



APRENDIZAGEM MOTORA: TENDÊNCIAS, PERSPECTIVAS E PROBLEMAS DE INVESTIGAÇÃO.

MOTOR LEARNING: TENDENCES, PROSPECTS AND RESEARCH PROBLEMS

Go TANI

Universidade de São Paulo

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.

Para uma melhor compreensão da Aprendizagem Motora (*Motor Learning*) como um campo de estudo, é importante considerar a sua relação com Controle Motor (*Motor Control*) e Desenvolvimento Motor (*Motor Development*) que, juntos, constituem uma área integrada de estudos denominada de Comportamento Motor (*Motor Behavior*).

Como sabemos, o campo de estudos denominado de Controle Motor procura estudar como os movimentos são produzidos e controlados, ou seja, como o sistema nervoso central é organizado de maneira que músculos e articulações tornam-se coordenados em movimentos, e como informações sensoriais do meio ambiente externo e do próprio corpo são usadas na coordenação e controle de movimentos.

O campo de Desenvolvimento Motor, por sua vez, procura estudar as mudanças que ocorrem no movimento do ser humano ao longo do seu ciclo de vida. E, finalmente, a Aprendizagem Motora procura estudar processos e mecanismos envolvidos na aquisição de habilidades motoras e os fatores que a influenciam, ou seja, como a pessoa se torna

eficiente na execução de movimentos para alcançar uma meta desejada, com a prática e experiência.

Entretanto, é preciso ter-se sempre em mente que, embora seja possível caracterizar Aprendizagem Motora, Controle Motor e Desenvolvimento Motor como campos específicos de estudo, é muito difícil separá-los em termos de fenômeno, pois estão intimamente relacionados. Por esse motivo, é muito importante ter-se uma visão integrada destes três fenômenos.

Existem fundamentalmente dois tipos de pesquisa em Aprendizagem Motora: (a) a investigação dos mecanismos e processos subjacentes à aquisição de habilidades motoras e (b) a investigação dos fatores que afetam a aquisição de habilidades motoras. Em diferentes períodos de sua história, maior ou menor ênfase tem sido dada a um desses dois tipos de pesquisa, cada qual com suas metodologias características de investigação, mas a sua implementação tem estado subordinada à viabilidade operacional em função do avanço teórico e técnico de cada momento.

É importante também ressaltar que pesquisas em Aprendizagem Motora podem ser

desenvolvidas em diferentes níveis de análise, desde o mais microscópico, como o bioquímico, até o mais macroscópico, por exemplo, o sociológico. No nível bioquímico de análise, os estudos focalizam a natureza das interações bioquímicas que ocorrem dentro das células quando o indivíduo executa movimentos ou adquire habilidades motoras. No nível neurofisiológico de análise, por sua vez, focalizam-se as ações elétricas e mecânicas que ocorrem no grupo de células que participam na organização e controle de movimentos. Isto envolve o estudo das estruturas neurais e suas interações funcionais que possibilitam o surgimento do comportamento motor.

No nível comportamental de análise, no qual se realiza a maioria das pesquisas em Aprendizagem Motora, os estudos focalizam o movimento observável e os fatores que afetam a qualidade de sua execução, o que envolve a identificação dos fatores que determinam a precisão do movimento ou o padrão de ação. Finalmente, no nível sociológico de análise, focalizam-se as atividades motoras num contexto mais global, estudando a sua função na sociedade, a escolha de certas atividades por determinadas comunidades, e as ações motoras de indivíduos em times e grupos.

Embora nas áreas de Cinesiologia, Educação Física e Esporte as pesquisas em Aprendizagem Motora tenham sido iniciadas, basicamente, na década de 60, este campo específico de estudos tem uma história relativamente longa de vida. Na realidade, não há um consenso sobre uma data precisa de início de suas pesquisas, mas sabe-se que elas começaram na Psicologia e o estudo de Bryan & Harter (1897) sobre a aquisição de habilidades no envio e recepção de código Morse e o de Woodworth (1899) sobre a velocidade e precisão de movimentos manuais são vistos como estudos pioneiros.

Não seria exagerado afirmar que, hoje, a Aprendizagem Motora está presente na maioria das faculdades de Cinesiologia, Educação

Física e Esporte em todo o mundo, não apenas como uma disciplina do currículo de preparação profissional, mas principalmente como um laboratório de pesquisa, já se constituindo num dos mais tradicionais na área, provavelmente, ao lado dos laboratórios de Fisiologia do Exercício e Biomecânica. É expressiva a participação e contribuição dos pesquisadores da área de Cinesiologia, Educação Física e Esporte na produção de conhecimentos, o que é facilmente verificado nos principais periódicos em que as pesquisas desse campo de estudos são publicadas (por exemplo, *Human Movement Science*, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *Journal of Human Movement Studies*, *Journal of Motor Behavior*, *Perceptual and Motor Skills* e *Research Quarterly for Exercise and Sport*).

O objetivo desta apresentação não é o de se fazer uma extensa revisão dos estudos realizados, mas apenas descrever sucintamente as principais fases do seu processo evolutivo e então traçar algumas perspectivas de pesquisa, procurando identificar problemas de investigação que, no nosso entender, merecem um estudo mais profundo e sistemático. A análise será feita com a atenção voltada para o campo de estudo da Aprendizagem Motora na sua relação com as áreas de Cinesiologia, Educação Física e Esporte.

2. UMA REVISÃO SUCINTA DOS ESTUDOS.

A evolução das pesquisas em Aprendizagem Motora tem sido marcada por fases bastante características (veja, por exemplo, Manoel, 1995; Tani, 1992). Até a década de 70, a preocupação central dos estudos foi a investigação das variáveis que afetam o processo de aprendizagem motora em tarefas específicas, com ênfase no produto. Em razão disso, esta fase inicial foi denominada de fase de abordagem orientada ao produto ou à tarefa (AOT). Algumas das variáveis estudadas

neste período foram a prática das partes e do todo, a prática massificada e distribuída, a prática física e mental, o conhecimento de resultados, a motivação, entre outras.

Neste período, o estudo do comportamento motor e, conseqüentemente, da aprendizagem motora, sofreu forte influência de duas correntes teóricas da Psicologia: (a) a Behaviorista na qual o comportamento motor era entendido como hábitos, ou seja, probabilidades de respostas desenvolvidas com o aumento e força de associações estímulo-resposta e (b) a Cognitivista na qual o comportamento motor era visto como um resultado trivial de processos básicos como percepção, cognição e memória.

A década de 70 foi um período muito especial na história da área de Comportamento Motor como um todo, com o surgimento da abordagem de processamento de informações. Em Aprendizagem Motora, especificamente, ela provocou uma mudança de enfoque do estudo das variáveis que afetam a aprendizagem para a investigação dos mecanismos e processos subjacentes à aquisição de habilidades motoras. Por esta razão, esta fase foi denominada de fase de abordagem orientada ao processo (AOP) (Pew, 1970). Em Desenvolvimento Motor, por sua vez, ela possibilitou uma mudança do estudo descritivo da seqüência de desenvolvimento, ou seja, da investigação do que muda e quando muda para a investigação do como muda o movimento ao longo do ciclo de vida (Connolly, 1970), em que o enfoque passou a ser o estudo do desenvolvimento na capacidade de controlar movimentos (Keogh, 1977).

A abordagem de processamento de informações, que continua até os dias de hoje, com constantes avanços teóricos e metodológicos, procura dar ênfase às operações mentais que acontecem entre o estímulo e a resposta, ou seja, às atividades cognitivas que precedem a ação motora propriamente dita (Stelmach, 1976; 1978). Nela, o organismo humano é

considerado um sistema auto-regulatório capaz de receber, processar, armazenar, transmitir e utilizar informações, e isto tem possibilitado especular-se sobre os processos e mecanismos envolvidos na organização e controle de movimentos como a seleção de resposta, a programação motora, a detecção e correção de erros, e assim por diante (Adams, 1971; Keele, 1968).

