

DESENVOLVIMENTO MOTOR NA TEORIA DOS SISTEMAS DINÂMICOS

Giselda de Angela Costa Gonçalves¹

Andréa Krüger Gonçalves¹

Alaércio Perotti Júnior²

RESUMO

A Teoria dos Sistemas Dinâmicos surgiu de uma nova abordagem ao estudo da coordenação e controle do movimento, nas décadas de 70 e 80, contrapondo-se às outras perspectivas existentes. Esta nova concepção teórica foi formulada por TURVEY e colaboradores (1980), tendo por base as idéias de coordenação e controle do movimento propostas por Bernstein, e a teoria da percepção direta de Gibson. De acordo com a Teoria dos Sistemas Dinâmicos, é através da autoorganização entre outros princípios, que se pode entender a emergência de novas formas de comportamento sobre a ação do tempo real, no curso do desenvolvimento. Este trabalho visou identificar as contribuições da Teoria dos Sistemas Dinâmicos para o estudo do desenvolvimento motor humano. Após revisão da literatura, concluiu-se que a trajetória desenvolvimental é vista pela Teoria dos Sistemas Dinâmicos como um processo contínuo e dinâmico; sendo que a concepção de desenvolvimento dada como linear e pré-determinada, não é mais aceita por esta nova abordagem. O processo de desenvolvimento é visto como não-estacionário, dinamicamente mudando e sendo afetado pelo espaço que o cerca e os diferentes sub-sistemas que compõe o organismo.

UNITERMOS: Desenvolvimento Motor, Teoria dos Sistemas Dinâmicos, Auto-organização

INTRODUÇÃO

O campo de estudo do desenvolvimento motor humano, enfoca as mudanças no comportamento motor no decorrer da vida, assim como o processo ou processos que estão nas bases destas mudanças (CLARK & WHITALL, 1989). Muitas pesquisas e trabalhos têm sido realizadas ao longo dos últimos anos,

com o objetivo de entender o processo do desenvolvimento do ser humano, especificamente no domínio motor.

O desenvolvimento motor humano como uma área de estudo, está sendo afetado atualmente por um processo de revolução de paradigma. O surgimento do novo paradigma baseia-se numa perspectiva dinâmica, e temos autores que concordam como NEWELL (1993); HAYWOOD (1986) entre outros. É preciso que a Educação Física modifique a visão anterior restrita do movimento de outrora e passe a analisar o significado do movimento na relação dinâmica entre o ser humano e o meio ambiente (TANI, 1989).

A visão tradicional de desenvolvimento motor enfatiza a maturação do sistema nervoso central como maior determinante do desenvolvimento motor. No primeiro ano de vida o repertório motor da criança manifesta uma ordem ou regularidade que sugere grande influência maturacional no desenvolvimento motor, porém o desenvolvimento não é só resultante de um código genético que prescreve quando as crianças vão rolar, sentar ou andar (CLARK, 1994). Explicações contemporâneas reconhecem a importância de uma grande disposição de outras restrições, além da hereditariedade que permeiam o desenvolvimento do indivíduo. Certamente a maturação do sistema nervoso central é uma importante fonte de restrições no comportamento do indivíduo, mas não a única.

¹ Mestranda em Ciências da Motricidade/UNESP -

Bolsista de Mestrado/CAPEs

² Mestrando em Ciências da Motricidade/UNESP - Bolsista de Mestrado/ CNPq

A Teoria dos Sistemas Dinâmicos aponta a auto-organização como um dos elementos básicos para o desenvolvimento do sistema sendo originada por suas perturbações que acabam rompendo velhas formas e trazendo com isso a emergência de novos comportamentos (RA YWOOD, 1986).

Apoiando-se no surgimento da Teoria dos Sistemas Dinâmicos, o presente trabalho visou identificar as contribuições desta teoria para o estudo do desenvolvimento motor humano.

TEORIA DOS SISTEMAS DINÂMICOS

Os estudos sobre Sistemas Dinâmicos surgiram a partir de questionamentos que as teorias existentes não explicavam de maneira satisfatória. Indagações sobre como se originavam novas formas de comportamentos, envolvendo a continuidade, a descontinuidade, e a variabilidade desses, levaram pesquisadores a buscar novos conceitos e princípios que a partir da década de 80 começaram a preencher uma série de lacunas deixadas pelas teorias anteriores, trazendo assim uma nova luz para o estudo do desenvolvimento motor.

