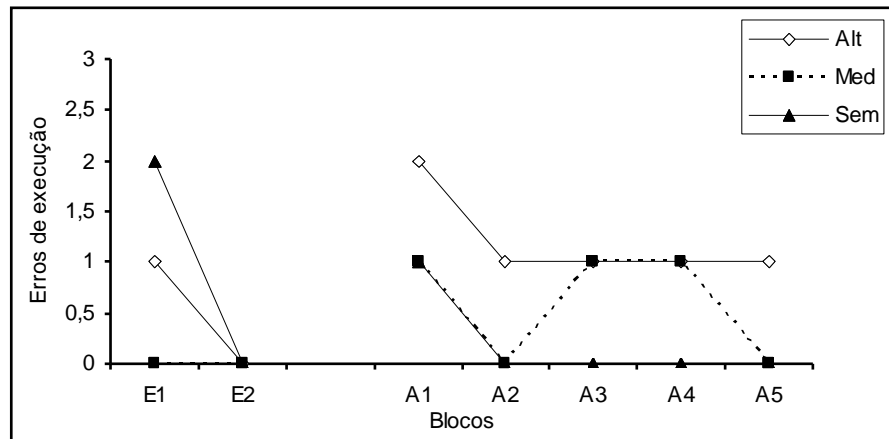


FIGURA 24 – Mediana dos erros de execução cometidos pelos grupos Alt, Med e Sem no início e no fim da fase de estabilização (E1 e E2) e na fase de adaptação (A1 a A5), por blocos de seis tentativas.

6.3.3.2 Erro absoluto

A FIGURA 25 mostra que os grupos apresentam um valor de erro semelhante tanto no bloco inicial da fase de estabilização (E1) quanto no bloco final (E2). Nota-se também que há uma diminuição do erro absoluto para os três grupos de E1 para E2.

Considerando-se o último bloco da fase de estabilização (E2) e os blocos da fase de adaptação (A1 a A5), observa-se um aumento do erro absoluto entre E2 e A1 nos três grupos. Entretanto, o grupo Alt apresenta maior valor de erro durante toda a fase de adaptação, em relação aos grupos Med e Sem. Destaca-se ainda uma tendência à diminuição do erro apresentado ao longo da fase de adaptação pelos três grupos.

A análise inferencial corrobora a análise descritiva referente à fase de estabilização, pois o teste de Wilcoxon indicou diferença significativa entre os blocos E1 e E2 para os três grupos (Alt [$Z = 3,40$; $p = 0,0006$], Med [$Z = 3,35$; $p = 0,0008$] e Sem [$Z = 2,89$; $p = 0,0003$]), e o teste de Kruskal Wallis não detectou diferença significativa entre os grupos nesses blocos. Em relação à análise entre E2 e os blocos da fase de adaptação (A1 a A5), a ANOVA de Friedman detectou diferença significativa para os três grupos (Alt [$\chi^2(n = 15, gl = 5) = 26,27$; $p < 0,00008$], Med [$\chi^2(n = 15, gl = 5) = 28,48$; $p < 0,00003$] e Sem [$\chi^2(n = 15, gl = 5) = 29,74$; $p < 0,00002$]). Nos grupos Alt e Sem essas diferenças foram localizadas pelo teste de *post hoc* sugerido por SIEGEL e CASTELLAN JÚNIOR (1988) entre E2 e os blocos

A1, A2 e A3 ($p < 0,000238$). No grupo Med, as diferenças estiveram localizadas entre E2 e os blocos A1 e A3 ($p = 0,000238$). Nessa fase do experimento, o teste de Kruskal Wallis indicou diferença significativa entre os grupos nos blocos A3, A4 e A5 ($X^2[n = 45, gl = 2] = 5,68; p = 0,058; X^2[n = 45, gl = 2] = 7,87; p = 0,01$ e $X^2[n = 45, gl = 2] = 12,28; p = 0,002$, respectivamente). O teste de *post hoc* sugerido por SIEGEL e CASTELLAN JÚNIOR (1988) não foi capaz de localizar a diferença encontrada no bloco A3, tendo sido utilizada a verificação dos postos de maior e menor valor. Dessa forma, a diferença foi localizada entre o grupo Alt e os demais (Alt = 444, Med = 269 e Sem = 295). O *post hoc* sugerido por SIEGEL e CASTELLAN JÚNIOR (1988) apontou o grupo Alt como diferente dos demais em A4 ($p < 0,00833$) e diferente do grupo Sem em A5 ($p < 0,00833$).

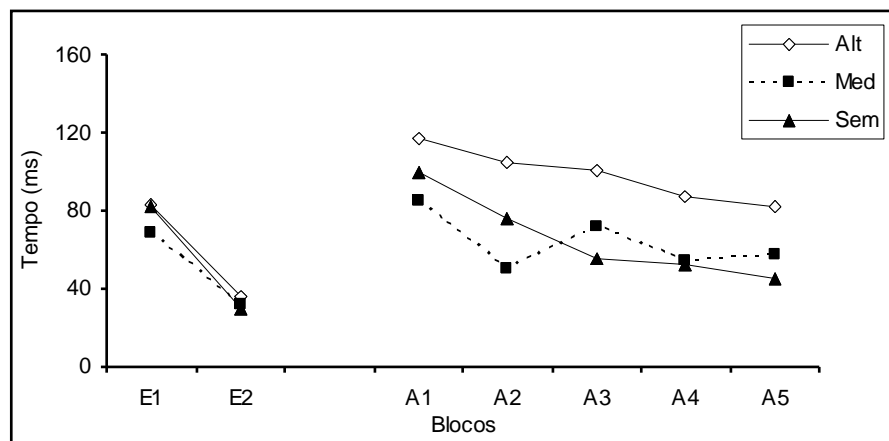


FIGURA 25 – Mediana do erro absoluto dos grupos Alt, Med e Sem no início e no fim da fase de estabilização (E1 e E2) e na fase de adaptação (A1 a A5), por blocos de seis tentativas.