Entretanto, apesar dessa importante mudança paradigmática de estudos, uma das conseqüências desta mudança da AOT para AOP foi uma certa estagnação das pesquisas em Aprendizagem Motora, pois o fenômeno de controle motor tornou-se o foco das atenções, concentrando interesses e esforços da maioria dos pesquisadores. Esta tendência, cuja lógica de pensamento pautava-se na assunção reducionista de que conhecer o que muda (controle) é premissa para se conhecer o como muda (aprendizagem e desenvolvimento), continuou até o final da década de 80.

No início da década de 80 surgiu a abordagem dos sistemas dinâmicos (Kelso, Holt, Kugler & Turvey, 1980; Kugler, Kelso & Turvey, 1980; Kugler, Kelso & Turvey, 1982), também conhecida como abordagem ecológica, do sistema de ação ou bottom-up, que quebrou a hegemonia da abordagem de processamento de informações, também denominada de representacional, do sistema motor ou top-down, dando início a uma fase de turbulência teórica em toda área de Comportamento Motor. Na literatura, este período é conhecido como o de “controvérsia” entre as teorias motora e da ação (Meijer & Roth, 1988) e o conteúdo das discussões, muitas vezes calorosas, ocorridas particularmente no início do embate teórico, foi amplamente divulgado na literatura especializada.

A abordagem dos sistemas dinâmicos surgiu como uma crítica, em primeiro lugar, à ênfase excessiva aos aspectos cognitivos na organização de movimentos dada pela abordagem de processamento de informações,

relegando para um segundo plano as características e propriedades inerentes do sistema efetor, e, em segundo lugar, ao fato dela não ter fornecido uma resposta satisfatória ao problema da coordenação ou do controle dos graus de liberdade na execução de movimentos, levantado por Bernstein (1967).

Uma das características da abordagem dos sistemas dinâmicos é uma forte ênfase ecológica, ênfase na noção de que o nosso sistema efetor foi organizado através da evolução, numa interação dinâmica do organismo com as características físicas do meio ambiente, e que devemos, portanto, tentar compreender a estrutura e função do sistema motor usando situações naturais de pesquisa. Acoplada a essa visão, há a proposição de que percepção e ação são funcionalmente inseparáveis e a assunção de que a compreensão do sistema motor depende da compreensão dos princípios físicos de nossas ações e de como esses princípios interagem com funções biológicas. Além disso, essa abordagem é relutante em usar abordagem cognitiva-psicológica em que estruturas cerebrais hipoteticamente definidas como memória, programa motor e esquema são propostas e defendidas (Kugler, Kelso & Turvey, 1982; Reed, 1982). Mais recentemente, as características não-lineares e auto-organizacionais do sistema motor têm sido enfatizadas (Kelso, 1995). De acordo com essa visão, o sistema motor pode funcionar autonomamente e sem recurso a estruturas cognitivas, de modo que uma ligação direta entre intenção e sistema motor é assumida, sem a necessidade de nenhuma mediação por uma estrutura representacional interna.

Essa abordagem teve e tem tido maior repercussão e, conseqüentemente, um maior número de adeptos e seguidores em Controle Motor. Especificamente em Aprendizagem Motora, o seu desenrolar tem sido ainda muito tímido, exatamente porque explicar mudanças é sempre mais complexo do que explicar estados alcançados (Sheridan, 1988; van Wieringen, 1988).

Independentemente dos avanços da abordagem dos sistemas dinâmicos, observou-se, a partir do final da década de 80, uma retomada dos estudos em Aprendizagem Motora, sem que isto enfraquecesse ou reduzisse o ímpeto das pesquisas em Controle Motor. Houve, de fato, uma mudança de postura, daquela que via o progresso em Aprendizagem Motora dependente do aprofundamento dos conhecimentos em Controle Motor, para uma postura que via este campo de estudo possuidor de temas de investigação genuinamente intrínsecos que poderiam ser atacados livres da “amarra” dos conhecimentos de controle (Públio, Tani & Manoel, 1995).

Estudos sobre as variáveis que influenciam a aquisição de habilidades motoras foram retomados e intensificados, agora com uma “roupagem teórica” muito mais sofisticada se comparada à época da AOT, incorporando os conhecimentos adquiridos e acumulados sobre o controle motor durante o período denominado de AOP. Esses conhecimentos foram utilizados não só na formulação de novos problemas de aprendizagem, mas principalmente para a interpretação do efeito de diferentes variáveis na aquisição de habilidades motoras.

Esta retomada não se tem caracterizado, portanto, numa simples volta no tempo para reiniciar velhos estudos e atacar velhos problemas com velhas metodologias. Temas como conhecimento de resultados, interferência contextual e imagem mental têm colocado o problema da aprendizagem numa nova perspectiva e têm sido objeto de intensas pesquisas, resultando em inúmeras publicações de artigos em periódicos especializados e de teses de doutorado (veja, por exemplo, Barreiros, 1991; Godinho, 1992). Por exemplo, uma série de estudos sobre conhecimento de resultados realizada por Schmidt e colaboradores (por exemplo, Schmidt, Young, Swinnen & Shapiro, 1989; Schmidt, Lange & Young, 1990; Winstein & Schmidt, 1990;

Wulf, Lee & Schmidt, 1989) na Universidade da Califórnia e, no Brasil, os próprios estudos por nós realizados no LACOM - Laboratório de Comportamento Motor da Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo (por exemplo, Chiviakowsky & Tani, 1993; Teixeira, 1993; Chiviakowsky & Tani, 1997) ilustram e reforçam esta constatação.

Pesquisas sobre o efeito da interferência contextual continuam em alta (veja Magill & Hall, 1990 para uma revisão) e tem merecido também a nossa atenção (Corrêa & Pellegrini, 1996; Freudenheim & Tani, 1995; Teixeira, 1993; Ugrinowitsch & Manoel, 1996). O enfoque de investigação tem mudado da análise dos efeitos de diferentes tipos de prática variada para o estudo da estrutura da variabilidade em si, especialmente a questão do que é variado - programa ou parâmetro. Uma tendência clara para o futuro é estudar o efeito da interferência contextual quando ela é combinada a outras variáveis como, por exemplo, conhecimento de resultados (veja, por exemplo, Wulf, 1992a, 1992b).

Em relação à controvérsia entre as abordagens já mencionadas, tem-se tornado difícil sustentar, de uma forma geral, que uma única teoria abrangente seja capaz de englobar e explicar todos os tipos de habilidade que fazem parte do repertório motor humano. De fato, a especificidade da tarefa motora tem sido apontada como um fator crucial que influencia enormemente o poder de explicação das diferentes abordagens teóricas (Abbs & Winstein, 1990; Colley, 1989; Newell, 1991), além do nível de organização em que a observação é feita (van Wieringen, 1988). Se coordenação e controle de movimentos chamados filogenéticos, de características cíclicas e rítmicas como a locomoção, são melhor explicados pela abordagem de sistemas dinâmicos, parece ser difícil explicar movimentos com forte envolvimento cognitivo como datilografar, caligrafar, tocar instrumentos musicais ou dançar sem recorrer-se a alguma forma de representação central.