Apesar dos conceitos inovadores, não foram abandonados os conceitos antigos. Piaget (apud THELEN & ULRICH, 1991) explicava o desenvolvimento da inteligência na criança partindo de processos, como por exemplo, assimilação e acomodação, os quais forneciam subsídios para que, a partir das estruturas já existentes, novas experiências fossem somadas, alterando estas estruturas e permitindo ao organismo, responder frente à novas situações.

O conceito de equilíbrio refere-se ao processo em que o organismo procura um estado próximo ao equilíbrio após passar por um estado de desequilíbrio e

reequilíbrio, a Teoria dos Sistemas Dinâmicos também utiliza-se deste conceito proposto por Piaget para explicar o desenvolvimento humano. Tanto a teoria de Piaget, que explica o desenvolvimento da inteligência do ser humano como a Teoria dos Sistemas Dinâmicos, basearam-se nos princípios termodinâmicos que reconhecem que ordem e complexidade em um sistema surgem em oposição a desordem, tendo como característica comum a auto-organização do sistema (THELEN & ULRICH, 1991).

A auto-organização é a primeira fundamentação da Teoria dos Sistemas Dinâmicos e origina-se das perturbações do sistema, que rompem a estabilidade de velhas formas, ocasionando a emergência de novos padrões (RA YWOOD, 1986).

O homem faz parte de um sistema em estado de inter-relacionamento e inter-dependência essencial entre os fenômenos físicos, biológicos, sociais e culturais e por este fato a auto-organização está presente no desenvolvimento do ser humano, pois a mesma somente ocorre em sistemas abertos não-equilibrados (PELLEGRINI, 1991).

O sistema humano é caracterizado como não-linear e as mudanças qualitativas que afetam a forma do movimento surgem de um novo padrão espaço-temporal, ou seja, ocorrem devido a não-linearidade do sistema que é passível de modificações. A não linearidade essencial dos sistemas em desenvolvimento é refletida tanto na capacidade do sistema para se auto-organizar como em mudanças de estado para perda da estabilidade.

O tempo nesta visão dinâmica, é visto como uma propriedade que emerge da confluência das restrições resultantes da natureza da tarefa, do ambiente e do organismo, enquanto que a organização temporal (timing) refere-se aos relacionamentos temporais entre os componentes de um sistema integrado (THELEN, 1993).

É importante ressaltar que a Teoria dos Sistemas Dinâmicos vê o sistema motor humano como um **sistema complexo** que interage com vários graus de liberdade; **não-linear e dinâmico**, pois não é estacionário; e **dissipativo** no qual a energia necessária para manter o organismo em pleno funcionamento varia de situação para situação.

O comportamento motor humano emerge estritamente como uma função cooperativa dos subsistemas que estão em constante desenvolvimento (THELEN & ULRICH 1991), e de acordo com o estado de prontidão de cada sub-sistema, o organismo desenvolve-se e novos padrões substituem os padrões anteriores ..

Um tópico relevante no estudo do desenvolvimento humano tem sido as mudanças que ocorrem no organismo com o tempo. O timing é definido como as ligações entre os componentes do desenvolvimento, que mudam durante o curso desenvolvimental do organismo (TURKEWITZ & DEVENNY, 1993). O conceito de timing é importante dentro de uma visão na qual as relações entre os componentes, determinam a característica de um sistema. Essas relações originam-se da interação entre organismo, ambiente e tarefa.

Estudos com eventos no tempo têm sido realizados para estudar o processo de desenvolvimento, mas o timing de desenvolvimento dos eventos não tem sido o tópico central das investigações. A ênfase é dada no tempo como um artifício para medir a trajetória desenvolvimental do indivíduo. Como entende-se o desenvolvimento humano como o resultado de interações entre as mudanças do organismo e ambiente, o timing possui um papel formativo por ser um dos componentes da mudança, e por ser determinado pelo status de outros componentes.

As mudanças entre os níveis de organização compreendem o processo de mudança desenvolvimental. A interação de organismo e ambiente, permite que o desenvolvimento comportamental das pessoas não ocorra em um curso inevitável. A ênfase está no aspecto do desenvolvimento não ser pré-determinado, e de existir várias trajetórias desenvolvimentais individuais, baseadas na história de seus componentes e seu inter-relacionamento.

