

Uma visão epigenética do desenvolvimento motor

An epigenetical view of motor development

Andrea Caccese Perrotti,
Edison de Jesus Manoel

Resumo

[1] Perrotti, A.C., Manoel, E.J. Uma visão epigenética do desenvolvimento motor. Rev. Bras. Ciên. e Mov. 9 (4): 77-82, 2001.

Os avanços recentes da genética molecular trouxeram à tona a noção de que o desenvolvimento pode ser previsto a partir do genoma. No estudo do desenvolvimento motor, isso implicaria uma retomada da hipótese maturacional, para explicar a aquisição de habilidades motoras. A presente revisão tem como objetivo apresentar uma concepção alternativa a esse determinismo biológico exacerbado. A natureza do desenvolvimento motor é discutida com base numa visão epigenética. As noções de multicausalidade e de influências recíprocas entre os diferentes níveis de organização (molecular, celular, orgânico, comportamental e social) são discutidas com suas implicações para o comportamento motor.

PALAVRAS-CHAVE: desenvolvimento motor, comportamento motor, epigênese.

Abstract

[2] Perrotti, A.C., Manoel, E.J. An epigenetic view of motor development. Rev. Bras. Ciên. e Mov. 9 (4): 77-82, 2001.

Recent advances in molecular genetics have brought a notion that development can be predicted from the genoma. In the study of motor development, this would imply a renewal of the maturation hypothesis to explain the acquisition of motor skills. In the present review, the goal is to put forward an alternative view to such biological determinism. The nature of development is discussed on the basis of an epigenetical view. Notions of multi causality and reciprocal influences between different levels of organization (molecular, cell, organic, behavior and social) are presented and their implications for motor behavior are discussed.

KEYWORDS: motor development, motor behavior, epigenesis.

Laboratório de Comportamento Motor
Escola de Educação Física e Esporte
Universidade de São Paulo
Endereço para correspondência: Edison de J. Manoel
Escola de Educação Física e Esporte, Av. Prof. Melo Moraes, 65
- São Paulo, SP - 05508-900
e-mail: ejmanoel@usp.br

Introdução

A ciência começa o século XXI sob os holofotes da mídia, em face dos constantes avanços da Biologia Molecular no detalhamento da constituição genética dos seres vivos. A descrição do genoma humano, em particular, tem suscitado os mais variados debates, das questões éticas e morais envolvidas até as questões sobre a viabilidade de uma engenharia genética altamente eficaz. Em todas as instâncias desse debate nos defrontamos com a crença de que a identificação dos genes humanos possibilitará a antecipação das características que um indivíduo irá desenvolver ao longo de sua vida (Lewontin, 2000). Esse conhecimento poderia abrir as portas para o domínio de técnicas que dariam um controle sem precedentes sobre o que os indivíduos são ou virão a ser.

Em que pese o fato de toda essa excitação ser legítima, não podemos deixar de apontar que ela se sustenta em visões simplistas do processo de desenvolvimento (Lewontin, 1993). Não raro, o desenvolvimento motor é visto como um processo fortemente influenciado pela maturação (Bradley, 1992) que, por sua vez, é tratada como sinônimo de um programa prescrito nos genes (Oyama, 1989). Assim, o momento parece propício para nos debruçarmos, uma vez mais, sobre questões básicas a respeito da natureza do desenvolvimento motor (cf. Manoel, 1989, 1998). Nosso objetivo com a presente revisão é contribuir para a idéia de que, em se tratando de desenvolvimento, nem tudo está nos genes.

Comportamento motor e complexidade

Complexidade é um tema freqüente em muitas rodas científicas. Sua definição é igualmente diversa, mas há um consenso em se considerar que complexidade tem a ver com o número de elementos identificáveis num sistema e as relações que se estabelecem entre eles (Waddington, 1979). Com essa definição em mente, pode-se dizer que o comportamento motor é um fenômeno complexo. Uma forma de percebermos isso é começar pela identificação dos domínios que o constituem: cognitivo, afetivo, social e motor. Não há como dizer que um dado comportamento foi exclusivamente cognitivo ou motor. Esses domínios agem de forma integrada no comportamento. A especificação deste ou daquele domínio se justifica, no entanto, ao se constatar que, dependendo da intenção do indivíduo e do contexto em que ele age, há uma predominância de um dos domínios sobre os demais (Tani, Manoel, Kokubun & Proença, 1988). O estudo do desenvolvimento, seja ele cognitivo, afetivo-social ou motor, deve sempre levar em conta que o processo faz parte de um contexto mais amplo, o desenvolvimento de um indivíduo, o qual, por sua vez, está inserido num ambiente, numa sociedade, numa cultura, que não são estáticas. De fato, considerando o indivíduo como um sistema aberto, isto é, um sistema em constante troca de energia/matéria e informação com o meio ambiente (cf.