Assim, após 15 anos de controvérsia, têm surgido neste final da década de 90, os primeiros sinais, ainda que tímidos, de integração das abordagens de processamento de informações e sistemas dinâmicos (por exemplo, van Ingen Schenau, van Soest, Gabriele & Horstink, 1995; Latash, 1993), em que, curiosamente, a problemática da aprendizagem, juntamente com os avanços em neurociência cognitiva, tem desempenhado um papel catalisador. Na realidade, não se trata de uma reconciliação das duas abordagens, algo muito difícil de acontecer em razão das diferenças filosóficas subjacentes. Trata-se muito mais de uma aprendizagem pela experiência. Uma dura constatação a que se chegou, pelas repetidas observações cuidadosas do fenômeno em si, de que a complexidade do objeto sob investigação não comporta uma abordagem única e hegemônica. Parece que tem prevalecido a velha mensagem da ciência: quando se estabelece um conflito conceitual insolúvel, volte ao fenômeno e o observe carinhosamente! Tudo indica que é isto que muitos pesquisadores estão começando a fazer, sem se prender demasiadamente ao modelo conceitual das diferentes abordagens.

3. ABORDAGEM MULTIDISCIPLINAR.

Esse observar cuidadoso do fenômeno tem levado os pesquisadores a criar e utilizar métodos de observação cada vez mais sofisticados e precisos. Neste particular, uma forte interação com a área de Biomecânica tem sido observada, pois a aplicação de métodos consagrados de análise de movimentos por ela desenvolvidos tem se constituído um procedimento útil e eficaz de se estudar detalhadamente as mudanças qualitativas no padrão de movimento que emergem em decorrência da aprendizagem.

Na realidade, o que se observa na área de Comportamento Motor em geral é a adoção de uma abordagem multidisciplinar (veja, por exemplo, Swinnen, Heuer, Massion & Casaer, 1994; Requin & Stelmach, 1991; Stelmach &

Requin, 1992; Zelaznik, 1996). Essa mudança de orientação nas pesquisas tem sido estimulada pela visão de que para se compreender o complexo processo envolvido na organização, controle e aprendizagem de movimentos, a análise apenas de seus efeitos produzidos no meio ambiente externo é bastante limitada. Em outras palavras, as abordagens recentes partem do princípio de que é necessário investigar-se a organização e controle de movimentos não só a partir da análise dos resultados produzidos no meio ambiente, mas também a partir da cuidadosa descrição da dinâmica do próprio padrão de movimentos e das estruturas neurais responsáveis pela sua produção.

Isso tem sido possível, em parte, pela disponibilidade de tecnologia avançada de registro de movimentos em Biomecânica que permitem análises cinemáticas cada vez mais precisas e sofisticadas. Além disso, os avanços tecnológicos na Neurofisiologia e sua aplicação na Neurociência Cognitiva têm possibilitado o estudo integrado de aspectos cognitivos de ações motoras e os eventos neurais que precedem e acompanham a execução de movimentos, através de medidas eletrofisiológicas precisas (Jeannerod, 1997; Requin, 1992). Por exemplo, o desenvolvimento de técnicas de medição sofisticadas como o registro de atividades de um neurônio isolado tem permitido vasculhar o sistema nervoso central *in loco* para descobrir mecanismos subjacentes à coordenação e controle de movimentos. As recentes evidências apontadas por Jeannerod (1994) de que a formação de imagem motora e a preparação motora tem o mesmo substrato neural são demonstrações concretas da potencialidade dessa integração de áreas. Em suma, uma abordagem integrada multidisciplinar envolvendo Comportamento Motor, Biomecânica e Neurofisiologia tem sido cada vez mais freqüente e tem se mostrado extremamente promissora no estudo do comportamento motor de uma forma geral.

Uma das “avenidas” de pesquisa muito exploradas dentro dessa perspectiva tem sido

uma detalhada análise cinemática da trajetória de movimentos, utilizando-se de técnicas biomecânicas como o registro contínuo de sinais de posição, velocidade e aceleração dos segmentos corporais numa variedade de tarefas motoras. No caso de ações motoras simples ou discretas como alcançar, agarrar, transportar ou arremessar objetos, o foco de investigação tem sido a compreensão do processo que controla a acurácia final do movimento. Por outro lado, no caso de ações motoras complexas, o foco de investigação tem sido a descrição detalhada do padrão de movimento em si com o objetivo de inferir mecanismos de coordenação e controle subjacentes, como, por exemplo, a questão da ordem seriada (Lashley, 1951).

A formação de trajetória refere-se a planejamento e controle da cinemática do movimento. A proposição básica é de que se o perfil de trajetória de uma determinada tarefa motora executada sob diferentes demandas permanece invariável, a idéia de um mecanismo de organização e controle de movimentos baseado numa estrutura genérica e abstrata é sustentada (Marteniuk, MacKenzie & Leavitt, 1988). Em outras palavras, movimentos de diferentes velocidades, amplitudes e sobrecargas, cujas trajetórias podem ser escaladas ao longo de uma base comum pertenceriam a uma mesma categoria de movimentos em termos de coordenação e controle.

A decomposição e análise da trajetória em fases de aceleração (do início do movimento até a velocidade de pico) e desaceleração (da velocidade de pico até o término do movimento) tem possibilitado a identificação, em termos de perfil de velocidade, de uma formação de trajetória em forma de um sino que pode ser escalada tanto no domínio da amplitude como no de tempo (Atkeson & Hollerbach, 1985; Flash & Hogan, 1985). Isso tem dado sustentação à teoria de organização e controle de movimentos através de programa motor generalizado e parametrização (Schmidt, 1980; 1985; 1988).

Basicamente, o programa motor generalizado é uma representação abstrata de uma classe de movimentos que possui um padrão comum de movimento. As variações dentro da classe de movimentos são produzidas pela aplicação de certos parâmetros ao programa motor generalizado antes da sua execução, dando uma configuração única a cada padrão de movimento em conformidade com as demandas específicas da situação.

Entretanto, outros estudos têm mostrado que os perfis de trajetória podem ser escalados em torno de um perfil comum, quando movimentos de diferentes amplitudes são executados para um mesmo tamanho de alvo. Para alvos de tamanhos diferentes, a proporção de tempo gasto antes e depois da velocidade de pico varia no sentido de que para alvos pequenos o perfil de velocidade é enviesado, com longa cauda à direita (fase de desaceleração) (MacKenzie, Marteniuk, Dugas, Liske & Eickmeier, 1987). Além disso, evidência de que a formação de trajetória é influenciada pela experiência passada e intenção do movimento (Marteniuk, MacKenzie, Jeannerod, Athenes & Dugas, 1987; Marteniuk & MacKenzie, 1990; Marteniuk, MacKenzie & Leavitt, 1988) tem colocado questões importantes que mostram que o assunto requer não só um maior número de estudos experimentais, como também reformulações teóricas significativas. De todas as maneiras, as análises cinemáticas das trajetórias de movimento têm se mostrado um método eficaz na compreensão dos mecanismos envolvidos na organização, controle e aprendizagem de movimentos.

Os estados de estabilidade na coordenação e controle de movimentos têm sido interpretados, de um lado, como sendo uma consequência da aquisição de programas motores generalizados (Schmidt, 1988) ou, de outro, como uma formação de atratores (Turvey, 1990), dependendo do referencial teórico adotado. Por exemplo, embora a interpretação de aspectos variantes e invariantes do movimen-

to mudem de acordo com a posição teórica adotada, como o fizeram Schmidt (1985) e Zanone & Kelso (1992) em relação ao timing relativo, a existência desses aspectos na organização de ações habilidosas tem sido fortemente sustentada por evidências empíricas (por exemplo, Kelso, Southard & Goodman, 1979; Schmidt, 1980; 1985). Isto mostra que tem havido uma primazia na identificação de estabilidades, de padrões, de estruturas, e na compreensão de sua natureza e características do que a discussão e definição prévia do nome a ser-lhes atribuído. No futuro, esta é uma postura que tende a ser adotada por um número cada vez maior de pesquisadores. Procurar diferenças entre posições teóricas não se constitui mais uma fonte de motivação acadêmica.