6.3.3.3 Erro variável

A FIGURA 26 mostra que os grupos apresentam um valor de erro variável ligeiramente diferente no bloco inicial da fase de estabilização (E1), tendo o grupo Sem o maior valor, seguido dos grupos Med e Alt. Nota-se também que há uma diminuição do erro variável para os três grupos de E1 para E2 – bloco em que apresentam um valor semelhante. Considerando-se o último bloco da fase de estabilização (E2) e os blocos da fase de adaptação (A1 a A5), observa-se um aumento do erro variável entre E2 e A1 nos três grupos. O grupo Med apresentou o

maior valor de erro variável em A1, seguido pelos grupos Alt e Sem. O grupo Med apresenta uma queda acentuada entre A1 e A2, e mantém o desempenho nos demais blocos; o grupo Alt reduz gradualmente o erro até o bloco A4; o grupo Sem reduz ligeiramente o erro até A3, mantendo esse desempenho. Cabe ressaltar que o grupo Sem exibe o menor valor de erro durante toda a fase de adaptação.

A análise inferencial corrobora a análise descritiva referente à fase de estabilização, visto que o teste de Wilcoxon indicou diferença significativa entre os blocos E1 e E2 para os três grupos (Alt [$Z = 2,79$; $p = 0,005$], Med [$Z = 3,40$; $p = 0,0006$] e Sem [$Z = 2,06$; $p = 0,03$]) e o teste de Kruskal Wallis não detectou diferença significativa entre os grupos nesses blocos. No que diz respeito à análise entre E2 e os blocos da fase de adaptação (A1 a A5), a ANOVA de Friedman detectou diferença significativa para os três grupos (Alt [$X^2(n = 14, gl = 5) = 17,63$ $p < 0,003$], Med [$X^2(n = 15, gl = 5) = 20,06$; $p < 0,001$] e Sem [$X^2(n = 15, gl = 5) = 11,22$; $p < 0,04$]). O teste de *post hoc* sugerido por SIEGEL e CASTELLAN JÚNIOR (1988) localizou as diferenças para o grupo Med entre os blocos E2 e A1 ($p < 0,000238$), não localizando as diferenças para os grupos Alt e Sem. Dessa forma, foi utilizada a verificação dos postos de maior e menor valor, localizando as diferenças entre E2 (28) e A1 (61) para o grupo Alt e entre E2 e A2 para o grupo Sem. Nessa fase do experimento, o teste de Kruskal Wallis indicou diferença significativa entre os grupos nos blocos A3 e A5 ($X^2[n = 45, gl = 2] = 8,12$; $p = 0,01$ e $X^2[n = 45, gl = 2] = 6,83$; $p = 0,03$, respectivamente). O teste de *post hoc* sugerido por SIEGEL e CASTELLAN JÚNIOR (1988) apontou o grupo Alt como diferente do grupo Sem em ambos os blocos ($p < 0,00833$).

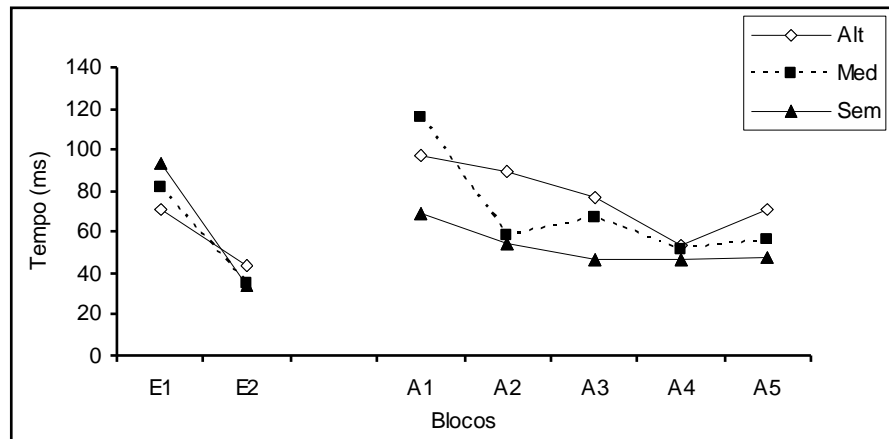


FIGURA 26 – Mediana do erro variável dos grupos Alt, Med e Sem no início e no fim da fase de estabilização (E1 e E2) e na fase de adaptação (A1 a A5), por blocos de seis tentativas.

6.3.4 Medidas complementares

6.3.4.1 Variabilidade da macroestrutura

Observando-se a FIGURA 27, nota-se um aumento da variabilidade entre E2 e A1 nos grupos Alt e Med. O grupo Alt apresenta uma tendência à diminuição da variabilidade até o bloco A4, havendo um ligeiro aumento em A5. O grupo Med diminui a variabilidade no bloco A2, retorna ao nível apresentado em A1 no bloco A3 e volta a diminuir até A5. Por sua vez, o grupo Sem mantém o nível de variabilidade apresentado em A1 durante toda a fase de adaptação, havendo somente uma ligeira diminuição no bloco A3.

A ANOVA de Friedman indicou diferença significativa para o grupo Med ($\chi^2(n = 15, gl = 5) = 16,48; p < 0,005$) que, todavia, não pôde ser localizada pelo teste de *post hoc* sugerido por SIEGEL e CASTELLAN JÚNIOR (1988). Assim, a diferença foi localizada, pela verificação dos postos de maior e menor valor, entre A1 (74) e os blocos A4 e A5 (41 e 40, respectivamente). O teste de Kruskal Wallis não detectou diferenças significantes entre os grupos nessa fase do experimento.