Bertalanffy, 1977), não é possível apreender o significado e a natureza do desenvolvimento dissociando o indivíduo de seu meio.

As características de complexidade do comportamento motor exigem que, no estudo de seu desenvolvimento, contemplemos a possibilidade de que as mudanças observadas sejam resultantes de múltiplas causas (cf. Ford & Lerner, 1992; Gottlieb, 1992). Esse pensamento leva à necessidade de revisão do conceito de desenvolvimento.

A natureza do desenvolvimento

Face às influências filosóficas, sociais e culturais de diferentes períodos históricos, a discussão a respeito da natureza do desenvolvimento apresenta as contraposições clássicas: maturação versus experiência, natural versus artificial ou cultural. A compreensão de tal natureza é, muitas vezes, segundo Ford & Lerner (1992), apoiada mais em pressuposições sobre a natureza humana do que em fatos.

No decorrer da história do estudo do desenvolvimento humano, encontramos diversas teorias ou “paradigmas”, a partir dos quais pesquisadores buscam respostas à questão da natureza desse desenvolvimento, atribuindo-o, algumas vezes, à maturação ou à genética, outras, ao ambiente. Assim, vamos encontrar modelos baseados numa visão pré-formacionista, determinista e ambientalista (cf. Manoel, 1998). Foge ao escopo do presente ensaio detalhar cada um desses modelos, razão pela qual analisaremos a visão que, na opinião de vários autores, faz justiça à natureza do desenvolvimento. Antes é importante lembrar que tanto a concepção ambientalista como as pré-formacionistas e pré-deterministas acabam por atribuir uma única causa ao desenvolvimento, seja ela natural ou genética, cultural ou ambiental, adotando, assim, o que poderia ser considerado um paradigma reducionista. Desenvolvimento, de acordo com Connolly (1972), não é nem um processo de desdobramento, dirigido por forças intrínsecas, nem um processo de “moldagem”, dirigido por forças extrínsecas, mas a combinação dos dois.

Concepções sistêmicas e dinâmicas de desenvolvimento exploram ao máximo a noção de influências recíprocas de processos biológicos e psicológicos e condições do ambiente ou contexto (Ford & Lerner, 1992). Assim, indivíduo e contexto “interagiriam dinamicamente” no desenvolvimento e, em virtude dessa interação, cada uma das partes seria transformada pela outra.

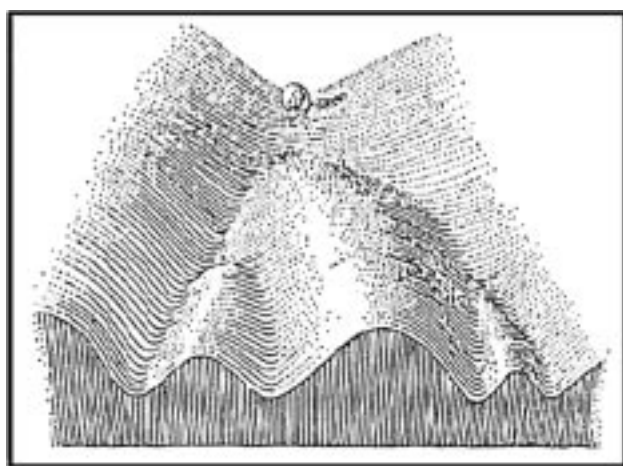
Segundo tal concepção, as características de um organismo podem ser afetadas por diferenças genéticas e/ou ambientais, mas são criadas pela ação conjunta de gene e ambiente (Connolly, 1986). Bronfenbrenner, conforme afirma Krebs (1997), em sua teoria dos sistemas ecológicos, define o desenvolvimento humano como uma progressiva e mútua acomodação, no curso da vida, entre o ser humano e o ambiente. O ser humano em desenvolvimento é caracterizado como alguém ativo em seu meio. Assim, o desenvolvimento de um organismo depende de seu estado num determinado momento e dos sinais ambientais que o estejam afetando; o organismo é, então, resultado tanto de seus genes quanto da “sequência temporal de ambientes

pelos quais ele passou” (Lewontin, 1997). O organismo se desenvolve em sua interação com um contexto ou ambiente particular.

