

PROCESSO ADAPTATIVO: UMA CONCEPÇÃO DE APRENDIZAGEM MOTORA ALÉM DA ESTABILIZAÇÃO

Go Tani

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As teorias de Comportamento Motor (aprendizagem, controle e desenvolvimento) receberam, ao longo dos tempos, fortes influências das teorias psicológicas do comportamento humano em evidência em cada época, dentre as quais destacaram-se o behaviorismo, o cognitivismo e a teoria de processamento de informações. Essas teorias psicológicas, por sua vez, tiveram fortes influências do paradigma científico vigente no momento de sua formulação. Isso evidencia que a dinâmica de interação entre as teorias gerais de cunho paradigmático e as específicas de cada área de conhecimento exige, da pesquisa em Comportamento Motor, uma constante sintonia com o paradigma científico, para que o problema sob investigação tenha uma base teórica sólida e consistente com a evolução da própria ciência. Conforme enfatiza Kuhn (1970), a mudança de paradigma não só estabelece novos temas para investigação, mas também recoloca os problemas já em estudo numa nova perspectiva.

Nas últimas décadas temos assistido à emergência de sistema como conceito chave na pesquisa científica (maiores detalhes no Capítulo 4 deste volume). De acordo com Bertalanffy (1968), o problema de sistema é essencialmente o problema das limitações do procedimento analítico na ciência. Procedimento analítico significa que uma entidade pode ser estudada em partes e, por conseguinte, pode ser reconstituída pela reunião

dessas partes. Esse é o princípio fundamental da ciência clássica, que pode ser apresentado de diversas maneiras, como, por exemplo, resolução em séries causais isoláveis, procura de unidades atômicas nos vários campos da ciência e assim por diante.

Entretanto, quando se fala em sistema ou teoria de sistemas, a idéia que muitas vezes suscita é de apenas um ramo da Engenharia que lida com os problemas complexos da tecnologia moderna, particularmente a relação homem-máquina e o uso de computadores e robôs. Na realidade, a teoria de sistemas é muito mais abrangente, constituindo-se uma reorientação que se tornou necessária na ciência (Bertalanffy, 1968). Nesse sentido, ela representa uma verdadeira mudança no pensamento científico, ou seja, uma mudança de paradigma.

O paradigma sistêmico pode ser descrito de diferentes formas. Por exemplo, como uma visão sistêmica (Laszlo, 1972) em que o todo não é visto como somatória das partes, mas sim como algo que surge da interação das partes. Nessa visão, procura-se entender o todo não a partir das partes, mas, ao invés disso, a partir do todo identificar a função das partes e a relação que elas mantêm entre si para que o objetivo do todo seja alcançado. É uma visão do todo organizado hierarquicamente, ou seja, em diferentes níveis, em que a relação todo-parte não é absoluta, mas relativa. Em outras palavras, ela é holonômica (Koestler, 1967).

Se na ciência clássica a causalidade, a linearidade, o determinismo, o mecanicismo, dentre outros, eram os principais postulados, no paradigma sistêmico procura-se fornecer um quadro conceitual (*conceptual framework*) e metodologias para estudar processos complexos e mutáveis como vida, propriedades emergentes, auto-organização, espontaneidade, criatividade e tantos outros (Prigogine & Stengers, 1984). Recentes avanços no paradigma sistêmico têm projetado uma visão de sistemas dinâmicos não-lineares, em que a interação entre os componentes faz surgir uma ordem macroscópica não previsível a partir do conhecimento das partes, e essa ordem macroscópica é retroalimentada influenciando o comportamento das partes (Lewin, 1993; Waldrop, 1992).

Um conceito fundamental do paradigma sistêmico é o de sistemas abertos. De acordo com a segunda lei da termodinâmica, todos os sistemas fechados tendem a um estado de equilíbrio em que uma medida de desordem, denominada entropia, atinge o seu valor máximo. Estado de equilíbrio, em termodinâmica, significa que o sistema tem uma baixa capacidade de mudança ou uma baixa energia potencial. Portanto, todos os sistemas fechados tendem a um estado de máxima desordem e, mais importante ainda, esse processo é irreversível, caracterizando uma flecha no tempo (Bertalanffy, 1968; Prigogine & Stengers, 1984).

Entretanto, existem sistemas que contrariam a segunda lei da termodinâmica. Nesses sistemas, a entropia poderá aumentar, permanecer em *steady state*, mas também diminuir. São os chamados sistemas abertos que trocam matéria, energia e informação com o meio ambiente, importando “entropia negativa” (Schrödinger, 1945) para garantir um estado de não-equilíbrio e conseqüente possibilidade de desenvolvimento, como ocorre nos sistemas vivos. Esses sistemas são capazes de integrar as duas flechas no tempo, a de aumento e a de diminuição de entropia (Prigogine, 1996).