A adoção desta postura mais realista e porque não mais pragmática do ponto de vista operacional, abre perspectivas de uma nova dinâmica de discussões e também de novas maneiras de atacar os problemas. Quais seriam, então, os problemas centrais que, no nosso entender, desafiam os pesquisadores em Aprendizagem Motora?

4. ALGUNS PROBLEMAS CENTRAIS DE INVESTIGAÇÃO.

Em primeiro lugar existe o problema da explicação da coexistência de consistência e variabilidade em ações habilidosas. Bartlett (1932) cunhou uma das frases que melhor expressam essa característica singular. Referindo-se ao movimento de rebatida em tênis, ele afirmou: “quando executo a rebatida, na realidade, eu não produzo algo absolutamente novo nem repito meramente algo velho” (p. 202). De fato, quando se observa movimentos de pessoas habilidosas, seja no esporte, na arte, na dança ou no trabalho, tem-se a impressão de que elas executam repetidamente, com muita precisão e consistência, movimentos idênticos. Contudo, uma observação mais detalhada desses movimentos, por

exemplo, via análise cinematográfica ou com a utilização de tecnologias mais modernas, como a análise tridimensional de imagens via computador, revela que elas não executam dois movimentos iguais.

Há, de um lado, uma variabilidade inerente ao sistema motor que resulta numa variação sutil de tentativa a tentativa na micro-estrutura do movimento, mas, por outro lado, há também um padrão próprio na macro-estrutura que permite identificar até estilos individuais. É o que acontece com as nossas próprias assinaturas. Nunca conseguimos fazer duas iguais, mas pode-se perfeitamente identificar a sua autoria. Em síntese, esses movimentos executados com habilidade caracterizam-se por um padrão com uma integração de macro-ordem e micro-desordem, isto é, consistência e variabilidade ao mesmo tempo (Choshi, 1980, 1983, 1984; Manoel, 1993; Manoel & Connolly, 1995, 1997; Tani, 1982, 1995).

Na realidade, o ser humano é incapaz de executar dois movimentos idênticos. Há várias razões para isso. Em primeiro lugar, existe o problema de controle dos inúmeros graus de liberdade que estão presentes na execução do movimento (Bernstein, 1967). O problema dos graus de liberdade pode ser visto de várias formas, como, por exemplo, o número de graus de liberdade nas diferentes articulações que participam do movimento, o número de músculos que agem sobre elas, e até mesmo o número de unidades motoras que devem ser ativadas para produzir um determinado movimento. Quanto mais microscópico o nível de análise, maior o número de graus de liberdade. Em segundo lugar, há o problema da imprevisibilidade das variações ambientais que exigem adaptações do padrão de movimento às circunstâncias particulares daquele momento. E existe também o problema da característica não-linear dos próprios músculos que implica um mesmo comando motor produzindo diferentes efeitos, dependendo de suas condições iniciais (Bernstein, 1967; Turvey, Fitch & Tuller, 1982).

A consistência do movimento é alcançada através da redução de variabilidade ou controle dos graus de liberdade. Sem a redução de variabilidade é difícil de se obter performances bem sucedidas. Entretanto, quando um excesso de ênfase é dado na redução de variabilidade, duas conseqüências podem ser esperadas. Em primeiro lugar, a produção de padrões de movimentos rígidos e estereotipados, isto é, de baixa adaptabilidade (Tani, 1982). Em segundo lugar, a inviabilização do próprio movimento, em função da tentativa de se eliminar a variabilidade inerente ao sistema motor, o que acarreta a perda do grau mínimo de liberdade necessário à produção do movimento (Choshi, 1980).

Como essas duas características aparentemente contraditórias - consistência e variabilidade ou macro-ordem e micro-desordem - podem ser conciliadas dentro de uma mesma estrutura, e mais ainda, quais são os mecanismos subjacentes responsáveis por essa integração e como estas estruturas são adquiridas com a prática constituem, certamente, importantes problemas de investigação (Tani, 1995).

Um segundo problema, central no nosso entender, continua sendo a questão da equivalência motora, ou seja aquela capacidade do ser humano de alcançar uma mesma meta ou realizar uma mesma ação via diferentes movimentos (Glencross, 1980; Hebb, 1949; Turvey, 1977), fruto da plasticidade do seu sistema motor. Imagine uma pessoa escrevendo o seu nome com uma caneta, primeiro com a sua mão preferida, depois com a mão não preferida, com a caneta presa entre os dedos do pé ou mesmo entre os dentes, e assim por diante. Embora em cada um destes movimentos a pessoa demonstre um diferente nível de habilidade, é inegável que uma mesma ação esteja sendo realizada através de diferentes movimentos, ou seja, utilizando-se de diferentes grupos musculares. Além disso, apesar da variação no nível de habilidade, é possível identificar o produto da escrita como sendo de autoria de uma mesma pessoa.

Essa equivalência motora presente no movimento humano suscita a seguinte pergunta: se o ser humano é capaz de alcançar uma mesma meta via diferentes movimentos, que sentido tem aprender uma determinada técnica de movimento, se pela própria definição, técnica é o (um) meio mais eficiente para alcançar um determinado objetivo? Embora a repetição de uma técnica que especifica os micro-detahes do movimento possa conduzir mais rapidamente à padronização do movimento (ordem), tornando a aprendizagem aparentemente mais eficiente, esta padronização corresponde também a uma perda proporcional de flexibilidade no movimento. Em outras palavras, pode resultar na aquisição de um padrão de movimento rígido e estereotipado, de baixa adaptabilidade (Tani, 1991).

A adaptação a novas situações ou tarefas motoras requer alternativas de solução de problemas (Tani, 1982). Imagine uma pessoa abrindo a porta de seu apartamento. Como vimos anteriormente, ela poderá realizar essa ação via diferentes movimentos. Em situações normais, lançará mão sempre de um mesmo movimento, provavelmente aquele que se manifestou mais eficiente em experiências passadas. Imagine agora essa pessoa voltando ao seu apartamento, com as mãos ocupadas com pacotes de compras de supermercado. Ela só conseguirá abrir a porta se tiver “disponível” no seu repertório de movimentos alternativas motoras que permitam uma solução criativa. De que forma surgem essas soluções criativas? Certamente isto envolve um processo de geração e não apenas de seleção de respostas motoras (Tani, 1995).

A adaptação às mudanças exige também padrões flexíveis de movimento. Existem várias maneiras de se definir padrões flexíveis de movimento. De acordo com Koestler (1967), são aqueles padrões que possuem um aspecto invariável governado por regras fixas (ordem, consistência), além de um aspecto variável dirigido por estruturas flexíveis

(desordem, variabilidade). As estruturas flexíveis implicam a existência de uma tolerância na definição de parâmetros permitida pelas regras fixas. E, para se adquirir padrões flexíveis de movimento, que melhor se adaptem às novas situações ou tarefas motoras, é possível inferir que, durante o processo de aprendizagem, uma certa liberdade na escolha das respostas seja necessária. Isto porque, quando se elimina essa liberdade, tornando a aprendizagem totalmente dirigida, a ênfase está sendo dada apenas ao aspecto invariável da habilidade, contribuindo para a formação de padrões de movimento estereotipados. Por outro lado, se um excesso de liberdade for tolerado, torna-se difícil adquirir a consistência necessária para a realização da meta com eficiência (Tani, 1982, 1989; Tani, Bastos, Castro, Jesus, Sacay & Passos, 1992).