Do intenso contato entre ambos, surgem características novas no organismo e no ambiente: um influencia e é influenciado pelo outro; dessa forma, ambos se constroem a partir dessa interação. Lewontin (1997) afirma que a informação necessária para especificar um organismo acha-se contida tanto em seus genes como em seu ambiente. O ambiente, por sua vez, não pode ser caracterizado, a não ser na presença do organismo que ele rodeia. Assim, organismo e ambiente são caracterizados a partir de sua “inter-relação”. O que não se sabe, porém, é o quanto das diferenças entre os diversos seres humanos se deve à genética, o quanto às variadas experiências de vida e o quanto ao ruído aleatório do desenvolvimento.

Na tentativa de esquematizar um processo de desenvolvimento não enraizado em perspectivas reducionistas, mas em interações nos mais diversos níveis (genes, seus produtos, fenótipo, ambiente...), Waddington (1957) propôs uma metáfora do desenvolvimento, denominada Paisagem Epigenética.

Figura 1. Uma porção da Paisagem Epigenética (adaptado de Waddington, 1957)



Na Figura 1, temos a “paisagem” formada pelo genótipo do organismo; a bola corresponderia ao fenótipo em desenvolvimento, que se move sobre seus “caminhos de mudança”. Esses caminhos apresentam diferentes graus de inclinação em função da topografia da paisagem. Em alguns “caminhos” a bola é mais resistente à perturbação do que em outros. O importante é a maneira como a paisagem é formada e como modificações no ambiente alterariam, ou não, sua configuração. Assim, saindo do mesmo ponto, a bola poderia chegar a diferentes locais da paisagem. Por exemplo: do deslocamento prono ou supino até o ereto, pode-se apresentar diferentes comportamentos. Alguns bebês engatinham e rastejam, outros só engatinham ou só rastejam, e alguns até não fazem nenhum dos dois. Em qualquer uma dessas situações, os bebês atingem o mesmo estado final: a locomoção bipedal.

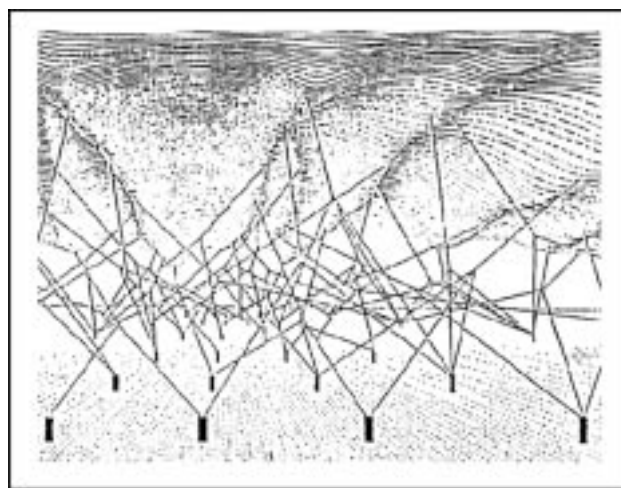
Em outra representação gráfica, Waddington (1957) tentou expressar a formação da paisagem epigenética e a maneira como ela muda durante a história de vida do organismo (veja também Connolly, 1986).

Na Figura 2, os pinos representam os genes e os cordões, o produto de suas ações (por exemplo, aminoácidos). A forma da paisagem é gerada por diferentes genes em diferentes localizações, mas não é estática, depende do genoma e do ambiente no qual o gene é locado. Quando o “microambiente” do gene muda, a ação do gene pode mudar (diminui a tensão em uma das cordas, por exemplo), resultando na reformulação da paisagem (Connolly, 1986). Assim, gene e ambiente, juntos criariam as “trilhas” pelas quais se dá o desenvolvimento.

Na verdade, o ambiente aqui só existe no sentido de alguém agindo sobre algo externo. Assim, gene e ambiente são extremos de um contínuo em que há inúmeros elementos.

Na busca de uma perspectiva que não estivesse ligada a nenhuma doutrina em que a “informação” para o desenvolvimento ou para a evolução circulasse somente do núcleo para o fenótipo, do “centro” para o “externo”, Oyama (1989) desenvolveu o conceito de sistema desenvolvimentista.

Figura 2. Sistema de interações na paisagem epigenética (adaptado de Waddington, 1957)



Este conceito procura explicar de forma mais específica a interação organismo-ambiente, transferindo o foco do gene como agente do desenvolvimento para todo um sistema, que inclui outros agentes e sem os quais o desenvolvimento não acontece. Interações entre células, tecidos e órgãos, entre organismos e entre os organismos e o contexto da interação são tão importantes quanto as próprias células, tecidos, órgãos... (Oyama, 1989).