Uma propriedade fundamental dos sistemas vivos é a sua capacidade para atingir estados mais complexos de organização. De um lado, a estabilização (equilíbrio) via mecanismos auto-regulatórios, baseados em *feedback*

negativo, garante a manutenção do sistema. Por outro lado, a formação de estruturas mais complexas a partir de estruturas mais simples já existentes implica uma desestabilização (desequilíbrio) para uma posterior estabilização num nível superior de complexidade, ou seja, adaptação. Nesse sentido, a estabilização, em sistemas vivos, pode ser vista como um estado provisório dentro de um processo dinâmico de organização em direção a estados cada vez mais complexos. Em suma, sistemas vivos interagem com o meio ambiente mediante a troca de matéria, energia e informação e estão em constante busca de estados mais complexos de organização por meio de adaptação.

Adaptação é um conceito muito amplo, utilizado desde o nível de organização mais microscópico até o mais macroscópico. Fala-se em adaptação biológica, assim como adaptação social e cultural. Certamente, devem existir diferentes mecanismos e modos de adaptação, mas há uma condição em comum dentro dessa diversidade: a adaptação ocorre quando mudanças no ambiente perturbam o sistema desafiando a sua estabilidade e gerando incertezas (Conrad, 1983). Portanto, em sistemas abertos, as incertezas que desafiam a estabilidade não são necessariamente elementos que devem ser eliminados para manter a estabilidade, mas constituem-se fontes de nova ordem em potencial (Yates, 1987). Em outras palavras, a adaptação origina a complexidade (Holland, 1995).

O ser humano é um sistema aberto que está em constante interação com o meio ambiente. Por estar em interação, ele sofre influências das mudanças nesse meio. Isso implica a necessidade de o ser humano ter capacidade de responder adequadamente a essas mudanças, ou seja, adaptabilidade. 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. Por exemplo, o patrimônio cultural acumulado pelo ser humano no campo da ciência, da tecnologia, da arte, da educação e do esporte, dentre outros, ao longo de sua existência, pode ser visto como resultado concreto de um processo contínuo de adap-

tação. Em outras palavras, como conseqüência de sua incessante luta contra a segunda lei da termodinâmica, em que, interpretando positivamente o significado da perturbação, o ser humano foi buscando adaptações em níveis cada vez mais elevados, fazendo do irreversível fonte de ordem.

Para alcançar estados mais complexos de organização, ocorre um processo dinâmico de transformação de desordem em ordem e vice-versa. O quadro a seguir (Fig. 5.1) mostra a relação entre informação e entropia elaborada por Miller (1978). Evidentemente, os processos de mudança 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 essas 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, essa 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. Na realidade, ainda estamos muito presos a essa visão que a chamada ciência clássica nos

impôs. Na educação, por exemplo, a avaliação só leva em consideração as respostas corretas; a liberdade para errar foi varrida das metodologias tradicionais, e há uma expectativa de que o processo de aprendizagem se constitua numa sucessão de respostas corretas. Em todos esses casos, espera-se sempre uma mudança da ordem para uma nova ordem.

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 por causa das recentes proposições do paradigma sistêmico.

Certamente, o panorama atual sugere ainda muita prudência, mas há lugar para um otimismo próprio da transição paradigmática, pois recentes proposições têm fornecido elementos surpreendentes. Prigogine (1967) mostra, por exemplo, como a ordem poderia ser criada a partir da desordem, mediante processos estocásticos que transformam flutuações locais de matéria-energia em estados dinâmicos altamente ordenados chamados de estruturas dissipativas. Maruyama (1960, 1963), por sua vez, formula 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.

De fato, um novo panorama se desenha, uma nova atmosfera se cria. Na visão kuhniana, um novo paradigma se estrutura (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. 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,

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)

Fig. 5.1 Informação versus entropia (Miller, 1978).

1977; Jantsch, 1980; Kelso, 1995). Explicar descontinuidade e emergência num ciclo de estabilidade e instabilidade constitui-se uma das preocupações centrais em vários campos da ciência. A teoria da complexidade revela que descontinuidades ocorrem quando sistemas dinâmicos se colocam no limite do caos, permitindo um salto qualitativo (Lewin, 1993). Parece existirem 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 (mente \times corpo, natureza \times criação, maturação \times experiência, inato \times aprendido, etc.). Quais seriam as implicações desse paradigma da não-linearidade, do não-equilíbrio, para a compreensão da aprendizagem motora? O objetivo deste capítulo é, tendo como *background* o paradigma sistêmico, discutir, em primeiro lugar, as implicações dessa visão de adaptação que origina complexidade em sistemas abertos na formulação de uma nova concepção de aprendizagem motora e, em segundo lugar, apresentar algumas das principais questões a investigar, derivadas dessa concepção.

LIMITAÇÕES DO MODELO DE EQUILÍBRIO PARA EXPLICAR AUMENTO DE COMPLEXIDADE

Proposições teóricas correntes sobre o processo de aprendizagem motora (Adams, 1971; Schmidt, 1975; Turvey, 1977) são incapazes de explicar as diferenças entre uma bandeja do basquetebol executada por Michael Jordan e pelo autor deste texto, visto que elas apenas explicam o processo de estabilização da performance na aquisição de habilidades motoras, o qual se concretiza com a automatização.