O conceito de influências bi-direcionais (organismo <--> ambiente) fortalecem a visão de não-linearidade do desenvolvimento humano (Schneider apud TURKEWITZ e DEVENNY, 1993). O desenvolvimento humano é enfatizado como um produto do timing das relações entre eventos externos e internos, assim possuindo uma origem dinâmica.

FENTRESS (1991) examinou o timing e o desenvolvimento de habilidades motoras que operam juntos através de princípios de auto-organização e dependência mútua. O comportamento motor é relativo e dinâmico ao organismo e ambiente. A união entre os dois lados exhibe flutuações assim como trajetórias determinadas. O comportamento é influenciado por estas flutuações, que capacitam o sistema a descobrir novos estados. Seu desenvolvimento é explicado por regras de interação e auto-organização, entre as propriedades dos componentes e configurações complexas no espaço e no tempo.

O timing não é mais entendido como pré-determinado por um relógio cronometrado, mas origina-se das mudanças do ambiente e do organismo. A invariância do timing e sua variabilidade também são importantes para o desenvolvimento motor, porque as flutuações permitem que a estabilidade dos estados coordenativos dêem lugar para o sistema explorar e descobrir novos estados. A variabilidade do timing não é

mais assumida como um fator negativo para a habilidade motora, mas sim como uma parte básica de seu desenvolvimento.

DESENVOLVIMENTO MOTOR E A TEORIA DOS SISTEMAS DINÂMICOS

O desenvolvimento motor é um processo sequencial e contínuo, relacionado à idade cronológica, sendo que o indivíduo progride de um movimento simples e sem habilidade até realizar habilidades motoras complexas e organizadas (CLARK & WHITALL, 1989; CLARK, 1994 e HAYWOOD, 1986). O ajustamento destas habilidades vão acompanhar o indivíduo até seu envelhecimento.

Do início ao fim da vida, o comportamento motor muda. Algumas destas mudanças são drásticas e ocorrem na fase da infância e adolescência, outras são mais modestas e acontecem na fase adulta, posteriormente percebe-se uma regressão nos movimentos com os anos da idade avançada.

As mudanças ocorridas no comportamento motor do indivíduo durante sua vida, são mudanças na forma e na execução do movimento, alterando assim, a organização ou **controle** e a **coordenação** dos movimentos (BARELA, 1992).

É necessário ressaltar que coordenação e controle são distintos, segundo NEWELL (1993) Coordenação é uma função que restringe as variáveis potencialmente livres em uma unidade comportamental. As bases desta função são um conjunto de variáveis (A,B,C, ... X,Y,Z) que podem ser restringidas em função de uma coordenação $f(A,B,C, \dots X,Y,Z)$. O controle é o processo pelo qual os valores são atribuídos na função, ou seja, a parametrização da função $f(A_i, B_j, C_k, \dots X_r, Y_s, Z_t)$.

Portanto, coordenação é responsável pela forma do movimento, enquanto que o controle fornece o ajustamento necessário para a realização do mesmo.

Bernstein apud TURVEY, FITCH & TULLER, 1982. forneceu subsídios para estudar os movimentos, definindo seus principais elementos e caracterizando-os em termos de problemas de coordenação e controle. Um desses problemas são os graus de liberdade que se referem ao grande número de variáveis livres a serem organizadas pelo sistema nervoso central. E o outro problema consiste em como controlar os muitos movimentos possíveis em um ambiente que está constantemente mudando e influenciando esta regulação, denominado como problema da variabilidade condicionada ao contexto.

A hipótese dada por Bernstein é que os graus de liberdade são controlados através do uso de unidades definidas no aparelho motor, as unidades automaticamente ajustam-se entre si e entre as forças externas. As unidades de ação são definidas como estruturas coordenativas, que consistem em um grupo de músculos que freqüentemente envolvem várias articulações de forma a restringir seus atos como uma unidade funcional (TURVEY, FITCH & TULLER, 1982).