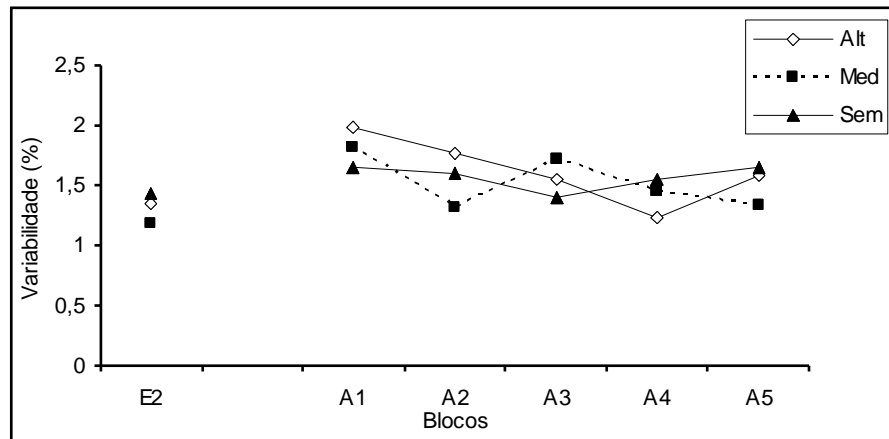


FIGURA 27 – Mediana da média dos desvios padrão dos tempos relativos para os grupos Alt, Med e Sem no fim da fase de estabilização (E2) e na fase de adaptação (A1 a A5), por blocos de seis tentativas.

6.3.4.2 Variabilidade da microestrutura

A partir da FIGURA 28 observa-se um aumento da variabilidade entre E2 e A1 nos três grupos, sendo mais expressiva a diferença para os grupos Med e Alt. No bloco A1 o grupo Sem apresenta uma variabilidade ligeiramente menor que os demais grupos, exibindo apenas pequenas oscilações nos blocos subsequentes.

O grupo Alt mostra, em relação ao bloco A1, uma ligeira diminuição da variabilidade no bloco A2, mantém esse nível em A3, diminui novamente em A4 e apresenta um valor próximo do obtido em A1 no bloco A5. Por sua vez, em relação ao bloco A1, o grupo Med diminui a variabilidade em A2, aumenta em A3, diminui novamente em A4 e mantém esse nível em A5.

A ANOVA de Friedman detectou diferença significativa para o grupo Med ($X^2(n = 15, gl = 5) = 23,38; p < 0,0009$), tendo sido localizada entre os blocos E2 e A1 pelo teste de *post hoc* sugerido por SIEGEL e CASTELLAN JÚNIOR (1988). Não foi detectada diferença entre os grupos nessa fase do experimento.

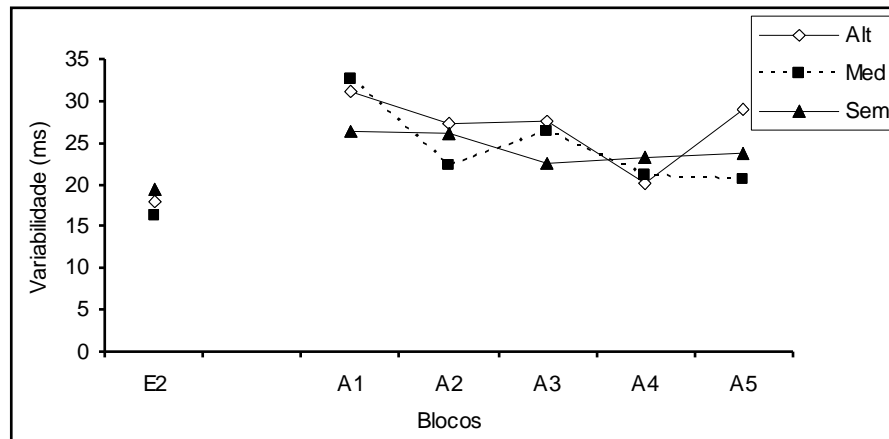


FIGURA 28 – Mediana da média dos desvios padrão dos tempos de movimento parciais para os grupos Alt, Med e Sem no fim da fase de estabilização (E2) e na fase de adaptação (A1 a A5), por blocos de seis tentativas.

6.4 Discussão

Assim como os anteriores, o terceiro experimento objetivou investigar o efeito do grau de liberdade na escolha da resposta no processo adaptativo em aprendizagem motora. A discussão dos dados será organizada da mesma forma que no EXPERIMENTO 1, ou seja, em função das fases de estabilização e adaptação, tendo como referência a medida do número de tentativas para alcance do critério de estabilização, a variabilidade do seqüenciamento, as medidas de desempenho – erros de execução, erro absoluto (EA) e erro variável (EV) – e as medidas complementares – variabilidade da macroestrutura e variabilidade da microestrutura.

O número de tentativas para estabilizar o desempenho foi o mesmo para os três grupos, minimizando a possibilidade de ter ocorrido efeito da dificuldade da tarefa ou do número de tentativas.

Utilizando-se da medida de variabilidade do sequenciamento na fase de estabilização foi possível verificar que a liberdade de escolha oferecida foi usada pelos grupos Alt e Med, ainda que em pequeno grau. Por outro lado, com base na medida nos blocos inicial e final da fase de estabilização, observou-se uma diminuição da variação, ao nível do grupo sem liberdade de escolha. Dessa forma, assim como nos experimentos anteriores, houve diminuição da variabilidade do seqüenciamento, explicada em virtude da busca da estabilidade funcional

(FREUDENHEIM, 1999; FREUDENHEIM & MANOEL, 1999; MANOEL et al., 2001, 2002; TANI, 1995 – experimento 4).