Como se sabe, a automatização é entendida como a última etapa do processo de aprendizagem que se pensa desenrolar-se por fases características (Adams, 1971; Fitts, 1964; Gentile, 1972). A automatização é diagnosticada quando a execução do movimento torna-se independente das demandas de atenção, isto é, menos sujeita a controle cognitivo, permitindo ao executante ocupar-se com outros aspectos do

movimento ou mesmo realizar uma outra habilidade simultaneamente.

A bandeja por mim executada atende, essencialmente, às especificações acima descritas e espera-se que o mesmo possa ser dito em relação àquela executada por Michael Jordan! Brincadeiras à parte, para qualquer observador, mesmo sem muito conhecimento específico do basquetebol, existem estratosféricas diferenças na bandeja executada por nós dois. Se a aprendizagem motora realmente terminasse com a estabilização da performance, conforme propõem as teorias correntes, então o processo de aquisição que levou a diferenças tão gritantes nas nossas habilidades ficaria sem explicação.

Mas quais seriam, então, essas diferenças? Há vários critérios de avaliação da habilidade que poderiam ser utilizados para responder a essa questão. Tradicionalmente, as diferenças seriam expressas em termos de precisão, fluência, velocidade, eficiência mecânica, eficiência energética e assim por diante. Todavia, no nosso entender, a maior diferença se evidencia quando a execução sofre perturbações. No meu caso, quando enfrento perturbações como, por exemplo, uma marcação ou um bloqueio durante a execução, não consigo, na maioria das vezes, superá-las. Cometo erros, infrinjo as regras do basquetebol, perco o controle da bola, executo movimentos imprecisos, enfim, não consigo alcançar o objetivo.

E o que se sucede com a bandeja do Michael Jordan quando ele sofre as mesmas perturbações? Se ele recebe uma marcação durante a fase aérea da bandeja, por exemplo, o que usualmente ocorre é que ele altera a direção do movimento do braço que mantém a bola, muda a sua trajetória e assim a executa com sucesso, muitas vezes com uma bela "enterrada". Mais do que isso, mesmo quando a perturbação é mais forte, por exemplo, uma marcação dupla, ele é capaz não só de alterar a trajetória do movimento durante a execução, mas também a sua própria estrutura, passando a bola de uma mão para outra, desviando da marcação e alcançando o objetivo com sucesso. E não seria nenhum exagero afirmar que, dependendo do grau de perturbação, ele seria capaz de alcançar o objetivo com

a execução de um movimento totalmente novo em termos de estrutura, ou seja, um movimento nunca experimentado anteriormente. É possível imaginar, por exemplo, ele adicionando um giro de 180 graus sobre o eixo do corpo na fase final da bandeja para “enterrar” a bola de costas com as duas mãos!

Expresso de forma mais acadêmica, o Michael Jordan tem uma capacidade de adaptar-se às perturbações alterando os parâmetros do movimento como força, velocidade e direção, ou alterando a própria estrutura do movimento como a ordem sequencial dos seus componentes, ou até mesmo gerando, de forma criativa, uma estrutura de movimento totalmente nova.

Embora usualmente o nível de habilidade seja inferido do desempenho na ausência de perturbação, não há dúvida de que a capacidade de adaptar-se às perturbações constitui-se um elemento decisivo na sua avaliação. Mais do que isso, é plausível inferir que foi a constante adaptação às perturbações crescentemente intensas que permitiu ao Michael Jordan chegar ao nível de habilidade que o fez ser reconhecido como o maior jogador de basquetebol de todos os tempos. Em termos de estudo, o grande desafio é explicar o processo de aprendizagem motora que possibilita ao indivíduo adquirir essa capacidade, pois, claramente, as teorias correntes são incapazes de fazê-lo por estarem preocupadas apenas com o processo de estabilização.

A aquisição de habilidades motoras caracteriza um processo dinâmico e complexo. Entretanto, conforme já foi discutido, teorias correntes de aprendizagem motora explicam apenas o processo de estabilização da performance, ou seja, um processo homeostático (equilíbrio) alcançado via *feedback* negativo. Como foi visto anteriormente, 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. A automatização, entendida como a fase final do processo de aprendizagem motora pelas teorias correntes, é um exemplo típico de estabilização. As teorias correntes projetam uma visão estática do processo de aprendizagem.

Recentes proposições dentro do paradigma sistêmico têm enfatizado que, em sistemas abertos, a formação de novas estruturas pressupõe instabilidade ou quebra de estabilidade. Nessa perspectiva, a aquisição de habilidades motoras melhor caracterizaria um processo cíclico e dinâmico de instabilidade-estabilidade-instabilidade, resultando em crescente complexidade. Com esse *background* teórico, Choshi (1978, 1981, 1982), Choshi e Tani (1983), Tani (1982, 1989) e Tani, Bastos, Castro, Jesus, Sacay e Passos (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 vão sendo gradativamente refinados até se alcançarem movimentos padronizados e precisos. Nesse processo, o elemento fundamental é o *feedback* negativo.