Segundo o conceito de sistema desenvolvimentista, características não são transmitidas, mas as influências no desenvolvimento, sim. Nossa herança inclui a cultura, não como um segundo grupo de características transmitidas por “conduíte extragenético”, mas como aspectos do contexto desenvolvimentista. Idéias, ações, hábitos, valores e cren-

ças de outras pessoas fazem parte do rico complexo de influências no desenvolvimento de um organismo, a partir do qual a vida é construída, assim como os genes e muito mais (Oyama, 1989). Dessa forma, a “reconstrução” de uma característica ou seu desenvolvimento depende da constituição e funcionamento de todo o sistema. Oyama (1989) afirma, ainda, que alguns processos são estáveis, apesar da considerável variação de seus componentes, podendo certas “manifestações” se manterem estáveis, apesar de variações no processo.

O conceito de epigenese, originalmente cunhado por Waddington, nos anos 40 e 50, foi atualizado por Gottlieb (1991, 1992). Este autor define a epigenese como “a emergência de novas estruturas e funções durante o curso do desenvolvimento”. Segundo Gottlieb (1998), a epigenese reflete a relação bidirecional entre todos os níveis dos fatores biológicos e da experiência. Assim, a atividade genética influencia e é influenciada pela maturação estrutural que, por sua vez, relaciona-se de forma bidirecional com função e atividade. Gottlieb (1992) expressa essa relação da seguinte forma:

Atividade genética
(DNA $\longleftrightarrow$ RNA $\longleftrightarrow$ Proteínas) $\longleftrightarrow$
Maturação estrutural $\longleftrightarrow$ função, atividade

Esse modelo tem sido testado de forma elegante por Gottlieb numa série de estudos. Gottlieb (1991) desenvolveu um procedimento para manipular aves (patos), enquanto elas ainda estão no ovo. Inicialmente, os ovos selecionados foram isolados de outros e de sua mãe. Assim, não podiam ouvir a vocalização de outras aves. Suas cordas vocais também foram tratadas de forma que não pudessem emitir sons, pelo menos até algum tempo após o nascimento.

Ao saírem dos ovos, os filhotes foram colocados num grande recipiente com dois alto-falantes que emitiam os sons de chamada maternal de sua própria espécie e o de outra espécie de ave. As aves-filhotes que não tinham sido tratadas locomoveram-se em direção ao alto-falante que emitia os sons maternos de sua espécie. As aves que foram impedidas de ouvir os sons das aves de sua espécie ou os seus próprios sons, dentro do ovo, não mostraram preferência por nenhum dos dois tipos de chamadas. Assim, as experiências durante o estágio no ovo desempenharam um papel crítico no comportamento típico da espécie após os filhotes saírem dos ovos. Como é pontuado por Gottlieb (1998), esses resultados mostram que os patos herdam, não apenas uma disposição genética para fazer a seleção dos sons, mas também um ambiente característico que propicia as experiências necessárias para o desenvolvimento de um padrão típico da espécie.

De acordo com Bjorklund & Pellegrini (2000), os mecanismos psicológicos selecionados durante o processo evolutivo atuam como mensagens codificadas geneticamente que seguiriam regras epigenéticas na interação do indivíduo com o ambiente. Assim, teríamos não apenas um genoma típico da espécie, como também um ambiente típico da espécie. Essas características relativamente estáveis contribuiriam para a universalidade de padrões

desenvolvimentistas, ao mesmo tempo que explicariam a expressiva variabilidade interindividual do processo.

Natureza do desenvolvimento motor

A aplicação de uma visão epigenética ao estudo do desenvolvimento motor foi aventada inicialmente por Connolly (1986). Fugindo à tradicional distinção entre maturação e experiência, Connolly afirmou que o desenvolvimento motor corresponderia a um processo em que o organismo estabelece, de forma ativa, vínculos com o seu meio. O organismo exploraria os recursos contidos nesse meio para construir seu próprio comportamento. Assim, tarefas e ambientes moldariam e seriam moldados pelas ações do indivíduo. A experiência motora corresponderia ao momento em que diferentes níveis de organização (molecular, celular, orgânico, comportamental e social) seriam vinculados para gerar comportamentos que, por sua vez, iriam gerar informações que retroalimentariam essas relações de forma positiva e negativa.