Da mesma forma que nos experimentos anteriores, embora não tenha havido diferença entre os grupos Alt e Med diretamente, somente o grupo Alt variou mais que o grupo Sem no início do processo de estabilização. Isso implica que oferecer maiores graus de liberdade de escolha pode determinar que haja maior exploração das possibilidades de solução dos problemas motores.

Em relação ao desempenho, foi possível notar que, com a estabilização, os grupos Alt e Sem apresentaram menor quantidade de erros de execução em relação ao início do processo de aquisição. O grupo Med, por sua vez, apresentou uma baixa quantidade de erros tanto no início quanto no final do processo de estabilização. Um dado importante é que, no início da prática, o grupo Sem cometeu mais erros do que o grupo Med. Essa maior quantidade de erros pode ser explicada pela exigência de um padrão de movimento específico para esse grupo que, quando não realizado, era contabilizado como erro de execução. Um baixo grau de liberdade de escolha acarretou uma maior dificuldade em executar a habilidade no início do processo de aquisição, sendo o grau médio de liberdade de escolha o mais adequado nesse sentido. Corroborando os experimentos anteriores, houve melhora da precisão (EA) e da consistência (EV) no alcance da meta, permitindo concluir que a tarefa utilizada precisou ser aprendida.

A modificação da tarefa afetou igualmente o desempenho de todos os grupos no que se refere à execução de erros grosseiros (erros de execução), à precisão e a consistência do desempenho. No entanto, os grupos apresentaram diferentes processos de adaptação se comparados entre si: o grupo Alt exibiu maior erro absoluto que os demais grupos durante essa fase, acompanhado de um desempenho menos consistente que o do grupo Sem. Esses dados permitem concluir que a condição com maior liberdade de escolha, durante o processo de estabilização do desempenho (fase de estabilização), proporciona adaptação menos eficiente perante uma modificação nos aspectos efetor e perceptivo da tarefa. Além disso, a medida de erro absoluto sugere que o grupo Med tendeu a uma recuperação do desempenho mais rápida que o grupo Sem, visto que, reduziu o erro apresentado já no segundo bloco de tentativas.

Os resultados desse experimento, assim como os dos experimentos

anteriores, corroboram os obtidos por TANI (1995) e UGRINOWITSCH (2003), no que diz respeito à relação entre a modificação da tarefa e a magnitude da perturbação gerada. Mais especificamente, no presente experimento foram necessários três blocos de tentativas para que o desempenho (EA) dos grupos retornasse ao nível exibido no final da fase de estabilização, ao passo que no EXPERIMENTO 2 foram necessários dois blocos e no EXPERIMENTO 1 somente um bloco. Assim, no presente estudo foi observada a mesma relação que nos estudos de TANI (1995) e UGRINOWITSCH (2003), ou seja, com a modificação perceptiva gerando a menor perturbação, seguida da modificação efetora e, por fim, da modificação perceptivo-efetora.

O pior desempenho obtido pelo grupo Alt durante a fase de adaptação não foi acompanhado de modificação na variabilidade da macro ou da microestrutura do PAOH adquirido, o que permite dizer que a condição com alto grau de liberdade de escolha implicou na formação de um PAOH rígido para adaptar-se a uma modificação perceptivo-efetora da tarefa. O grupo Sem também não alterou a variabilidade da macro ou da microestrutura com a modificação da tarefa, entretanto, apresentou um desempenho mais preciso e consistente do que o grupo Alt, implicando um PAOH com mais recursos que o adquirido na condição com maior grau de liberdade de escolha. O grupo Med respondeu à modificação da tarefa aumentando a variabilidade da microestrutura no início da fase de adaptação, isto é, realizando uma adaptação paramétrica; em conjunto com o indicativo de recuperação mais rápida do desempenho (EA), esse dado sugere que a condição em que foi oferecido um grau intermediário de liberdade de escolha, durante o processo de estabilização, proporcionou a formação de um PAOH mais flexível para se adaptar a uma modificação perceptivo-efetora da tarefa. Nesse sentido, os resultados vão ao encontro dos obtidos por TANI (1982), denotando a necessidade de um grau ótimo de liberdade de escolha durante o processo de estabilização de uma habilidade motora. Todavia, essa interpretação deve ser tomada com cautela, uma vez que não houve diferença significativa entre os grupos.

7 DISCUSSÃO GERAL

Ao analisarmos um comportamento motor habilidoso podemos identificar a presença simultânea de dois aspectos aparentemente antagônicos que são a consistência e a flexibilidade. A consistência pode ser identificada, por exemplo, quando há repetição de um mesmo padrão de movimento, ao passo que a flexibilidade é vista nos detalhes do movimento que se modificam de tentativa para tentativa para lidar com a demanda ambiental ou para a correção de pequenos erros.

De acordo com a proposta de processo adaptativo (CHOSHI^{1,2,3}, citado por TANI, 2005a; CHOSHI & TANI⁴, citados por TANI, 2005a; TANI, 1982, 1989, 1995; TANI et al., 1992), o comportamento motor habilidoso é continuamente adquirido por meio de ciclos de instabilidade-estabilidade-instabilidade, sendo que, quando se trata de habilidades com grande demanda cognitiva, ocorre nesse processo a formação de uma estrutura cognitiva crescentemente complexa. A idéia de que as habilidades motoras são controladas centralmente não é recente (por exemplo, LASHLEY, 1917), havendo diferentes proposições sobre sua natureza em decorrência de problemas teóricos encontrados nas propostas ou mesmo porque algumas delas não atenderam a características do fenômeno. Mais especificamente, essa estrutura cognitiva já foi vista como específica para cada movimento (KEELE, 1968), generalizada para uma classe de movimentos (SCHMIDT, 1975), distribuída ao longo do sistema nervoso (PEW, 1984; TURVEY, 1977) e organizada hierarquicamente (ROSENBAUM, 1985; ROSENBAUM, KENNY & DERR, 1983). Entretanto, nenhuma das proposições citadas anteriormente é capaz de solucionar os problemas clássicos de armazenamento, novidade e gênese, bem como de explicar o aumento de complexidade das habilidades motoras e dar conta da consistência e flexibilidade características do comportamento motor habilidoso.