O segundo é aquele em que se procuram adaptações às novas situações ou tarefas motoras (perturbação), mediante a aplicação das habilidades já adquiridas. Nesse processo, exigem-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 – um tipo de adaptação que podemos denominar de passiva. Entretanto, existem perturbações de tal envergadura que por mais que haja disponibilidade na estrutura, não há condições de adaptar-se. Nesse caso, exige-se uma reorganização da própria estrutura que, quando concluída, resulta numa mudança qualitativa do sistema (Tani, 1982).

ALGUMAS QUESTÕES A INVESTIGAR

Dentro dessa visão dinâmica do processo de aprendizagem motora, algumas questões logo se evidenciam. Em primeiro lugar, se a aprendizagem além da estabilização pressupõe instabilidade no sistema, é fundamental in-

investigar os mecanismos pelos quais o mesmo se adapta a ela e isso parece depender de duas condições básicas: quanta perturbação é introduzida e quando (Tani, 1995; Tani, Connolly & Manoel, 1996, 1997a, 1997b). Haveria um nível ótimo de perturbação? Sabe-se que se a perturbação for muito além das capacidades reais do sistema, o mesmo pode entrar em colapso. Por outro lado, se a perturbação for pequena, pode ser que o sistema mostre apenas uma adaptação passiva.

Colocada de outra forma, a questão é: qual a competência que se exige do sistema para que a perturbação possa constituir-se um agente detonador do processo de mudança em direção a estado superior de complexidade? Existe adaptação sem estabilização ou a segunda é uma condição necessária para a ocorrência da primeira? Em que nível de redundância a estabilização deve ocorrer (Benda, 2001; Benda, Corrêa, Lustosa de Oliveira & Tani, 1998; Benda, Corrêa & Tani, 1997; Tani, Benda & Corrêa, 1997, 1998; Ugrinowitsch, 2003)? Essa competência é adquirida gradualmente durante o processo de estabilização ou existe uma espécie de transição de fase ou ponto crítico, em que o sistema torna-se apto para dar o salto qualitativo, ou seja, uma mudança descontínua? Será que, com a estabilização, o próprio sistema cria instabilidades espontaneamente sem necessidade de perturbação externa, como uma condição intrínseca necessária para detonar o processo de adaptação (Benda, 2001)?

Considerando que a estabilização é entendida como uma padronização da função que leva à formação de uma estrutura e se partirmos do pressuposto de que ela é um pré-requisito para a adaptação, que tipo de estrutura deve ser formada na estabilização para que a adaptação seja facilitada? Por exemplo, consistência e variabilidade têm sido reconhecidas como a “marca registrada” de ações habilidosas (Connolly, 1977; Glencross, 1980; Turvey, 1977). A consistência da ação é necessária para se alcançarem resultados com confiabilidade, e a variabilidade é fundamental para fazer frente às condições ambientais em constante mudança. Portanto, a estrutura formada deve refletir essas duas características básicas de ações habilidosas. Como essas características aparentemente contraditórias podem ser

reconciliadas dentro de uma mesma estrutura e como essa estrutura é adquirida com a prática (Freudenheim, Manoel & Tani, 1998; Tani, 1995; Tani, Connolly & Manoel, 1998; Tani, Corrêa, Lustosa de Oliveira & Benda, 1999a, 1999b, 1999c) constituem-se importantes problemas de investigação. Para a aquisição de uma estrutura com essas características, seria a liberdade na escolha de alternativas uma condição necessária (Tani, 1982, 1989)? Como se sabe, quando se diminui a liberdade na escolha de alternativas, corre-se o risco de formar padrões de movimento estereotipados, de difícil adaptação.

Partindo-se da compreensão de que aprendizagem motora é um processo de solução de problemas motores (Bernstein, 1967) e que equivalência motora e variabilidade são características marcantes de ações habilidosas (Connolly, 1977), um importante aspecto a ser considerado é que não há uma solução única e eficiente para um dado problema motor, mas um conjunto de soluções apropriadas (Glencross, 1980; Manoel, 1995; Tani, 1998; Turvey, 1977). Esse conjunto de soluções apropriadas pode ser entendido de duas formas: como um meio específico, mas suficientemente flexível (uma mesma estrutura com diferentes parâmetros), conforme visto anteriormente, ou como vários meios (diferentes estruturas) para se alcançar um objetivo. Considerando o processo adaptativo, seria o conjunto de soluções apropriadas em si uma importante competência do sistema ou seriam as estratégias de solução de problemas adquiridas no processo de sua busca? E qual seria a relação entre a aquisição de um conjunto de soluções apropriadas para um determinado problema motor e a variabilidade de prática (Corrêa, 2001)?