A técnica é claramente uma forma de restrição (*constraint*), mas ela não se constitui um real problema, como muitos preconizam. Afinal, a técnica existe como uma informação sobre a maneira mais eficiente de alcançar um objetivo. Qual seria então uma possível solução? Temos explorado a seguinte idéia (Tani, no prelo): proporcionar liberdade na escolha de alternativas e encorajar os sujeitos a explorar suas potencialidades de movimento, tendo informações sobre a macro-estrutura do movimento apenas como um referencial orientador desta exploração. No início da aprendizagem, os movimentos serão inconsistentes e desordenados. Mas, em função da orientação recebida e do *feedback* intrínseco, a sua macro-estrutura tornar-se-á gradativamente ordenada, até que eles encontrem um padrão correspondente a uma técnica, ou semelhante a ela. Ao final, um padrão de movimento consistente na sua macro-estrutura e ao mesmo tempo variável na micro-estrutura poderá resultar, de forma que estilos e características individuais serão incorporados à técnica de movimento. Em vez do sujeito se ajustar à técnica, a técnica seria “construída” de forma a se ajustar às suas características individuais (Tani, no prelo). A verificação

experimental destas idéias, utilizando-se de diferentes tarefas e sujeitos, tem-se constituído um desafio merecedor de nossa atenção.

Em terceiro lugar, há o problema fundamental da limitação do modelo de equilíbrio para explicar sistemas com aumento contínuo de complexidade. A aquisição de habilidades motoras caracteriza um processo dinâmico e complexo. Entretanto, teorias correntes de aprendizagem motora explicam apenas o processo de estabilização da performance, ou seja, um processo homeostático (equilíbrio) alcançado via *feedback* negativo (Adams, 1971; Schmidt, 1975). Processos baseados em *feedback* negativo, ou mecanismo de neutralização do desvio são capazes de manter a estrutura ou ordem, mas são incapazes de conduzir a uma nova estrutura, visto que para tanto é necessário desestabilização, ou seja, *feedback* positivo ou mecanismo de amplificação do desvio (Maruyama, 1963). A automatização, vista como a fase final do processo de aprendizagem motora pelas teorias correntes, é um exemplo típico de estabilização.

Recentes meta-teorias da ciência têm enfatizado que, em sistemas abertos, a formação de novas estruturas pressupõe instabilidade ou quebra de estabilidade. Nesta perspectiva, a aquisição de habilidades motoras melhor caracteriza um processo cíclico e dinâmico de estabilidade-instabilidade-estabilidade, resultando em crescente complexidade. Com esse *background* teórico, Choshi (1978, 1981, 1982), Choshi & Tani (1983), Tani (1982, 1989) e Tani et alii (1992) têm proposto um modelo de não-equilíbrio em aprendizagem motora em que dois processos fundamentais são considerados: estabilização e adaptação. O primeiro é aquele em que se busca, como a própria palavra indica, a estabilidade funcional que resulta na padronização espacial e temporal do movimento (formação de estrutura). Movimentos inicialmente inconsistentes e descoordenados vão sendo gradativamente refinados até se alcançar

movimentos padronizados e precisos. Neste processo, o elemento fundamental é o *feedback* negativo.

O segundo é aquele em que se procura adaptações às novas situações ou tarefas motoras (perturbação), através da aplicação das habilidades já adquiridas. Neste processo exige-se modificações na estrutura da habilidade já adquirida, e uma posterior reorganização dessa estrutura num nível superior de complexidade. Existem perturbações para as quais a adaptação se faz pela flexibilidade inerente à estrutura adquirida, ou seja, pela mudança de parâmetros do movimento. Entretanto, existem perturbações de tal envergadura que por mais que haja disponibilidade na estrutura não há condições de adaptar-se. Neste caso, exige-se uma reorganização da própria estrutura que, quando concluída, reflete numa mudança qualitativa do sistema (Tani, 1982). Investigar a formação de novas estruturas a partir de estruturas existentes, ou seja, a aprendizagem motora como um processo contínuo e dinâmico em direção a estados crescentemente complexos de organização, exige uma agenda de investigação de longo termo, mas certamente recheada de problemas intelectualmente desafiadores e estimulantes (Tani, no prelo).

Um quarto problema, decorrente do anterior, diz respeito à necessidade de reestudo dos fatores de instabilidade na aquisição de habilidades motoras. O quadro a seguir (figura 1) mostra a relação entre informação e entropia elaborada por Miller (1978). Os processos de mudança em direção a estados mais complexos de organização, como evolução, aprendizagem e desenvolvimento, são processos em que a incerteza é transformada em informação, a entropia em entropia negativa, o ruído em sinal, a desordem em ordem e assim por diante. E, para que todas estas transformações sejam realizadas, há a necessidade do dispêndio de energia.

Entretanto, por longo período, os fatores relacionados à desordem, que estão colocados à direita no esquema elaborado por Miller, foram considerados elementos negativos que necessitavam ser eliminados para que a ordem prevalecesse. Como é bem conhecido, esta visão negativa de fatores relacionados com a entropia positiva advinha de uma concepção de ciência em que o determinismo e a linearidade eram os seus postulados fundamentais.

H	=	-S
informação		incerteza
entropia negativa		entropia
sinal		ruído
precisão		erro
forma		caos
regularidade		aleatoriedade
padrão ou forma		falta de padrão ou forma
ordem		desordem
organização		desorganização
complexidade regular		simplicidade irregular
heterogeneidade		homogeneidade
improbabilidade		probabilidade
previsibilidade		imprevisibilidade
(H = informação		S = entropia)

Figura 1: Informação versus entropia (adaptado de Miller, 1978).

Uma das conseqüências dessa visão que apenas considera e valoriza a ordem foi o surgimento de sua irmã gêmea de sinal trocado, ou seja, a apologia da desordem. Com isso implantou-se a filosofia dos extremos, ou como diz o ditado popular, oito ou oitenta, e

na disputa de posições dicotômicas, o esforço de síntese foi inibido. São bem conhecidos os resultados dessa dicotomia nos diferentes campos da atividade humana. Todavia, após um longo período de predomínio dessa visão dicotômica, o quadro começa a se alterar em função das recentes proposições das meta-teorias da ciência.

O panorama que se apresenta ainda sugere muita prudência, mas há lugar para um otimismo, pois recentes avanços na ciência têm fornecido elementos animadores. Prigogine (1967) mostrou, por exemplo, como ordem poderia ser criada a partir da desordem, através de processos estocásticos que transformam flutuações locais de matéria-energia em estados dinâmicos altamente ordenados chamados de estruturas dissipativas. Maruyama (1960), por sua vez, formulou o conceito de relações causais multilaterais, mútuas e simultâneas. Ele distinguiu relações morfológicas (criadoras de desvios) dirigidas por *feedback* positivo e relações morfostáticas (combatedoras do desvio) dirigidas por *feedback* negativo no desenvolvimento de nova ordem, estrutura e organização.

Princípios de auto-organização e de transição de fase começam a ser desvendados não apenas no mundo físico, como também no mundo biológico e sociológico (Haken, 1977; Jantsch, 1980). Explicar descontinuidade e emergência num ciclo de estabilidade e instabilidade tem se constituído uma das preocupações centrais em vários campos da ciência. A teoria da complexidade revela que descon-tinuidades ocorrem quando sistemas dinâmicos se colocam no limite do caos, permitindo um salto qualitativo (Lewin, 1993). Parece existir princípios de organização universais (Laszlo, 1994) que se aplicam a todos os sistemas dinâmicos, conforme previa Bertalanffy (1968). A ciência dirige a sua atenção às semelhanças, à essência, procurando vencer velhas dicotomias como mente x corpo, natureza x criação, maturação x experiência, inato x aprendido e assim por diante.

De fato, um novo panorama se desenha, uma nova atmosfera se cria. Na visão Kuhniana, um novo paradigma emerge (Kuhn, 1970) e com ele uma reconsideração do significado da aleatoriedade, variabilidade, incerteza, ruído e outros fatores relacionados à desordem em vários campos da ciência (Prigogine & Stengers, 1984). Quando a aprendizagem motora é vista apenas como um processo de estabilização de performance, esses fatores relacionados com entropia positiva são elementos que necessitam ser reduzidos ou eliminados via *feedback* negativo para que a estabilização ocorra. Entretanto, quando a aprendizagem motora é vista como um processo além da estabilização, isto é, como processo adaptativo, os fatores de desordem necessitam ser reconsiderados (Manoel, 1993; Manoel & Connolly, 1995, 1997; Tani, 1995; Tani et alii, 1992).