A dinâmica das estruturas coordenativas é estudada pela Teoria dos Sistemas Dinâmicos, que tem utilizado o modelo físico dos osciladores ciclo-limitados (PELLEGRINI, 1991). A característica principal deste modelo é a capacidade de auto-organização, sem o auxílio de mecanismos adicionais. Para que o contínuo ciclo do sistema ocorra, necessita-se de uma injeção constante de energia de algum lugar, caso contrário o sistema pára. Baseando-se nesta necessidade de energia, que é característica dos sistemas dissipativos (sistemas vivos) é dada a característica de não-linearidade.

Os osciladores ciclo-limitados são sistemas que balançam, mas possuem um ciclo preferencial ou órbita atrativa para onde as trajetórias tendem a convergir (PELLEGRINI, 1991).

O **atrator** é a preferência do sistema para determinados estados, aparecendo quando o sistema encontra-se em equilíbrio, auxiliando a sua manutenção (THELEN & ULRICH, 1991). Nota-se portanto, que o atrator é uma variável coletiva e o centro da visão dinâmica do desenvolvimento (KELSO, DING & SCHONER, 1993).

As mudanças no desenvolvimento ocorrem quando algum ponto crítico em uma ou mais das restrições internas e externas é atingido, provocando uma nova organização ou um novo controle na realização do movimento (PELLEGRINI, 1991). Por restrições internas temos: força, massa corporal, altura, etc., e por restrições externas: demandas da tarefa, contexto em que é realizada, etc.

KELSO, DING & SCHONER (1993) afirmam que ao atingir o ponto crítico, acontece no sistema, uma alteração qualitativa ou uma descontinuidade, que é freqüentemente associada com a formação espontânea de padrões de ordem espaço-temporal, e que este processo de auto-organização surge sempre de uma instabilidade resultante de um sistema não equilibrado. Teoricamente a perda da estabilidade leva à mudanças na coordenação.

Um exemplo típico desta necessidade de se atingir o ponto crítico é dado por CLARK. (1994): após seus primeiros passos a criança segue para a próxima etapa que é a corrida, fato que se complica um pouco se ela não produzir força propulsora o suficiente para elevar seu corpo na fase de vôo. Conseguindo esta força que era até então uma restrição a emergência do correr, a criança manterá a posição ereta e a

estabilidade sobre os dois pés. Uma vez que o andar e o correr apresentam um mesmo padrão de coordenação intermembros, ao conseguir andar a criança necessita de algum substrato neural, muscular ou fisiológico, que dê a ela condições de gerar e administrar a força adicional requerida para correr.

Existem três princípios gerais que segundo PELLEGRINI (1991) caracterizam a formação de padrões e mudanças no comportamento motor: a) sistemas complexos são reduzidos a estados atrativos simples; b) sistemas são auto-organizados; c) mudanças de uma forma estável para outra é alcançada através da geração de parâmetros de controle.

Mudanças no desenvolvimento humano podem ser lineares e graduais, tais como crescimento, peso corpóreo ou tamanho. Mas o desenvolvimento mostra freqüentemente descontinuidade com a emergência de novas habilidades. Uma abordagem dinâmica conceitualiza as descontinuidades no desenvolvimento como **troca ou mudança de fases**. A troca de fases, segundo THELEN e ULRICH (1991), implica na transição entre dois modelos estáveis, onde os estados intermediários são mais instáveis e transitórios. A mudança de fase significa a emergência de uma nova forma de comportamento.

Após o andar independente, a criança evolui para outras habilidades, como o correr, saltar, trepar, arremessar, receber, etc., numa sucessiva progressão de habilidades mais fáceis para as mais difíceis até chegar a combiná-las entre si, realizando movimentos complexos, numa constante progressão. Internamente os sub-sistemas requisitados para realizar as ações vão-se adequando numa interação constante, e entre os estados de estabilidade e instabilidade o desenvolvimento motor vai acontecendo.

CONCLUSÃO

A Teoria dos Sistemas Dinâmicos engloba a mudança e a auto-organização, como elementos básicos para o desenvolvimento do sistema. O desenvolvimento motor humano, segundo THELEN & ULRICH (1991), dentro dessa nova abordagem teórica, pode ser entendido como estabilização e desestabilização de atratores, definidos de acordo com uma variável coletiva. O comportamento motor é dado no tempo baseado nos componentes do sistema interagindo entre si e também com a tarefa e o ambiente. Os componentes mudam e se reorganizam no tempo, é o timing do sistema.