Se o problema central é conciliar consistência e variabilidade numa mesma estrutura, a questão básica parece ser como lidar com o problema da variabilidade na organização de ações motoras. Como se sabe, no passado, a variabilidade foi considerada um aspecto do padrão de movimentos que necessitava ser reduzido ou até mesmo eliminado para que a consistência pudesse ser alcançada. Todavia, as abordagens recentes têm enfatizado o papel construtivo da variabilidade na organização de ações motoras (veja, por exemplo, Manoel

& Connolly, 1995; Newell & Corcos, 1993), e essa tendência é, na realidade, um reflexo de uma tendência mais geral na ciência em reconsiderar o papel dos fatores relacionados à desordem, como variabilidade, instabilidade e flutuações em sistemas dinâmicos (veja, por exemplo, Conrad, 1983; Haken, 1977; Jantsch, 1980; Kauffman, 1992; Prigogine & Stengers, 1984; Yates, 1987). Existem diferentes tipos de variabilidade? Quanto maior a variabilidade, melhor a adaptação? O significado da variabilidade depende do estado do sistema (Benda, 2001; Benda, Corrêa, Lustosa de Oliveira & Tani, 1998; Tani, Benda & Corrêa, 1998; Tani, Benda, Corrêa & Lustosa de Oliveira, 1998)?

Quando a aprendizagem motora é vista apenas como um processo de estabilização de performance, a aleatoriedade, a variabilidade, o ruído, a desordem, ou seja, aqueles fatores relacionados com entropia no quadro proposto por Miller (1978) são elementos negativos que necessitam ser reduzidos ou eliminados para que a estabilização ocorra. Entretanto, quando a aprendizagem motora é vista como um processo além da estabilização, isto é, como processo adaptativo, os efeitos desses fatores necessitam ser reconsiderados (Manoel, 1993; Manoel & Connolly, 1995, 1997; Tani, 1995; Tani et al., 1992).

Os efeitos dos fatores relacionados à desordem na aprendizagem motora podem também ser visualizados numa outra perspectiva. Recentemente, temos presenciado alguns resultados paradoxais nas pesquisas que investigam os fatores que afetam a aquisição de habilidades motoras. Por exemplo, nos estudos sobre os efeitos do conhecimento de resultados (CR), tem sido mostrado que o aumento de incerteza ou redução de informação parece contribuir para uma aprendizagem mais efetiva. Como sabemos, até pouco tempo reconhecia-se que quanto mais preciso e mais freqüente o CR, melhor seriam os seus efeitos na aquisição de habilidades motoras. Porém, estudos publicados após o artigo seminal de Salmoni, Schmidt e Walter (1984) – que denuncia a ausência de um delineamento que separasse claramente os efeitos duradouros de aprendizagem e temporários de performance nas pesquisas realizadas até então – mostram que a freqüência relativa

de CR constitui uma importante variável de aprendizagem. Até muito recentemente, apenas a freqüência absoluta era considerada relevante, pois tentativas sem CR eram vistas como neutras. Nesses estudos tem sido mostrado que a redução da freqüência relativa, embora prejudique a performance na fase de aquisição, revela efeitos benéficos no teste de transferência (Chiviakowsky & Tani, 1993, 1997; Schmidt, 1991; Sparrow & Summers, 1992; Winstein & Schmidt, 1990; Wulf, 1992a, 1992b; Wulf, Lee & Schmidt, 1989; Wulf & Schmidt, 1989; Wulf, Schmidt & Deubel, 1993). Uma mesma tendência de resultados tem sido observada em relação à redução da precisão de CR (Magill & Wood, 1986; Reeve, Dornier & Weeks, 1990), à apresentação de CR de forma sumária ou acumulada (Gable, Shea & Wright, 1991; Guay, Salmoni & McIlwain, 1992; Sidaway, Moore & Schoenfelder-Zohdi, 1991; Schmidt, Lange & Young, 1990; Schmidt, Young, Swinnen & Shapiro, 1989; Wright, Snowden & Willoughby, 1990) e suas variações como CR médio (Young & Schmidt, 1990) e faixa de amplitude de CR (Lee & Carnahan, 1990; Sherwood, 1988). Em todas essas situações, há claramente uma redução na quantidade de informações disponíveis para a performance, ou seja, um aumento de um dos fatores de desordem que é a incerteza.

Da mesma forma, trabalhos recentes têm mostrado que as atividades interpoladas durante o período pós-CR, ao contrário do que se pensava antes, facilitam a aquisição de habilidades motoras (Lee & Magill, 1993; Magill, 1988). Como se sabe, esse período é normalmente utilizado para processar o CR relacionando-o com as conseqüências sensoriais do movimento anterior. Pensava-se, portanto, que qualquer interferência nesse processo prejudicaria a aprendizagem. Como explicar esses resultados paradoxais? Como explicar que um outro fator relacionado à desordem, qual seja, o ruído ou a perturbação, facilita a aprendizagem ao invés de prejudicá-la?

Um outro tipo de resultados paradoxais tem sido observado em estudos sobre os efeitos da interferência contextual. Em situação de prática variada, a prática por blocos tem resultado em uma aquisição mais rápida e a prática aleatória numa aquisição mais lenta.

Entretanto, nos testes de retenção e transferência, um resultado oposto é observado, ou seja, a prática aleatória tem mostrado performances superiores à prática por blocos. Esse paradoxo existente entre aquisição e retenção/transferência tem sido denominado de efeito da interferência contextual (Shea & Morgan, 1979; Lee & Magill, 1983, 1985). Como pode um fator relacionado à desordem, como a aleatoriedade, contribuir para a aquisição de habilidades motoras?