O estudo dos fatores que afetam a aquisição de habilidades motoras tem sido conduzido tendo como *background* teórico um modelo de equilíbrio de aprendizagem motora. Nesta perspectiva, variabilidade de resposta, frequência relativa de CR, imprecisão de CR, atividades interpoladas durante o intervalo pós-CR e outros elementos relacionados à desordem têm sido considerados prejudiciais à obtenção da estabilidade no processo de aquisição de habilidades motoras. Na perspectiva do processo adaptativo cabe indagar: seriam estes fatores relacionados à desordem fonte de ordem também em aprendizagem motora?

Finalmente, existe o problema da realização de pesquisas em Aprendizagem Motora e a aplicação prática dos conhecimentos produzidos. Reflexões sobre o conjunto de pesquisas realizadas sobre aprendizagem motora ao longo do tempo, especialmente aquelas de natureza básica direcionadas para a elucidação dos mecanismos e processos subjacentes, têm levado à conclusão de que elas pouco contribuíram para a busca de soluções para os problemas práticos encontrados no exercício

profissional da Educação Física e Esporte (Christina, 1989; Hoffman, 1990; Petersen, Santos & Reghelin, 1991; Schmidt, 1989; Stelmach, 1989; Tani, 1992).

A maioria das pesquisas sobre os mecanismos e processos subjacentes à aquisição de habilidades motoras continua a ser realizada sob forte influência do paradigma das ciências naturais, cuja metodologia implica, como é bem conhecido, na simplificação do objeto de estudo e no controle rigoroso de variáveis, visando assegurar a fidedignidade dos resultados. Todavia, é também bem conhecido que esse procedimento cria situações artificiais que podem levar à falta de correspondência entre as condições de pesquisa e a situação real e, assim, comprometer a validade ecológica dos resultados (Tani, 1992). Além disso, essa metodologia pode resultar num acúmulo de informações desconexas, difíceis de serem integradas em princípios gerais de aprendizagem capazes de fornecer subsídios para a tomada de decisões práticas mais seguras.

Essa distância existente entre pesquisas básicas e a situação real de prática é, de certa forma, inevitável, e constitui-se um problema sem solução em diferentes áreas do conhecimento. Além disso, não é algo passível de solução pela simples dinamização de pesquisas aplicadas. Pesquisa básica, em Aprendizagem Motora, procura, em última análise, desenvolver um corpo de conhecimentos orientado à teoria que possibilite explicar como ocorre a aquisição de habilidades motoras e prever acerca desse fenômeno. Ela não se orienta para a solução de problemas. Isto é papel da pesquisa aplicada, cuja meta é produzir conhecimentos de aplicação prática para solução de problemas do mundo real. Entretanto, é preciso considerar as limitações da pesquisa aplicada. Muitas vezes, os conhecimentos por ela produzidos são demasiadamente específicos e, portanto, de difícil generalização. Em outras palavras, eles podem ser aplicáveis às situações muito peculiares, provavelmente somente à solução de

problemas que se assemelham àqueles de pesquisa onde foram originalmente testados e aplicados (Tani, 1992). Apesar dessas limitações, é mais do que notório a necessidade de fomentar-se, com muito maior vigor, pesquisas aplicadas em Aprendizagem Motora.

Claramente, a integração entre teoria e prática é muito mais complexa do que faz deduzir aqueles discursos inflamados dos auto-proclamados guardiões do retorno social das pesquisas científicas. Uma alternativa que se propõe é a realização de pesquisas de características de integração e síntese de conhecimentos em que a preocupação central seja a verificação experimental da aplicabilidade dos conhecimentos, princípios e hipóteses derivados da pesquisa básica, numa situação real. Temos denominado o campo de estudos responsável por essas pesquisas de Ensino-Aprendizagem de Habilidades Motoras (Tani, 1992). Pesquisas em Ensino-Aprendizagem envolvem uma participação integrada de pesquisadores e profissionais e caracterizam um tipo de pesquisa em que é preciso conciliar ganho em validade ecológica com perda em fidedignidade. Verificar a aplicabilidade dos conhecimentos adquiridos numa situação real ainda não caracteriza uma pesquisa aplicada no sentido clássico da palavra. É um passo intermediário, ainda orientado à teoria, particularmente no que se refere à checagem da sua validade ecológica, mas já com a preocupação de integrar teoria e prática (veja, por exemplo, Públio & Tani, 1993; Públio, Tani & Manoel, 1995).

Se variáveis que afetam a aquisição de habilidades motoras são, em última análise, os fatores que são manipulados pelos profissionais que lidam com o ensino de habilidades motoras numa situação real de prática (veja, por exemplo, Tani, Manoel, Kokubun & Proença, 1988), a realização de pesquisas em Ensino-Aprendizagem acerca dessas variáveis, mais do que uma necessidade para diminuir a distância entre teoria e prática, seria uma grande contribuição para a promoção do

reconhecimento social e profissional da Cinesiologia, Educação Física e Esporte e a sua consolidação como áreas de conhecimento (Tani, 1996).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ABBS, J.H. & WINSTEIN, C.J. (1990). Functional contributions of rapid and automatic sensory-based adjustments to motor output. In M. Jeannerod (Ed.), *Attention and Performance XIII*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- ADAMS, J.A. (1971). A closed-loop theory of motor learning. *Journal of Motor Behavior*, 3, 111-150.
- ATKESON, C.G. & HOLLERBACH, J.M. (1985). Kinematic features of unrestrained vertical arm movements. *Journal of Neuroscience*, 5, 2318-2330.
- BARREIROS, J.M.P. (1991). Desenvolvimento e aprendizagem: A variabilidade das condições de prática em crianças e adultos. Dissertação de Doutorado. Lisboa: Faculdade de Motricidade Humana da Universidade Técnica de Lisboa.
- BARTLETT, F.C. (1932). *Remembering*. Cambridge: Cambridge University Press.
- BERNSTEIN, N. (1967). *The co-ordination and regulation of movements*. Oxford: Pergamon Press.
- BERTALANFFY, L.von. (1968). *General systems theory*. New York: George Braziller.
- BRYAN, W.L. & HARTER, N. (1897). Studies in the physiology and psychology of telegraphic language. *Psychological Review*, 4, 27-53.
- CHIVIAKOWSKY, S. & TANI, G. (1993). Efeitos da frequência de conhecimento de resultados na aprendizagem de uma habilidade motora em crianças. *Revista Paulista de Educação Física*, 7, 45-57.
- CHIVIAKOWSKY, S. & TANI, G. (1997). Efeitos da frequência de conhecimento de resultados na aprendizagem de diferentes programas motores generalizados. *Revista Paulista de Educação Física*, 11, 15-26.