MANOEL e CONNOLLY (1995, 1997) e TANI (1995, 2000, 2005b) têm proposto uma estrutura, baseados fundamentalmente nas idéias de organização hierárquica da complexidade (KOESTLER, 1967), que soluciona os desafios listados. Nessa proposta, a estrutura adquirida é um programa de ação organizado hierarquicamente (PAOH) em dois níveis, quais sejam, macroscópico e microscópico: o nível macroscópico do programa é orientado à ordem e responsável pela consistência das ações motoras habilidosas; o nível microscópico é orientado à

desordem, permitindo a flexibilidade das ações.

Dessa forma, o presente estudo assume que o processo de aquisição de habilidades motoras é contínuo e se dá por meio de um processo adaptativo que alterna momentos de instabilidade-estabilidade-instabilidade. Além disso, que subjacente a esse processo há a formação de PAOH, cuja concepção além de superar os problemas clássicos apresentados pelas concepções de programa vigentes, permite explicar as características de permanência/mudança e consistência/flexibilidade do comportamento motor de forma complementar.

Um aspecto central do presente estudo é o aparente paradoxo de que embora todos os indivíduos aprendam habilidades motoras com alta demanda cognitiva por meio de um processo adaptativo e adquiram representações mentais de mesma natureza (PAOH), os mesmos podem apresentar um desempenho equivalente numa determinada condição da tarefa, mas possuir diferenças individuais na capacidade de adaptação. TANI (1982) elucidou essa questão encontrando evidências de que a liberdade na escolha da resposta é um fator capaz de influenciar a capacidade de adaptação de indivíduos a novas situações e tarefas motoras. Uma linha de argumentação utilizada pelo autor é que os programas motores adquiridos em diferentes regimes de liberdade de escolha diferenciam-se no que se refere a flexibilidade para se adaptarem. A aquisição de programas flexíveis, ou seja, capazes de gerar respostas adequadas a diferentes demandas, é fundamental para que o indivíduo possa manter um bom desempenho diante das exigências de um contexto em constante mudança.

Considerando essa reflexão, foram realizados três experimentos com o objetivo de investigar o efeito do grau de liberdade na escolha da resposta no processo adaptativo em aprendizagem motora. Com essa finalidade, procurou-se gerar um nível diferente de perturbação – em cada experimento – a indivíduos que adquiriram PAOHs em três condições distintas de liberdade de escolha: sem liberdade de escolha (Sem); grau alto (Alt) e grau intermediário (Med). As modificações realizadas na tarefa foram baseadas nos estudos de TANI (1995) e UGRINOWITSCH (2003), nos quais a modificação perceptiva gerou menor grau de perturbação, a efetora gerou um grau intermediário e a perceptivo-efetora, o maior grau. Os dados do presente estudo corroboraram os desses dois autores, pois em razão da modificação realizada, foi necessária uma maior quantidade de blocos de

tentativas para que o desempenho (erro absoluto) retornasse aos níveis exibidos no último bloco da fase de estabilização. Pode-se dizer que os grupos precisaram somente de um bloco de tentativas para recuperarem o desempenho quando a modificação foi perceptiva, dois blocos para a modificação efetora e três blocos para a modificação perceptivo-efetora. No entanto, diferente do esperado e com base em uma análise descritiva, notou-se que a modificação efetora (EXPERIMENTO 2) ocasionou uma maior magnitude de erro absoluto do que a modificação perceptivo-efetora (EXPERIMENTO 3). Uma forma de explicar esse dado é atentar para o fato de que a modificação perceptiva consistiu na redução da velocidade do estímulo luminoso. Assim, se no EXPERIMENTO 3 os indivíduos tiveram mais tempo para realizar a nova seqüência de toques da fase de adaptação (1728 ms), no EXPERIMENTO 2 os sujeitos tiveram que executar a nova seqüência (idêntica à do EXPERIMENTO 3) no mesmo intervalo de tempo utilizado na fase de estabilização (1536 ms).

No EXPERIMENTO 1 não houve diferença no processo adaptativo dos indivíduos à modificação perceptiva da tarefa, isto é, o processo adaptativo mostrou-se independente da condição de liberdade de escolha em que a habilidade foi estabilizada. De certo modo, esse dado vai ao encontro dos resultados de UGRINOWITSCH (2003), dos quais foi observado que mesmo indivíduos que ainda não haviam estabilizado a habilidade motora foram capazes de manter o desempenho em face de uma modificação perceptiva da tarefa.