A noção de multicausalidade surge nesse contexto. O desenvolvimento motor não é “causado” por este ou aquele fator, mas por uma infinidade de elementos, interagindo entre si (cf. Ford & Lerner, 1992; Michael & Moore, 1995; Valsiner, 1997). Numa série de estudos, Thelen e colaboradores mostraram como vários elementos com taxas diversas de mudança (força muscular extensora de membros inferiores, geradores centrais de padrão, motivação, fluxo ótico etc.) levam à emergência da locomoção (por exemplo, Thelen, 1989; 1995; Thelen & Fischer, 1983). A maturação do sistema nervoso central é apenas um dentre os vários fatores envolvidos no desenvolvimento da locomoção.

Como foi colocado por Waddington (1979), num dado momento do ciclo de vida, o organismo apresenta um estado estável, fruto da relação de vários elementos. A variação desses elementos pode ser tal que o padrão de interação entre eles se fragiliza e o estado estável se torna instável, modificando-se, eventualmente, por completo. Dessa forma, Manoel & Connolly (1997) afirmam que estados estáveis no desenvolvimento motor são relativos, pois no processo em direção ao aumento de complexidade a infusão de instabilidade é essencial.

Recentemente, Muchisky, Gershkoff-Stowe, Cole & Thelen (1996) revisitaram o modelo de paisagem epigenética de Waddington, nele introduzindo a noção de complementariedade entre estabilidade e instabilidade. Nessa versão, a paisagem corresponderia à variável coletiva de um dado sistema de ação motora a qual, por sua vez, expressa o padrão de interação entre os elementos ou o estado do sistema de ação. Ao longo do tempo, a variável coletiva flutua em sua estabilidade, com momentos de menor e maior variação. Muchisky et al. (1996) exemplificam esse processo com o desenvolvimento da locomoção. No início da vida, o bebê apresenta estados estáveis de locomoção na posição prona e supina (como rastejar, engatinhar etc.). A locomoção ereta (por exemplo, o andar) corresponderia a um estado instável. Ao final do primeiro

ano, a estabilidade da locomoção ereta aumenta. Por razões tanto biológicas, como culturais, a estabilidade é maior para o andar. Outros padrões, como correr, galopar, saltar, saltitar etc. apresentam menor estabilidade. Modificações drásticas no ambiente físico e social podem alterar o grau de estabilidade desses padrões. Por exemplo, se uma criança do século XXIV passar boa parte de sua infância numa estação lunar, é provável que o galope será seu padrão de locomoção ereta preferido ou mais estável. A diferença de gravidade entre a Terra e a Lua seria a principal responsável pela mudança no desenvolvimento da locomoção.

De fato, nenhum exercício de previsão do futuro é necessário para mostrar a maleabilidade do sistema em desenvolvimento. Casos drásticos de privação cultural são ilustrativos de como o desenvolvimento se modifica e envereda por avenidas incomuns aos padrões típicos da espécie (cf. Candland, 1993; Manoel, 1994).

Considerações finais

A idéia do desenvolvimento como um processo pré-programado e regulado por um único fator, maturação, ganhou força com os recentes avanços da genética molecular para caracterizar o genoma de seres vivos. Entretanto, a análise do fenômeno do desenvolvimento leva a uma visão alternativa com foco na epigênese do comportamento motor. O gene é apenas um dentre vários elementos que, hierarquicamente organizados, influenciam-se de forma recíproca ao longo do desenvolvimento.

As implicações dessas idéias para o estudo do desenvolvimento motor demonstram a necessidade de uma revisão da experiência motora. Numa visão epigenética do desenvolvimento motor, a experiência constitui-se no momento em que todos os níveis de organização (molecular, celular, orgânico, comportamental e social) são vinculados na geração de ações motoras cujas conseqüências irão incidir na forma como esses vínculos se manterão e se modificarão no futuro. Muito já se falou sobre o papel da maturação e seus possíveis mecanismos. Urge estudar e caracterizar o que é a experiência motora para o processo de desenvolvimento motor.