- CHOSHI, K. (1978). The organization of perceptual-motor behavior. In H. Hagiwara & K. Choshi (Eds.), *The organization of perceptual-motor behavior*. Tokyo: Fumaido. (in Japanese)
- CHOSHI, K. (1980). Freedom and constraint of children's movements. *Memoirs of the Child Education Research, Hiroshima University*, 55, 29-37. (in Japanese)
- CHOSHI, K. (1981). The significance of error response in adaptive systems. *Sport Psychology Research*, 7, 60-64. (in Japanese)
- CHOSHI, K. (1982). An analytical study of the adaptive process in motor learning. *Memoirs of the Faculty of Integrated Arts and Sciences III, Hiroshima University*, volume 6, 75-82. (in Japanese)
- CHOSHI, K. (1983). Introduction to the study of pre-school education that leads one to like movement. *Taikukakyoiku*, 31, 25-28. (in Japanese)
- CHOSHI, K. (1984). Movement adaptation. In A. Akatsuka & K. Choshi (Eds.), *Thinkings on movement health education*. Tokyo: Meiji Toshio. (in Japanese)
- CHOSHI, K. & TANI, G. (1983). Stable system and adaptive system in motor learning. In *Japanese Association of Biomechanics (Ed.), The science of movement V*. Tokyo: Kyorin. (in Japanese)
- CHRISTINA, R.W. (1989). Whatever happened to applied research in motor learning? In J.S. Skinner, C. Corbin, D. Landers, P. Martin & C. Wells (Eds.), *Future directions in exercise and sport science research*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- CONNOLLY, K.J. (Ed.) (1970). *Mechanisms of motor skill development*. London: Academic Press.
- COOLEY, A.M. (1989). Learning motor skills: Integrating cognition and action. In A.M. Cooley & J.R. Beech (Eds.), *Acquisition and performance of cognitive skills*. Chichester: Wiley.
- CORRÊA, U.C. & PELLEGRINI, A.M. (1996). A interferência contextual em função do número de variáveis. *Revista Paulista de Educação Física*, 10, 21-33.
- FLASH, T. & HOGAN, N. (1985). The coordination of arm movements: An experimentally confirmed mathematical model. *Journal of Neuroscience*, 5, 1688-1703.
- FREUDENHEIM, A.M. & TANI, G. (1995). Efeitos da estrutura de prática variada na aprendizagem de uma tarefa de timing coincidente em crianças. *Revista Paulista de Educação Física*, 9, 87-98.
- GLENCROSS, D.J. (1980). Levels and strategies of response organization. In G.E. Stelmach & J. Requin (Eds.), *Tutorials in motor behavior*. Amsterdam: North-Holland.
- GODINHO, M.A.B. (1992). Informação de retorno e a aprendizagem: Influência da frequência relativa, da precisão e do tempo após conhecimento de resultados sobre o nível de aquisição, retenção e transfer de aprendizagem. *Dissertação de Doutorado*. Lisboa: Faculdade de Motricidade Humana da Universidade Técnica de Lisboa.
- HAKEN, H. (1977). *Synergetics*. Heidelberg: Springer-Verlag.
- HEBB, D.O. (1949). *The organization of behavior*. New York: Wiley.
- HOFFMAN, S.J. (1990). Relevance, application, and the development of an unlikely theory. *Quest*, 42, 143-160.
- JANTSCH, E. (1980). *The self-organizing universe: Scientific and human implications of an emerging paradigm of evolution*. Oxford: Pergamon Press.
- JEANNEROD, M. (1994). The representing brain: Neural correlates of motor intention and imagery. *Behavioral and Brain Sciences*, 17, 187-202.
- JEANNEROD, M. (1997). *The cognitive neuroscience of action*. Oxford: Blackwell Publishers.
- KEELE, S.W. (1968). Movement control in skilled motor performance. *Psychological Bulletin*, 70, 387-403.
- KELSO, J.A.S. (1995). *Dynamic patterns: The self-organization of brain and behavior*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- KELSO, J.A.S., HOLT, K.J., KUGLER, P.N. & TURVEY, M.T. (1980). On the concept of coordinative structures as dissipative structures: II. Empirical lines of convergence. In G.E.

- Stelmach & J. Requin (Eds.), *Tutorials in motor behavior*. Amsterdam: North-Holland.
- KELSO, J.A.S., SOUTHARD, D.L. & GOODMAN, D. (1979). On the coordination of two-handed movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2, 229-238.
- KEOGH, J.F. (1977). The study of movement skill development. *Quest*, 28, 76-88.
- KOESTLER, A. (1967). *The ghost in the machine*. London: Hutchinson.
- KUGLER, P.N., KELSO, J.A.S. & TURVEY, M.T. (1980). On the concept of coordinative structures as dissipative structures: I. Theoretical lines of convergence. In G.E. Stelmach & J. Requin (Eds.), *Tutorials in motor behavior*. Amsterdam: North-Holland.
- KUGLER, P.N., KELSO, J.A.S. & TURVEY, M.T. (1982). On coordination and control in naturally developing systems. In J.A.S. Kelso & J.E. Clark (Eds.), *The development of movement control and coordination*. New York: Wiley.
- KUHN, T.S. (1970). *The structure of scientific revolutions* (2nd. ed.). Chicago: University of Chicago Press.
- LASHLEY, K.S. (1951). The problem of serial order in behavior. In L.A. Jeffress (Ed.), *Cerebral mechanisms in behavior: The Nixon symposium*. New York: Wiley.
- LASZLO, E. (1994). *Evolução: A grande síntese*. Lisboa: Instituto Piaget.
- LATASH, M. (1993). *Control of human movement*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- LEWIN, R. (1993). *Complexity: Life on the edge of chaos*. London: Phoenix.
- MacKENZIE, C.L., MARTENIUK, R.G., DUGAS, C., LISKE, D. & BICKMEIER, B. (1987). Three-dimensional movement trajectories in Fitts task: Implications for control. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 39A, 629-647.
- MAGILL, R.A. & HALL, K.G. (1990). A review of the contextual interference effect in motor skill acquisition. *Human Movement Science*, 9, 241-289.
- MANOEL, E.J. (1993). *Adaptive control and variability in the development of skilled actions*. Unpublished Doctoral Dissertation. Sheffield: University of Sheffield, Department of Psychology.
- MANOEL, E.J. (1995). *Aprendizagem motora: O processo de aquisição de ações habilidosas*. In A.F. Neto, S.V. Goellner & V. Bracht (Orgs.), *As ciências do esporte no Brasil*. Campinas: Editora Autores Associados.
- MANOEL, E.J. & CONNOLLY, K.J. (1995). Variability and the development of skilled actions. *International Journal of Psychophysiology*, 19, 129-147.
- MANOEL, E.J. & CONNOLLY, K.J. (1997). Variability and stability in the development of skilled actions. In K.J. Connolly & H. Forssberg (Eds.), *Neurophysiology and neuropsychology of motor development*. London: Mac Keith Press.
- MARTENIUK, R.G. & MacKENZIE, C.L. (1990). Invariance and variability in human prehension: Implications for theory development. In M.A. Goodale (Ed.), *Vision and action: The control of grasping*. Norwood, New Jersey: Ablex.
- MARTENIUK, R.G., MacKENZIE, C.L., JEANNEROD, J.M., ATHENES, S. & DUGAS, C. (1987). Constraints on human arm movement trajectories. *Canadian Journal of Psychology*, 41, 365-378.
- MARTENIUK, R.G., MacKENZIE, C.L. & LEAVITT, J.L. (1988). Representational and physical accounts of motor control and learning: Can they account for the data? In M.A. Colley & J.R. Beech (Eds.), *Cognition and action in skilled behavior*. Amsterdam: North-Holland.
- MARUYAMA, M. (1960). Morphogenesis and morphostasis. *Methodos*, 12, 251-296.
- MARUYAMA, M. (1963). The second cybernetics: Deviation-amplifying mutual causal processes. *American Scientist*, 51, 164-179.
- MEIJER, O.G. & ROTH, K. (1988). *Complex movement behaviour: The motor-action controversy*. Amsterdam: North-Holland.
- MILLER, G.A. (1978). *Living systems*. New York: McGraw-Hill.