No EXPERIMENTO 2 esperava-se encontrar alguma diferença entre os grupos, em virtude da modificação da tarefa estar diretamente relacionada com o aspecto manipulado para oferecer liberdade de escolha: o seqüenciamento dos toques. Contudo, não foi encontrada diferença entre os grupos na fase de adaptação, havendo somente indicativos de que o grupo Sem teve um pior desempenho. Esse grupo, diferente dos demais, aumentou os erros de execução no bloco A3 e o erro absoluto no bloco A5, em relação ao exibido no último bloco da fase de estabilização. Esses dados sugerem que, em relação às demais condições, a condição em que não houve liberdade na escolha da resposta motora levou à aquisição de um PAOH mais rígido para adaptar-se a uma modificação efetora da tarefa (EXPERIMENTO 2). Esses indicativos estão de acordo com os resultados de TANI (1982), nos quais o grupo que praticou uma habilidade seriada de basquetebol numa condição com

menor grau de liberdade de escolha teve um pior desempenho na adaptação a uma nova condição. A explicação do autor para esse dado advém das idéias de KOESTLER (1967) sobre as habilidades motoras serem controladas por regras fixas que, por sua vez, controlam estratégias flexíveis. Assim, TANI (1982) atribuiu o pior desempenho do grupo com menor grau de liberdade de escolha à ênfase dada às regras fixas que controlam as estratégias flexíveis da habilidade motora. Fazendo-se um paralelo com as idéias de KOESTLER (1967), pode-se entender a macroestrutura do PAOH como correspondente às regras fixas e a microestrutura como as estratégias flexíveis desse mesmo PAOH. Assim, a prescrição externa da interação entre os componentes da habilidade motora, ou nesse caso específico, o pré-estabelecimento da seqüência de toques nos sensores, pode ter conferido maior rigidez ao PAOH, ou seja, menos recursos para a adaptação.

No EXPERIMENTO 3, quando foi inserida uma modificação perceptivo-efetora na tarefa, o grupo que estabilizou a habilidade motora na condição com maior grau de liberdade na escolha da resposta (Alt) obteve o pior desempenho (erro absoluto). TANI (1995, 2005b) propõe que no processo de formação de um PAOH ocorre a transformação de ruído (e outros fatores associados à incerteza) em informação/sinal. Por isso, pode-se dizer que a presença de maior incerteza, proporcionada por um alto grau de liberdade na escolha da resposta motora, ocasiona a formação de um PAOH com poucos recursos para adaptar-se a uma modificação perceptivo-efetora da tarefa.

Considerando os resultados obtidos nos três experimentos pode-se concluir que o efeito do grau de liberdade na escolha da resposta no processo adaptativo foi dependente da magnitude da perturbação gerada na fase de adaptação.

No estudo de TANI (1982), o oferecimento de um maior grau de liberdade de escolha prejudicou o alcance da estabilidade funcional. O mesmo não ocorreu na presente investigação, visto que foi estabelecido um critério de alcance da estabilidade funcional para os três grupos e, mesmo assim, o número de tentativas necessárias para se estabilizar a habilidade motora foi semelhante entre os grupos. Portanto, diferente do ocorrido com TANI (1982), os resultados do presente estudo não podem ser creditados a um prejuízo no alcance da estabilidade, mas sim à condição imposta aos sujeitos.

Ainda, TANI (1982) propôs que um grau ótimo de liberdade de escolha seria

necessário para formar programas motores mais flexíveis para se adaptarem. Os dados do EXPERIMENTO 3 fornecem indicativos para essa suposição, apontando uma tendência de que o grupo Med tenha se adaptado de forma mais eficiente. Mais especificamente, há uma diminuição do erro absoluto pelo referido grupo no segundo bloco da fase de adaptação (A2), ocorrendo para os demais grupos somente no quarto bloco. Entretanto, o desempenho não foi mantido nesse nível pelo grupo Med, tendo aumentado o erro em A3 e, como os demais grupos, diminuído em A4. Adicionando a esse dado o fato de que não houve diferença entre o grupo Med e os demais, esse resultado deve ser tomado com cautela, sendo interpretado como um indicativo de que a condição em que foi oferecido um grau intermediário de liberdade de escolha, proporcionou a formação de um PAOH com mais recursos para a adaptação a uma modificação perceptivo-efetora da tarefa.

Estudos sobre liberdade de escolha do aprendiz, ou contextos auto-controlados em Aprendizagem Motora, têm reportado efeitos benéficos do fornecimento dessa liberdade (BOYCE, 1992; JANELLE, et al., 1997; JANELLE, KIM & SINGER, 1995; WU & MAGILL, 2004; WULF, RAUPACH & PFEIFFER, 2005; WULF & TOOLE, 1999). Entretanto, nenhum dos estudos citados anteriormente investigou o efeito dessa variável na resposta motora, mas sim como um fator regulador de uma outra variável como, por exemplo, a frequência de fornecimento de *feedback* (JANELLE, et al., 1997; JANELLE, KIM & SINGER, 1995) e a estrutura de prática (WU & MAGILL, 2004). Além disso, não foi utilizado o mesmo referencial teórico, o que dificulta relacionar os resultados encontrados e as argumentações utilizadas para explicá-los. Um argumento recorrente nos estudos citados, para explicar os benefícios do oferecimento de liberdade de escolha é que essa liberdade torna o aprendiz mais ativo no processo de aprendizagem.

Um dado do presente estudo que aponta nesse sentido é que a variabilidade do seqüenciamento nos grupos com liberdade de escolha (Alt e Med) foi maior do que no grupo controle dessa variável (Sem), nos três experimentos. No entanto, é importante ressaltar que essa variação foi pequena e que no EXPERIMENTO 1, 40% dos participantes do grupo Alt não realizou nenhuma variação em toda a fase de estabilização; no EXPERIMENTO 2 foram 25% e, no EXPERIMENTO 3, 33%. No grupo Med esses valores são um pouco mais elevados, sendo 46% dos participantes no EXPERIMENTO 1, 50% no EXPERIMENTO 2 e 46% no EXPERIMENTO 3. Essa

diferença descritiva entre os grupos é mais um indicativo de que o grau de liberdade na escolha da resposta tem efeito sobre o processo de aquisição de habilidades motoras e, conseqüentemente, sobre a natureza do PAOH.