É oportuno esclarecer que esses resultados paradoxais, tanto dos efeitos do CR como da interferência contextual, têm sido obtidos em pesquisas que apresentam como *background* um modelo de aprendizagem motora que denominamos de equilíbrio. Em outras palavras, a preocupação desses estudos não está em compreender como as competências adquiridas na aquisição permitem desafiar novas tarefas ou situações (perturbações). O teste de transferência, apesar de implicar uma perturbação, é essencialmente um procedimento metodológico para separar os efeitos transitórios de performance dos efeitos mais duradouros de aprendizagem, isto é, a preocupação continua a ser apenas o processo de estabilização. Todavia, o conjunto desses resultados paradoxais nos remete a interessantes questões: seriam os fatores relacionados a desordem, como incerteza, ruído e aleatoriedade, fonte de ordem na aquisição de habilidades motoras quando eles estão presentes nas condições de prática? Quais seriam as suas contribuições no processo adaptativo (Corrêa, 2001; Corrêa, Benda, Lustosa de Oliveira & Tani, 1998; Corrêa, Tani & Benda, 1998; Tani, Corrêa & Benda, 1998)?

Todas essas questões têm sido objeto de preocupações no Laboratório de Comportamento Motor – LACOM – da Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo, como mostram os estudos citados no texto (muitos ainda em forma de temas livres apresentados em eventos científicos). Os desafios são muitos, mas essa nova concepção de aprendizagem motora tem mostrado que a busca por respostas fundamentadas em dados empíricos constitui-se um empreendimento que merece ser perseguido com entusiasmo. Os capítulos 10, 11, 12 e 17, que compõem a segunda parte deste

volume, trazem, de forma mais detalhada, resultados concretos desse esforço.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, J.A. (1971). A closed-loop theory of motor learning. *Journal of Motor Behavior*, 3, 111-150.
- Benda, R.N. (2001). Variabilidade e processo adaptativo na aquisição de habilidades motoras. Tese de Doutorado. São Paulo: Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo.
- Benda, R.N., Corrêa, U.C., Lustosa de Oliveira, D. & Tani, G. (1998). Variabilidade e processo adaptativo na aprendizagem de uma tarefa de controle da força de prensão manual I. In *Anais do XXI Simpósio Internacional de Ciências do Esporte*. São Paulo: Centro de Estudos do Laboratório de Aptidão Física de São Caetano do Sul, p.64.
- Benda, R.N., Corrêa, U.C. & Tani, G. (1997). Variabilidade e processo adaptativo em aprendizagem motora. *Anais do IV Congresso de Iniciação Científica & II Simpósio de Pós-Graduação*. São Paulo: Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo, p.95-96.
- Bernstein, N. (1967). *The co-ordination and regulation of movements*. Oxford: Pergamon Press.
- Bertalanffy, L. von. (1968). *General systems theory*. New York: George Braziller.
- Chiviacowsky, 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.
- Chiviacowsky, 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. (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. & 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)
- Connolly, K.J. (1977). The nature of motor skill development. *Journal of Human Movement Studies*, 3, 128-143.
- Conrad, M. (1983). *Adaptability: the significance of variability from molecule to ecosystem*. New York: Plenum Press.
- Corrêa, U.C. (2001). Estrutura de prática e processo adaptativo na aquisição de habilidades motoras. Tese de Doutorado. São