A trajetória desenvolvimental é vista pela Teoria dos Sistemas Dinâmicos como um processo contínuo e dinâmico, e esta é a contribuição ao estudo do desenvolvimento motor humano. A concepção de desenvolvimento dada como linear e pré-determinada, não é mais aceita. O processo de desenvolvimento é visto como não estacionário, dinamicamente mudando e sendo afetado pelo espaço que o cerca e os diferentes subsistemas que compõe o organismo.

ACCORDING TO DYNAMIC SYSTEMS THEORY THE MOTOR DEVELOPMENT

ABSTRACTS

The Dynamic Systems Theory arised from a new approach of studing coordination and control of movements. during the 70s and 80s. in opposition to other existing perspectives. This new theoretical conception was formmulated by TURVEY and collabors (1980), taking into consideration the ideas of coordination and control of movements proposed by Bernstein. and the theory of direct perception proposed by Gibson. According to the Dynamic Systems Theory. it is through self-organization among other principles that one can understand the apperance of new forms of behavior under the action of real time. during the course of development. The aim of this work was to identify the contributions of Dynamic Systems Theory for the study of human motor development.

*After revision of the literature. it was concluded that the developmental trajectory is seen by Dynamic Systems Theory as a continual and dynamic process; and the conception of development as a linear and predetermined process is no tanger accepted by this new approach. The process of development is seen not as a stationary one. but as a dynamically changing process affected by its sorounding space and the different sub-systems which form the organism .
UNITERMS: Motor Development. Dynamic Systems Theory. Self-organization*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARELA, J.A. **Desenvolvimento do Saltar à Horizontal: uma análise topológica.** Porto Alegre: Escola Superior de Educação Física-UFRGS, 1992. p.100. Dissertação (Mestrado em Ciências do Movimento Humano).
- CLARK, J.E. Motor development. **Encyclopedia of Human Behavior**, v. 1-4, p M20-1 - M20-11, 1994.
- CLARK, J.E., WHITALL, J. What is motor development? The lessons of history. **Quest**, v *Al*, p.183 - 202,1989.
- FENTRESS, J.c. The Role of Timing in Motor Development. In: Fagard W. (ed.), **The Development Of Timing and Timing Control and Temporal Organization in Coordinated Action.** New.York.: Elsevier Science, 1991. p.341-366.
- HA YWOOD, M.K. **Life Span Motor Development.** Champaign: Htiman Kinetics, 1986. pA01.
- KELSO, J.A.S., DING, M., SCHONER, G. Dynamic Pattern Formation: A primer. In: SMITH L.B., THELEN, E. (eds.) **A Dynammic Systems Approach to Development: Applications.** Massachusetts: A Bradford Book, 1993. p.15-50.
- NEWELL, K.M. Coordination, Control and Skill. In: Newell K.M., Corcos D.M. (eds.) **Variability and Motor Control.** Champaign: Human Kinetics, 1993. p.295-317.
- PELLEGRINI, A.M. Tendências no estudo do desenvolvimento motor. In: **CONGRESSO DE EDUCAÇÃO FÍSICA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA: AS CIÊNCIAS DO DESPORTO**

NO ESPORTE DA LÍNGUA PORTUGUESA, 1.
Porto: Universidade do Porto. 1991. p.369-378.

TANI, G. Perspectivas da educação física como disciplina acadêmica. In: SIMPÓSIO PAULISTA DE EDUCAÇÃO FÍSICA, 2., Rio Claro: UNESPIB, 1989. v.2, p.02-13.

THELEN, E. Timing and developmental dynamics in the acquisition of early motor skill. In: TURKEWITZ, G., DEVENNY, D.A. (eds.) Developmental Time and Timing. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 1993. p.85-104.

THELEN, E., ULRICH, B.D. Hidden skills: A dynamic systems analysis of treadmill stepping during the first year. Monographs of the Society for Research in Child Development. v.56, 1991. p.106. (Serial223).

TURVEY, M.T., FITCH, H.L., TULLER, B., The Bernstein Perspective: I The problems of degrees of freedom and context-conditioned variability. In: SCOTT KELSO, J.A. (ed.) Human Motor Behavior: An Introduction. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, 1982.

TURKEWITZ, G., DEVENNY, D.A. Timing and The Shape of Development. In: Turkewitz G., Devenny, D.A. (eds.) Development Time and Timing. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 1993. p.01-11.