Bibliografia

- BERTALANFFY, L. von. Teoria geral dos sistemas. Petrópolis, Vozes, 1977.
- BRADLEY, N. What are the principles of motor development? In: FORSSBERG, H. & HIRSCHFELD, H. (Eds.), Movement disorders in children. Basel, Karger, 1995, p. 41-49.
- BJORKLUND, D. F. & PELLEGRINI, A. D. Child development and evolutionary psychology. Child Development. 2000; 71:1687-1708.
- CANDLAND, D.K. Feral children and clever animals. New York, Oxford University Press, 1993.
- CONNOLLY, K. J. A perspective on motor development. In: WADE, M. G. & WHITING, H.T.A (ed.). Motor development in children: Aspects of motor control and coordination. Dordrecht, Martinus Nijhoff, 1986, p.3-21.
- CONNOLLY, K. J. Learning and the concept of critical periods in infancy. Developmental Medicine and Child Neurology. 1972; 14: 705-714.
- FORD, D.H. & LERNER, R.M. Developmental systems theory. Washington, Sage, 1992.
- GOTTLIEB, G. Experiential canalization of behavioral development: Results. Developmental Psychology. 1991; 27: 35-39.
- GOTTLIEB, G. Individual development and evolution: The genesis of novel behavior. New York, Oxford University Press, 1992.
- GOTTLIEB, G. Normally occurring environmental and behavioral influences on gene activity: From central dogma to probabilistic epigenesis. Psychological Review. 1998; 105:792-802.
- KREBS, R. J. Teoria dos sistemas ecológicos: um paradigma para o desenvolvimento infantil. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1997.
- LEWONTIN, R.C. The doctrine of DNA. London, Penguin, 1993.
- LEWONTIN, R.C. Genes, ambiente e organismo. In: SILVERS, R.B. (org.). Histórias esquecidas da ciência. Rio de Janeiro, Editora Paz e Terra, 1997, p.93-110.
- LEWONTIN, R.C. The triple helix: Gene, organism and environment. Harvard, Harvard University Press, 2000.
- MANOEL, E.de J. Adaptive control and variability in the development of skilled actions. Tese (Doutorado). Sheffield, University of Sheffield, 1993.
- MANOEL, E. de J. Desenvolvimento motor: Implicações para a educação física escolar. Revista Paulista de Educação Física. 1994; 9 (1): 82-97.
- MANOEL, E. de J. Desenvolvimento do comportamento motor humano: uma abordagem sistêmica. Dissertação (Mestrado). São Paulo, Escola de Educação Física da Universidade de São Paulo, 1989.
- MANOEL, E. de J. O que é ser criança? Algumas contribuições de uma visão dinâmica do desenvolvimento motor. In: KREBS, R.J., COPETTI, F.C., BELTRAME, T.S. (org.). Discutindo o desenvolvimento infantil. Santa Maria, Pallotti, 1998, p.111-130.
- MANOEL, E. de J. & CONNOLLY, K. J. Variability and stability in the development of skilled actions. In K. J. CONNOLLY & H. FORSSBERG (ed.). Neurophysiology and neuropsychology of motor development. London, Mac

Keith Press and Cambridge University Press, 1997, p. 286-318.

MICHAEL, G.F. & MOORE, C. L. Developmental psychobiology: an interdisciplinary science. London, Massachussets Institute of Technology, 1995.

MUCHISKY, M.; GERSHKOFF-STOWE, L.; COLE, E. & THELEN, E. The epigenetic landscape revisited: A dynamic interpretation. In: C.ROVEE-COLLIER & L.P. LIPSITT (eds.) Advances in infancy research. Volume 10. Norwood, Ablex Publishing Company, 1996, p.121-159.

OYAMA, S. Ontogeny and the central dogma: Do we need the concept of genetic programming in order to have an evolutionary perspective? In: M. GUNNAR & E. THELEN (eds.). Systems and development - The Minnesota Symposium on Child Psychology, v. 22. Hillsdale, N.J., Lawrence Erlbaum Associates, Inc. Publishers, 1989, p.1-34.

TANI, G., MANOEL, E.J., KOKUBUN, E., PROENÇA, J.E. Educação física escolar: fundamentos de uma abordagem desenvolvimentista. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 1988.

THELEN, E. Motor Development: a new synthesis. American Psychologist. 1995; 50:79-95.

THELEN, E. & FISHER, D.M. Newborn stepping: An explanation for a “disappearing” reflex. Developmental Psychology, 1983; 18: 760-775.

THELEN, E. Self-Organization in developmental processes: can systems approaches work? In: M. GUNNAR & E. THELEN (ed.) Systems and development - The Minnesota Symposium on Child Psychology, v. 22. Hillsdale, N.J., Lawrence Erlbaum Associates, Inc. Publishers, 1989, p.77-118.

VALSINER, J. Culture and the development of human actions. 2nd Edition. Chichester, John Wiley & Sons, 1997.

WADDINGTON, C. H. The strategy of the genes. London, Allen & Unwin, 1957.

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