8 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

O objetivo do presente estudo foi investigar o efeito do grau de liberdade na escolha da resposta no processo adaptativo em aprendizagem motora. Para isso, foram realizados três experimentos, nos quais indivíduos que estabilizaram uma habilidade motora a partir de três graus distintos de liberdade na escolha da resposta foram testados em sua capacidade de adaptação a modificações da tarefa: perceptiva (EXPERIMENTO 1), efetora (EXPERIMENTO 2) e perceptivo-efetora (EXPERIMENTO 3). Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que:

- Em um comportamento estabilizado, há hierarquia de graus de perturbação gerados pelas modificações perceptiva, efetora e perceptivo-efetora. Mais especificamente, a modificação perceptiva gera o menor grau de perturbação, seguida pela modificação efetora e, por fim, da modificação perceptivo-efetora. Esse dado concorda com os obtidos por TANI (1995) e UGRINOWITSCH (2003).
- Estando o desempenho estabilizado, o grau de liberdade na escolha da resposta, oferecido durante o processo de estabilização de uma habilidade motora, não afeta o processo adaptativo frente a uma modificação perceptiva da tarefa.
- A ausência de liberdade na escolha da resposta dificulta o início do processo de estabilização da habilidade motora sendo praticada.
- Há indicativos de que, estando o desempenho estabilizado, o grau de liberdade na escolha da resposta, oferecido durante o processo de estabilização de uma habilidade motora, afeta o processo adaptativo diante de modificações efetoras da tarefa.
- Uma vez estabilizado o desempenho, o grau de liberdade na escolha da resposta,

oferecido durante o processo de estabilização de uma habilidade motora, afeta o processo adaptativo frente a uma modificação perceptivo-efetora da tarefa.

- Em suma, considerando-se os itens anteriores, conclui-se que o efeito do grau de liberdade na escolha da resposta no processo adaptativo, depende da magnitude da perturbação.

Em razão das delimitações adotadas para a realização do presente estudo e dos resultados obtidos, percebe-se a importância de dar continuidade à investigação dessa variável, ou seja, de buscar mais conhecimentos sobre o efeito do grau de liberdade na escolha da resposta no processo adaptativo. Nesse sentido, a seguir são apresentados alguns exemplos mais específicos de possíveis estudos:

a) O presente estudo investigou o efeito da variável liberdade de escolha a partir do desempenho estabilizado (critério de três tentativas). Em decorrência, entende-se que há necessidade de se realizar investigações que considerem níveis de estabilidade distintos, ou seja, pré-estabilização, estabilização e pós-estabilização.

b) Investigar a formação do PAOH ao longo da fase de estabilização, procurando identificar o efeito do grau de liberdade de escolha também na formação dessa estrutura.

c) Em função da concepção de processo de aquisição de habilidades motoras adotada, considerar a continuidade e progressividade do processo adaptativo, por exemplo, incluindo mais ciclos de estabilidade-instabilidade nos experimentos.

d) Em função de no presente estudo os dados terem mostrado pouca diferença no uso da liberdade de escolha entre os grupos Alt e Med. buscar delineamentos que acentuem o efeito da variável independente, por exemplo, utilizando tarefas mais complexas e/ou fornecendo instruções que ressaltem aos participantes a liberdade de escolha disponível.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, J.A. A closed-loop theory of motor learning. *Journal of Motor Behavior*, Washington, v.3, p.111-150, 1971.
- 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. p.3-45.
- ARAUJO, U.O.; BASTOS, F.H.; FREUDENHEIM, A.M. Efeito da restrição do erro ao longo do processo de aquisição de habilidades motoras: um estudo exploratório. *Revista Brasileira de Educação Física e Esporte*, São Paulo, v.20, p.114, 2006. Suplemento n.5.
- BENDA, R.N. Variabilidade e processo adaptativo na aquisição de habilidades motoras. 2001. 314f. Tese (Doutorado) – Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- BOYCE, B. A. Effects of assigned versus participant-set goals on skill acquisition and retention of a selected shooting task. *Journal of Teaching in Physical Education*, Champaign, v. 11, n. 3, p. 220-234, 1992.
- CHIVIACOWSKY, S. Efeito da frequência de conhecimento de resultados controlada pelo experimentador e auto-controlada pelos sujeitos na aprendizagem de tarefas motoras com diferentes complexidades. 2000. 335f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Motricidade Humana, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- CHIVIACOWSKY, S.; GODINHO, M.; TANI, G. Self-controlled knowledge of results: effects of different schedules and task complexity. *Journal of Human Movement Studies*, London, v.49, n.4, p.277-296, 2005.
- CHIVIACOWSKY, 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, n. 4, p. 408-415, 2002.

_____. Self-controlled *feedback* is effective if it is based on the learner's performance. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, Washington, v. 76, n. 1, p. 42-48, 2005.

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

FITTS, P.M.; POSNER, M.I. *Human performance*. Belmont: Brooks & Cole, 1967.

FREUDENHEIM, A.M. Organização hierárquica de um programa de ação e a estabilização de habilidades motoras. 1999. 249f. 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. p.117-128.

FREUDENHEIM, A.M.; MANOEL, E.J. Organização hierárquica e a estabilização de um programa de ação: um estudo exploratório. *Revista Paulista de Educação Física*, São Paulo, v.13, n.2, p.177-96, 1999.

GLENCROSS, D.J. The control of skilled movements. *Psychological Bulletin*, Lancaster, v.84, p.14-29, 1977.

_____. Levels and strategies of response organization. In: STELMACH, G.E.; REQUIN, J. (Eds.). *Tutorials in motor behavior*. Amsterdam: North-Holland, 1980.

HENRY, F.M.; ROGERS, D.E. Increased response latency for complicated movements and a "memory drum" theory of neuromotor reaction. *Research Quarterly*, Washington, v.31, p.448-458, 1960.

JANELLE, C. M.; BARBA, D.A.; FREHLICH, S.G.; TENNANT, L.K.; CAURAUGH, J.H. Maximizing performance *feedback* effectiveness through videotape replay and a self-controlled learning environment. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, Washington, v.68, n.4, 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, n.2, p.627-634, 1995.

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

KOESTLER, A. *The ghost in the machine*. London: Hutchinson, 1967.

LASHLEY, K.S. The accuracy of movement in the absence of excitation from the moving organ. *The American Journal of Physiology, Bethesda*, v.43, p.169-94, 1917.

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

_____. Variability and stability in the development of skilled actions. In: CONNOLLY, K.J.; FORSSBERG, H. (Eds.). *Neurophysiology & neuropsychology of motor development*. London: Mac Keith Press/Cambridge University Press, 1997. v.14, p.286-318.

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, Amsterdam*, v.335, p.83-6, 2002.

MANOEL, E.J.; FREUDENHEIM, A.M.; BASSO, L.; TANI, G. Estabilidade na aquisição de uma habilidade motora: um estudo de caso sobre a formação de padrões. In: GONZALEZ, M.E.Q.; DEL-MASSO, M.C.S.; PIQUEIRA, J.R.C. (Orgs.). *Encontro com as ciências cognitivas*. Marília: UNESP, 2001. (Encontro com as ciências cognitivas, 3)

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

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

- _____. A distributed processing view of human motor control. In: PRITZ, W.; SANDER, A.F. (Eds.). *Cognition and motor processes*. Berlin: Springer-Verlag, 1984. p.19-27.
- REQUIN, J. From action representation to movement control. In: STELMACH, G.E.; REQUIN, J. (Eds.). *Tutorials in motor behavior II*. Amsterdam: North Holland, 1992. p.333-345.
- ROSENBAUM, D.A. Motor programming: a review and scheduling theory. In: HEUER, H.; KLEINBECK, U.; SCHMIDT, K.H. (Eds.). *Motor behavior: programming, control and acquisition*. Berlin: Springer-Verlag, 1985. p.1-33.
- ROSENBAUM, D.A.; KENNY, S.B.; DERR, M.A. Hierarchical control of rapid movement sequences. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, Washington, v.9, n.1, p.86-102, 1983.
- SCHMIDT, R.A. A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, Princeton, v.82, p.225-260, 1975.
- _____. More on motor programs. In: KELSO, J.A.S. (Ed.). *Human motor Behaviour: an introduction*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 1982.
- _____. Motor schema theory after 27 years: reflections and implications for a new theory. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, Washington, v.74, n.4, p.366-375, 2003.
- SHIK, M.L.; SEVERIN, F.V.; ORLOVSKII, G.N. Control of walking and running by means of electrical stimulation of the midbrain. *Biophysics*, New York, v.11, p.756-765, 1966.
- SIEGEL, S.; CASTELLAN JÚNIOR; N.J. *Nonparametric statistics for behavioral sciences*. Boston: McGraw Hill, 1988.
- SUMMERS, J.J. The role of *timing* in motor program representation. *Journal of Motor Behaviour*, Washington, v.7, p.229-241, 1975.
- _____. Motor programs. In: HOLDING, D.H. (Ed.). *Human Skills*. 2.ed. Chichester: Wiley, 1989.

TANI, G. Adaptive process in perceptual-motor skill learning. 1982. Doctoral Dissertation – Faculty of Education of Hiroshima University, Hiroshima. (em Japonês)

_____. Variabilidade de resposta e processo adaptativo em aprendizagem motora. 1989. Tese (Livre-Docência) – Escola de Educação Física e Esporte, 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 organization of an action programme and the development of skilled actions. Sheffield: University of Sheffield, Department of Psychology, 1995. (Unpublished Technical Report)

_____. 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, 2000. p.245-260.

_____. Processo adaptativo: uma concepção de aprendizagem motora além da estabilização. In: TANI, G. (Ed.). Comportamento motor: aprendizagem e desenvolvimento. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2005a. p.82-105.

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

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.; MANOEL, E.J.; KOKUBUN E.; PROENÇA, J.E. Educação física escolar: fundamentos de uma abordagem desenvolvimentista. São Paulo: EPU/EDUSP, 1988.

TERZUOLO, C.A.; VIVIANI, P. Determinants and characteristics of motor patterns used for typing. Neuroscience, Oxford, v.5, p.1085-103, 1980.

TURVEY, M.T. Preliminaries to theory of action with reference to vision. In: SHAW, R.; BRANSFORD, J. (Eds.). *Perceiving, acting and knowing: toward an ecological psychology*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 1977. p.211-265.

UGRINOWITSCH, H. Efeito do nível de estabilização do desempenho e do tipo de perturbação no processo adaptativo em aprendizagem motora. 2003. 365f. Tese (Doutorado) – Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo.

WINNE, P.H. Perspective on state-of-art research on self-regulated learning. *Instructional Science*, Dordrecht, v.33, p.559-565, 2005.

WRISBERG, C.A.; PEIN, R.L. Note on learners' control of the frequency of model presentation during skill acquisition. *Perceptual and Motor Skills*, Missoula, v.94, p.792-794, 2002.

WU, W.; MAGILL, R. To dictate or not: the exploration of a self-regulated practice schedule. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, Champaign, v.26, p.202, 2004. Supplement

WULF, G.; RAUPACH, M.; PFEIFFER, F. Self-controlled observational practice enhances learning. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, Washington, v.76, p.107-111, 2005.

WULF, G.; TOOLE, T. Physical assistance devices in complex motor skill learning: benefits of a self-controlled practice schedule. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, Washington, v.70, n.3, p.265-272, 1999.