- Paulo: Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo.
- Corrêa, U.C., Benda, R.N., Lustosa de Oliveira, D. & Tani, G. (1998). Variabilidade de prática e processo adaptativo na aprendizagem do arremesso de dardo. In *Anais do XXI Simpósio Internacional de Ciências do Esporte*. São Paulo: Centro de Estudos do Laboratório de Aptidão Física de São Caetano do Sul, p.64.
- Corrêa, U.C., Tani, G. & Benda, R.N. (1998). Variabilidade de prática e processo adaptativo em aprendizagem motora. In *Anais do III Encontro Brasileiro Internacional de Ciência Cognitiva*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, p.24-25.
- Fitts, P.M. (1964). Perceptual-motor skill learning. In A.W. Melton (Ed.), *Categories of human learning*. New York: Academic Press.
- Freudenheim, A.M., Manoel, E. de J. & Tani, G. (1998). Organização hierárquica e estabilização no processo de aquisição de ações habilidosas: Um estudo exploratório. In *Anais do III Encontro Brasileiro Internacional de Ciência Cognitiva*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, p.32-33.
- Gable, C.D., Shea, C.H. & Wright, D.L. (1991). Summary knowledge of results. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 62, 285-292.
- Gentile, A.M. (1972). A working model of skill acquisition with application to teaching. *Quest*, 17, 3-23.
- Glencross, D.J. (1980). Levels and strategies of response organization. In G.E. Stelmach & J. Requin (Eds.), *Tutorials in motor behavior*. Amsterdam: North-Holland.
- Guay, M., Salmoni, A. & McIlwain, J. (1992). Summary knowledge of results for skill acquisition: Beyond Lavery and Schmidt. *Human Movement Science*, 11, 653-673.
- Haken, H. (1977). *Synergetics*. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Holland, J.H. (1995). *Hidden order: How adaptation builds complexity*. New York: Addison-Wesley Publishing.
- Jantsch, E. (1980). *The self-organizing universe: scientific and human implications of an emerging paradigm of evolution*. Oxford: Pergamon Press.
- Kauffman, S. (1992). *The origins of order: self-organization and selection in evolution*. Oxford: Oxford University Press.
- Kelso, J.A.S. (1995). *Dynamic patterns: the self-organization of brain and behavior*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Koestler, A. (1967). *The ghost in the machine*. London: Hutchinson.
- Kuhn, T.S. (1970). *The structure of scientific revolutions* (2nd ed.). Chicago: University of Chicago Press.
- Laszlo, E. (1972). *The systems view of the world*. New York: George Braziller.
- Laszlo, E. (1994). *Evolução: a grande síntese*. Lisboa: Instituto Piaget.
- Lee, T.D. & Carnahan, H. (1990). Bandwidth knowledge of results and motor learning: more than just a relative frequency effect. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 42 A., 777-789.
- Lee, T.D. & Magill, R.A. (1983). The locus of the contextual interference in motor skill acquisition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 9, 730-746.
- Lee, T.D. & Magill, R.A. (1985). Can forgetting facilitate skill acquisition? In D. Goodman, R.B. Wilberg & I.M. Franks (Eds.), *Differing perspectives in motor learning, memory, and control*. Amsterdam: North-Holland.
- Lee, T.D. & Magill, R.A. (1993). Activity during the post-KR interval: effects upon performance or learning? *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 54, 340-345.
- Lewin, R. (1993). *Complexity: life on the edge of chaos*. London: Phoenix.
- Magill, R.A. (1988). Activity during the post-knowledge of results interval can benefit motor skill learning. In O.G. Meijer & K. Roth (Eds.), *Complex movement behaviour: the motor-action controversy*. Amsterdam: Elsevier.
- Magill, R.A. & Wood, C.A. (1986). Knowledge of results precision as a learning variable in motor skill acquisition. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 57, 170-173.
- Manoel, E. de J. (1993). *Adaptive control and variability in the development of skilled actions*. Doctoral Dissertation. Sheffield: Department of Psychology of University of Sheffield.
- Manoel, E. de 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. de J. & Connolly, K.J. (1995). Variability and the development of skilled actions. *International Journal of Psychophysiology*, 19, 129-147.
- Manoel, E. de 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.
- 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.
- Miller, G.A. (1978). *Living systems*. New York: McGraw-Hill.
- Newell, K.M. & Corcos, D.M. (Eds.) (1993). *Variability and motor control*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Prigogine, I. (1967). *Introduction to the thermodynamics of irreversible processes*. New York: Wiley.
- Prigogine, I. (1996). *O fim das certezas: tempo, caos e as leis da natureza*. São Paulo: Edição Fundação Unesp.
- Prigogine, I. & Stengers, I. (1984). *Order out of chaos: man's new dialog with nature*. New York: Bantam Books.
- Reeve, T.G., Dornier, L.A. & Weeks, D.J. (1990). Precision of knowledge of results: consideration of the accuracy requirements imposed by the task. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 61, 284-290.
- Salmoni, A.W., Schmidt, R.A. & Walter, C.B. (1984). Knowledge of results and motor learning: a review and critical reappraisal. *Psychological Bulletin*, 95, 355-386.