- NEWELL, K.M. (1991). Motor skill acquisition. *Annual Review of Psychology*, 42, 213-237.
- PETERSEN, R., SANTOS, L. & REGHELIN, C. (1991). A contribuição das pesquisas em aprendizagem motora para o ensino da educação física. In J. Bento & A. Marques (Eds.), *As ciências do desporto e a prática desportiva*. Porto: Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física.
- PEW, R.W. (1970). Toward a process-oriented theory of human skilled performance. *Journal of Motor Behavior*, 2, 8-24.
- PRIGOGINE, I. (1967). *Introduction to the thermodynamics of irreversible processes*. New York: Wiley.
- PRIGOGINE, I. & Stengers, I. (1984). *Order out of chaos: Man's new dialog with nature*. New York: Bantam Books.
- PÚBLIO, N.S. & TANI, G. (1993). Aprendizagem de habilidades motoras seriadas da ginástica olímpica. *Revista Paulista de Educação Física*, 7, 58-68.
- PÚBLIO, N.S., TANI, G. & MANOEL, E.J. (1995). Efeitos da demonstração e instrução verbal na aprendizagem de habilidades motoras da ginástica olímpica. *Revista Paulista de Educação Física*, 9, 111-124.
- REED, E.S. (1982). An outline of a theory of action systems. *Journal of Motor Behavior*, 14, 98-134.
- REQUIN, J. (1992). From action representation to movement control. In G.E. Stelmach & J. Requin (Eds.), *Tutorials in motor behavior II*. Amsterdam: North-Holland.
- REQUIN, J. & STELMACH, G.E. (Eds.) (1991). *Tutorials in motor neuroscience*. Dordrecht: Kluwer.
- SCHMIDT, R.A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, 82, 225-260.
- SCHMIDT, R.A. (1980). Past and future issues in motor programming. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 51, 122-140.
- SCHMIDT, R.A. (1985). The search of invariance in skilled movement behavior. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 56, 188-200.
- SCHMIDT, R.A. (1988). Motor and action perspectives on motor behaviour. In O.G. Meijer & K. Roth (Eds.), *Complex movement behaviour: The motor-action controversy*. Amsterdam: North-Holland.
- SCHMIDT, R.A. (1989). Toward a better understanding of the acquisition of skill: Theoretical and practical contributions of the task approach. In J.S. Skinner, C. Corbin, D. Landers, P. Martin & C. Wells (Eds.), *Future directions in exercise and sport science research*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- SCHMIDT, R.A., LANGE, C. & YOUNG, D.E. (1990). Optimizing summary knowledge of results for skill learning. *Human Movement Science*, 9, 325-348.
- SCHMIDT, R.A., YOUNG, D.E., SWINNEN, S. & SHAPIRO, D.C. (1989). Summary knowledge of results for skill acquisition: Support for the guidance hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 15, 352-359.
- SHERIDAN, M.R. (1988). Movement metaphors. In A.m. Colley & J.R. Beech (Eds.), *Cognition and action in skilled behaviour*. Amsterdam: North-Holland.
- STELMACH, G.E. (Ed.) (1976). *Motor control: Issues and trends*. New York: Academic Press.
- STELMACH, G.E. (Ed.) (1978). *Information processing in motor control and learning*. New York: Academic Press.
- STELMACH, G.E. & REQUIN, J. (Eds.) (1992). *Tutorials in motor behavior II*. Amsterdam: North-Holland.
- SWINNEN, S.P., HEUER, H., MASSION, J. & CASAER, P. (Eds.). *Interlimb coordination: Neural, dynamical, and cognitive constraints*. San Diego: Academic Press.
- TANI, G. (1982). *Adaptive process in perceptual-motor skill learning*. Unpublished Doctoral Dissertation. Hiroshima: Hiroshima University, Faculty of Education. (in Japanese)
- TANI, G. (1989). *Variabilidade de resposta e processo adaptativo em aprendizagem motora*. Tese de Livre Docência. São Paulo: Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo.

- TANI, G. (1991). Perspectivas para a educação física escolar. *Revista Paulista de Educação Física*, 5, 61-69.
- TANI, G. (1992). Contribuições da aprendizagem motora à educação física: Uma análise crítica. *Revista Paulista de Educação Física*, 6, 65-72.
- TANI, G. (1995). Hierarchical organization of an action programme and the development of skilled actions. Unpublished Technical Report. Sheffield: University of Sheffield, Department of Psychology.
- TANI, G. (1996). Cinesiologia, educação física e esporte: Ordem emanante do caos na estrutura acadêmica. *Motus Corporis*, 3, 9-49.
- TANI, G. (no prelo). Liberdade e restrição do movimento no desenvolvimento motor da criança. Livro do Ano da Sociedade Internacional para Estudos da Criança. Santa Maria, Rio Grande do Sul.
- TANI, G., BASTOS, F.C., CASTRO, I.J., JESUS, J.F., SACAY, R.C. & PASSOS, S.C.E. (1992). Variabilidade de resposta e processo adaptativo em aprendizagem motora. *Revista Paulista de Educação Física*, 6, 16-25.
- TANI, G., MANOEL, E.J., KOKUBUN, E. & PROENÇA, J.E. (1988). Educação física escolar: Fundamentos de uma abordagem desenvolvimentista. São Paulo: EPU/EDUSP.
- TEIXEIRA, L.A. (1993). Frequência de conhecimento de resultados na aquisição de habilidades motoras: Efeitos transitórios e de aprendizagem. *Revista Paulista de Educação Física*, 7, 8-16.
- TEIXEIRA, L.A. (1993). Interferência do contexto no desempenho de tarefas motoras sincronizatórias. *Revista Paulista de Educação Física*, 7, 8-16.
- TURVEY, M.T. (1977). Preliminaries to theory of action with reference to vision. In R. Shaw & J. Brandford (Eds.), *Perceiving, acting and knowing: Toward an ecological psychology*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- TURVEY, M.T. (1990). Coordination. *American Psychologist*, 45, 938-953.
- TURVEY, M.T., FITCH, H.L. & TULLER, B. (1982). The Bernstein perspective I: The problems of degrees of freedom, and context-conditioned variability. In J.A.S. Kelso (Ed.), *Human motor behavior: An introduction*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- UGRINOWITSCH, H. & MANOEL, E.J. (1996). Interferência contextual: Manipulação de aspecto variável e invariável. *Revista Paulista de Educação Física*, 10, 48-58.
- van INGEN SCHENAU, G.J., van SOEST, A.J., GABREELS, F.J.M. & HORSTINK, M.W.I.M. (1995). The control of multi-joint movement relies on detailed internal representations. *Human Movement Science*, 14, 511-538.
- van WIERINGEN, P.C.W. (1988). Kinds and levels of explanation: Implications to the motor systems versus action systems controversy. In O.G. Meijer & K. Roth (Eds.), *Complex movement behaviour: The motor-action controversy*. Amsterdam: North-Holland.
- WINSTEIN, C.J. & SCHMIDT, R.A. (1990). Reduced frequency of knowledge of results enhances motor skill learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 16, 677-691.
- WOODWORTH, R.S. (1899). The accuracy of voluntary movement. *Psychological Review*, 3 (Suppl. 2).
- WULF, G. (1992a). The learning of generalized motor programs and motor schemata: Effects of KR relative frequency and contextual interference. *Journal of Human Movement Studies*, 23, 53-76.
- WULF, G. (1992b). Reducing knowledge of results can produce context effects in movements of the same class? *Journal of Human Movement Studies*, 22, 71-84.
- WULF, G., LEE, T.D. & SCHMIDT, R.A. (1989). Reducing knowledge of results about relative versus absolute timing: Differential effects on learning. *Journal of Motor behavior*, 26, 362-369.
- ZANONE, P. & KELSO, J.A.S. (1992). Learning and transfer as dynamic paradigms for behavioral change. In G.E. Stelmach & J. Requin (Eds.), *Tutorials in motor behavior II*. Amsterdam: North-Holland.
- ZELAZNIK, H.N. (Ed.) (1996). *Advances in motor learning and control*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.