- Schmidt, R.A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, 82, 225-260.
- Schmidt, R.A. (1991). Frequent augmented feedback can degrade learning: evidence and interpretations. In J. Requin & G.E. Stelmach (Eds.), *Tutorials in neuroscience*. Dordrecht: Kluwer.
- 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.
- Schrödinger, E. (1945). *What is life?* Cambridge: Cambridge University Press.
- Shea, J.B. & Morgan, R.L. (1979). Contextual interference effects on acquisition, retention, and transfer of a motor skill. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 5, 179-187.
- Sherwood, D.E. (1988). Effect of bandwidth knowledge of results on movement consistency. *Perceptual and Motor Skills*, 66, 535-542.
- Sidaway, B., Moore, B. & Schoenfelder-Zohdi, B. (1991). Summary and frequency of KR presentation effects on retention of a motor skill. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 62, 27-32.
- Sparrow, W.A. & Summers, J.J. (1992). Performance on trials without knowledge of results (KR) in reduced relative frequency presentations of KR. *Journal of Motor Behavior*, 24, 197-209.
- Tani, G. (1982). *Adaptive process in perceptual-motor skill learning*. Doctoral Dissertation. Hiroshima: Faculty of Education of Hiroshima University. (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. (1995). *Hierarchical organisation of an action programme and the development of skilled actions*. Unpublished Technical Report. Sheffield: Department of Psychology of University of Sheffield.
- Tani, G. (1998). *Liberdade e restrição do movimento no desenvolvimento motor da criança*. In R.J. Krebs, F. Copetti & T.S. Beltrame (Orgs.), *Discutindo o desenvolvimento infantil - Livro do Ano da Sociedade Internacional para Estudos da Criança*. Santa Maria: Edições SIEC.
- 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., Benda, R.N. & Corrêa, U.C. (1997). *Variabilidade e processo adaptativo em aprendizagem motora*. *Anais do Congresso Mundial de Educação Física da AIESEP*. Rio de Janeiro: Universidade Gama Filho, 202-203.
- Tani, G., Benda, R.N. & Corrêa, U.C. (1998). *Variabilidade e processo adaptativo em aprendizagem motora II*. In *Anais do VI Congresso de Educação Física e Ciências do Desporto dos Países de Língua Portuguesa*. La Coruña: Instituto Nacional de Educação Física da Galícia, p.169.
- Tani, G., Benda, R.N., Corrêa, U.C. & Lustosa de Oliveira, D. (1998). *Variabilidade e processo adaptativo na aprendizagem de uma tarefa de controle da força de preensão manual II*. In *Anais do XXI Simpósio Internacional de Ciências do Esporte*. São Paulo: Centro de Estudos do Laboratório de Aptidão Física de São Caetano do Sul, p.63.
- Tani, G., Connolly, K.J. & Manoel, E. de J. (1996). *Sistema antecipatório e o processo adaptativo na aquisição de uma habilidade seriada de rastreamento*. In *Anais do XX Simpósio Internacional de Ciências do Esporte*. São Paulo: Centro de Estudos do Laboratório de Aptidão Física de São Caetano do Sul, p.91-92.
- Tani, G., Connolly, K.J. & Manoel, E. de J. (1997a). *Sistema antecipatório e o processo adaptativo na aquisição de uma habilidade motora seriada de rastreamento em função da idade*. *Anais do VI Simpósio Paulista de Educação Física*. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, p.46.
- Tani, G., Connolly, K.J. & Manoel, E. de J. (1997b). *Sistema antecipatório e o processo adaptativo na aquisição de uma habilidade motora seriada de rastreamento em função do sexo*. *Anais do Congresso Mundial de Educação Física da AIESEP*. Rio de Janeiro: Universidade Gama Filho, p.202.
- Tani, G., Connolly, K.J. & Manoel, E. de J. (1998). *Pattern formation and hierarchical organization of motor skills*. In *Anais do III Encontro Brasileiro Internacional de Ciência Cognitiva*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, p.65.
- Tani, G., Corrêa, U.C. & Benda, R.N. (1998). *Variabilidade de prática e processo adaptativo em aprendizagem motora II*. In *Anais do VI Congresso de Educação Física e Ciências do Desporto dos Países de Língua Portuguesa*. La Coruña: Instituto Nacional de Educação Física da Galícia, p.221-222.
- Tani, G., Corrêa, U.C., Lustosa de Oliveira, D. & Benda, R.N. (1999a). *Organização hierárquica de um programa de ação na aquisição de habilidades gráficas em crianças*. In *Anais do I Congresso Internacional de Educação Física e Motricidade Humana e VII Simpósio Paulista de Educação Física*. UNESP de Rio Claro. *Motriz*, 5, 1, p.86.
- Tani, G., Corrêa, U.C., Lustosa de Oliveira, D. & Benda, R.N. (1999b). *Organização hierárquica de um programa de ação na aquisição de habilidades gráficas em crianças II*. In *Anais do 7.º Congresso de Educação Física e Ciências do Esporte dos Países de Língua Portuguesa*. Florianópolis: UFSC/UEDESC, p.156.
- Tani, G., Corrêa, U.C., Lustosa de Oliveira, D. & Benda, R.N. (1999c). *Organização hierárquica de um programa de ação na aquisição de habilidades gráficas em crianças III*. In *Anais do XXII Simpósio Internacional de Ciências do Esporte*. São Paulo: Centro de Estudos do Laboratório de Aptidão Física de São Caetano do Sul, p.110.

- 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.
- Ugrinowitsch, H. (2003). Efeito do nível de estabilização do desempenho e do tipo de perturbação no processo adaptativo em aprendizagem motora. Tese de Doutorado. São Paulo: Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo.
- Waldrop, M.M. (1992). *Complexity: The emerging science at the edge of order and chaos*. London: Penguin Books.
- Winsten, 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.
- Wright, D.L., Snowden, S. & Willoughby, D. (1990). Summary KR: how much information is used from the summary? *Journal of Human Movement Studies*, 19, 119-128.
- 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.
- Wulf, G. & Schmidt, R.A. (1989). The learning of generalized motor programs: reducing the relative frequency of knowledge of results enhances memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15, 748-757.
- Wulf, G., Schmidt, R.A. & Deubel, H. (1993). Reduced feedback frequency enhances generalized motor program learning but not parameterization learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 19, 1134-1150.
- Yates, E.F. (Ed.) (1987). *Self-organizing systems: the emergence of order*. New York: Plenum Press.
- Young, D.E. & Schmidt, R.A. (1990). Units of motor behavior: modifications with practice and feedback. In M. Jeannerod (Ed.), *Attention and Performance XIII*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum.