



Movimento

ISSN: 0104-754X

stigger@adufrgs.ufrgs.br

Escola de Educação Física

Brasil

Ribeiro Maia, José Antônio

A modelação do desenvolvimento a partir da análise de trajetórias latentes. Um estudo aplicado às  
aptidões motoras

Movimento, vol. VII, núm. 13, diciembre, 2000, pp. 41-51

Escola de Educação Física

Rio Grande do Sul, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=115318299006>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe , Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

## *A modelação do desenvolvimento a partir da análise de trajetórias latentes. Um estudo aplicado às aptidões motoras*

\*José Antônio Ribeiro Maia

### **Resumo**

Este trabalho pretende relançar a discussão em torno da idéia do desenvolvimento das aptidões motoras, sobretudo da necessidade em trilhar espaços da análise quantitativa das diferentes trajetórias percorridas por crianças e jovens na flecha do seu tempo cronológico. E apresentada uma abordagem crítica às estratégias analíticas e aos delineamentos utilizadas por pesquisadores das Ciências do Desporto; proponho uma "nova" metodologia para interpretar o fenômeno da mudança intra-individual nas alterações inter-indivíduos nas suas trajetórias desenvolvimentistas. A metodologia de análise das trajetórias latentes é apresentada e justificada a partir de um exemplo empírico, mostrando o seu enorme valor para estudar, de modo normativo e diferencial, problemas nucleares do desenvolvimento de aptidões e habilidades motoras em crianças e jovens. Esta metodologia procura congregar as idéias nor-mativistas e diferencialistas, dado estudar em simultâneo o sujeito e o grupo, o comportamento das médias no tempo e as diferenças entre sujeitos permitindo a inclusão de preditores que governam as trajetórias desenvolvimentalistas individuais.

### **Abstract**

This paper aims at the discussion of the idea of the development of motor abilities, specially the need for its quantitative analysis with new methodologies. An emphasis is made upon different developmental trajectories of children and youth. Limited conceptual and analytical approaches used by sport scientists are critically reviewed and a new analytical strategy is presented to study intra-indi-

vidual change within interindividual differences in their development pathways. This new methodology - latent trajectory analysis - is briefly presented and applied to an empirical problem, showing its richness to study normative and differential developmental problems related to motor abilities and motor skills in children and youth. This methodology tries to analyse, simultaneously, the views of normative and differential developmentalists since it deals with the individual subject and the group, the mean changes over time and the differences among subjects. It allows, also, the inclusion of predictors of change that govern the individual developmental trajectories.

O assunto que irei apresentar, ainda que recorrente, será revisitado a partir de um olhar diferente, concretamente o da modelação quantitativa da noção de desenvolvimento aplicada ao domínio das aptidões motoras. Ainda que se trate de uma vasta temática, e antes de apresentar o terreno onde irei lavrar o meu pensamento, gostaria de referir dois pontos prévios que ajudarão a entender a minha posição:

1. Dado o meu interesse por assuntos de natureza Estatística, a minha abordagem padecerá, obviamente, desse defeito, do uso de informação numérica que procura descrever, ainda que imperfeitamente, um estado qualitativo do sujeito, simultaneamente estável num dado ponto do tempo, e mutável no seu devir. Con tudo, conforme procurarei mostrar mais adiante, este olhar feito de números, no seio de uma aventura intelectual enriquecedora, a da modelação, será um desafio permanente se pensarmos seriamente em descrever e interpretar a variância dos processos desenvolvimentistas interindividuais.

***Penso ser pacífica a sugestão de que não existe uma Teoria do Desenvolvimento Motor, e muito menos uma Teoria das Aptidões Motoras, pelo menos no sentido estrito do termo teoria - corpo de conhecimentos suficientemente capaz de descrever, explicar e predizer em toda a extensão um dado fenômeno.***

2. Penso ser pacífica a sugestão de que não existe uma Teoria do Desenvolvimento Motor, e muito menos uma Teoria das Aptidões Motoras, pelo menos no sentido estrito do termo teoria - corpo de conhecimentos suficientemente capaz de descrever, explicar e predizer em toda a extensão um dado fenômeno. Ainda que na Física contemporânea, os pensamentos dos mais brilhantes pesquisadores se debatam com a idéia de uma Teoria do Tudo, tal não é a situação no campo do Desenvolvimento Motor. Como referi anteriormente, não só não existe a Teoria do Desenvolvimento Motor, como também é de toda a conveniência relembrar a timidez com que, às vezes, importamos quadros de pensamento e metodologias da Psicologia do Desenvolvimento, da Teoria dos Sistemas ou mais recentemente do Caos. Convém também relembrar que as aplicações destes domínios do conhecimento, seus quadros metodológicos e propostas operativas têm sido efetuadas, quase sempre, numa escala algo minúscula, diferente do seu território de formulação inicial. São inúmeras as razões para uma tal timidez de aventura e insuficiência do seu alcance interpretativo e de generalização. A que gostaria de aqui mencionar é a que se encontra adstrita à ausência de um corpo de pesquisa sólido e consequente no domínio metodológico, exatamente ao invés do que acontece na casa de um dos nossos progenitores - a Psicologia do Desenvolvimento

É mais do que evidente que a noção de desenvolvimento implica observações repetidas no tempo para os mesmos sujeitos, exigindo dados de natureza longitudinal (Baltes e Nesselroade, 1979). É claro para mim que qualquer formulação desenvolvimentista que reflete alterações no atributo exibido pelos sujeitos é condicionada funcionalmente pela flecha do tempo.

A tradição metodológica e analítica em termos desenvolvimentalista, i.e. referente ao tratamento e interpretação de dados de natureza longitudinal, tem percorrido três avenidas intelectualmente estimulantes e possuidoras de esclarecimento de aspectos nucleares da noção fundamental da variabilidade individual no de-

senvolvimento (Muthén e Curran, 1997; Maia et al., 1998a; 1998b):

1. A tradição biométrica, ou bio-estatística, cujos nomes mais salientes são Rao (1958), Laird e Ware (1982) e Diggle, Liang e Zeger (1994), cunhou expressões bem conhecidas como são medidas repetidas, Anova de modelo misto, ou modelação de coeficientes aleatórios formalizadas em software estatístico variado: BMDP5V, SAS PROC MIXED, OU MIXOR.

2. A tradição educacional que, não obstante um início e desenvolvimento independente, está atualmente numa fase de fusão com a tradição anterior. Nomes salientes de autores brilhantes neste espaço são Cronbach (1976), Goldstein (1987), Bock (1989), Bryk e Raudenbush (1992) e Longford (1993), centrando a sua atenção em noções fulcrais de modelação multinível e modelação linear hierárquica. O software disponível para operacionalizar este movimento é bem conhecido - MLn, HLM e VARCL.

3. A tradição psicométrica, fortemente independente das anteriores, ancorou as suas posições em torno de autores fundamentais como são Tucker (1958), Meredith e Tisak (1984) e McArdle e Epstein (1987) que propuseram conceitos e terminologias altamente esclarecedoras, como sejam análise de curvas latentes e modelação de equações estruturais com variáveis latentes, formalizado em software conhecido, como são por exemplo, o LISREL, EQS e o Mplus. É uma parte desta tradição que apresentarei mais adiante.

Paradoxalmente, e tanto quanto julgo saber, a riqueza analítica e altamente promissora deste esforço intelectual enorme em redor da iluminação da idéia de desenvolvimento parece andar afastada dos pesquisadores do Desenvolvimento Motor portugueses e brasileiros e, não errarei muito, se disser da quase maioria dos autores do lado universo das Ciências do Desporto que lidam com informação de natureza longitudinal. Quer queiramos quer não, se as idéias desenvolvimentistas, as hipóteses substantivamente relevantes acerca do proces-

so da mudança ou teorias designadas de desenvolvimentistas no contexto motor não passarem um conjunto de testes empíricos não acrescentarão nada de novo ao saber territorial do Desenvolvimento Motor, a não ser elaborações intelectuais sem qualquer alcance. Testabilidade empírica e robustez de pensamento pronto a ser confrontado por um conjunto cada vez mais rigoroso e amplo de testagem fatal é o que se deseja. Nem que seja por motivos exclusivos de pura curiosidade intelectual. Passar pelo crivo da testagem fatal é uma urgência para ajudar da qualidade das formulações semânticas sobre aspectos do Desenvolvimento Motor.

Em meu entender, as razões que explicam tal quadro de insuficiências decorrem dos seguintes aspectos:

1. A ausência de estudos longitudinais em Portugal e no Brasil. Estou a referir-me não só a pesquisas mais ou menos reprodutoras da idéia de história natural do desenvolvimento em contextos ecológicos precisos, mas também a investigação substantiva no domínio de intervenções educativas experimentais ou semi-experimentais de longo alcance.

2. O aparente desconhecimento do terreno lavrado em territórios vizinhos, sobretudo naquele a que o Desenvolvimento Motor muito deve - o das Metodologias Desenvolvimentistas. Um exemplo esclarecedor do que acabo de referir é o trabalho brilhante de inúmeros metodólogos e que se encontra disponível em textos de grande riqueza de pensamento como são, por exemplo, os editados por Nesselroade e Baltes (1979), von Eye (1990), Collins e Hora (1992) e Gottman (1995). Infelizmente não encontramos no vasto território da Educação Física e Ciências do Desporto um trabalho equivalente.

3. O temor, inquietação, desconforto e desconfiança relativamente às metodologias quantitativas. Penso que é tempo, e de uma vez por todas, de irradicar a atitude cristalizada e condicionadora de forte e insensata dicotomia entre o qualitativo e o quantitativo. Até parece que também aqui há os bons e os maus da fita.

É evidente a exigência de humildade dos pesquisadores diante da complexidade e grandiosidade da coisa do desenvolvimento. Refiro, contudo, que não partilho da posição que tudo vale nesta aventura. Aqui sou mais Popperiano. O que valem são os problemas, a qualidade da sua formulação e a riqueza semântica do quadro de hipóteses que levantam. A metodologia vem depois.

Um dos instrumentos mais relevantes ao dispôr dos pesquisadores do território desenvolvimentista, concretamente no que se refere ao desenvolvimento das aptidões motoras, é o da modelação. Apesar da sua riqueza, flexibilidade e compressibilidade gráfica e algorítmica, incompreensivelmente, em meu entender, não tem sido utilizado tanto quanto seria de desejar, nem mesmo quando se relaxa o pressuposto central de isomorfia estrita.

A noção de modelo contém sempre as idéias de (1) simplicidade de representação, (2) de aproximação e de (3) compressibilidade algorítmica. Enquanto aproximação conterá sempre uma dada quantidade de erro. A qualidade da sua formulação e representação, i.e. o valor da sua especificação, terá que passar por um crivo de testagem empírica através de testes estatísticos rigorosos não só para a sua globalidade, mas também para os seus parâmetros estruturais. Só deste modo lhe poderemos atribuir relevância substantiva. Espera-se que o modelo evidencie estabilidade, conforto no seu equilíbrio entre parcimônia e complexidade e apresente algum prazer estético na sua representação gráfica. Enquanto instrumento de pensamento e análise sugere, pelo menos no contexto desenvolvimentista, que se testem para os mesmos dados diferentes possibilidades, plausíveis substantivamente, ou na sua ausência, que sejam formulados, hierarquicamente dependentes, um dado conjunto de modelos mais restritivos ou abrangentes.

Um exemplo altamente iluminador do uso da modelação no sentido matemático mais estrito e da implicação dos resultados em termos Auxológicos é o que se refere ao estudo do crescimento estatural. Apesar de haver cer-

*Quer queiramos quer não, se as idéias desenvolvimentistas, as hipóteses substantivamente relevantes acerca do processo da mudança ou teorias designadas de desenvolvimentistas no contexto motor não passarem um conjunto de testes empíricos não acrescentarão nada de novo ao saber territorial do Desenvolvimento Motor, a não ser elaborações intelectuais sem qualquer alcance.*

ca de 200 formulações matemáticas para descrever o comportamento da estatura em função do tempo, as mais atuais, a do modelo logístico triplô ou a do Jollicœur, Pontier e Abidi (JPA) mostram aspectos distintos do fenômeno. Se passarmos de medidas bi-anuais e nos concentrarmos em medidas mensais, não só identificaremos a presença de uma forte sazonalidade no processo, como também se perceberá a enorme variabilidade interindividual. Contudo, se a freqüência da medição for diária, passaremos de um modelo não-linear estruturalmente conhecido, a uma estrutura eventualmente caótica, ou de saltação e estagnação. É esta a riqueza enorme da modelação, a da aventura da descoberta do conteúdo de séries numéricas que pretendem marcar aspectos qualitativos do sujeito.

Parece ser legítima a existência da convicção que é bem conhecido o comportamento desenvolvimentista dos diferentes indicadores dos vários fatores das aptidões motoras. Permitir-me-ão discordar desta convicção. Um exemplo concreto demonstrará, assim o espero, o que acabo de referir. Se consultarmos os manuais mais recentes sobre a matéria do Desenvolvimento Motor, seremos confrontados com alguma insuficiência de informação sobre tal matéria. O que os diferentes autores têm apresentado, um tanto ou quanto incompreensivelmente, são, tão somente, gráficos relativos ao comportamento das médias, e na maior parte dos casos a partir de dados de natureza transversal! Não só se trata de um erro grave, como também não me parece que apresentem qualquer formulação teórica ou hipóteses substantivas para interpretar o fenômeno, tão pouco exploraram a essência desenvolvimentista do problema a partir da modelação. É evidente que não vou trazer a resposta para um problema tão vasto quanto complexo. As referências do exemplo anterior vêm só a propósito, no meu modesto entender, da urgência do lançamento e uso de ferramentas e metodologias que se encontram facilmente disponíveis há cerca de 15 a 20 anos e que permitiram um avanço bem maior no conhecimento de tal problema se o perspectivássemos a partir da modelação quantitativa.

A proposta que apresentarei em seguida, sobre a análise e interpretação do processo desenvolvimentista de aspectos da aptidão motora, é baseada nas sugestões de metodólogos e estatísticos que tive a oportunidade de conhecer - Karl Joreskog, Bengt Muthén, Jack McArdle, Kenneth Bollen e Patrick Curran. Esta proposta procurará formular de modo rigoroso a matriz de estudo do Desenvolvimento Motor tal como foi apresentada em 1974 por um painel *ad hoc* de peritos: o Desenvolvimento Motor procura identificar e representar as alterações no comportamento motor, reflexo que são da interação do organismo em maturação com o seu ambiente. A palavra chave nesta formulação é alteração. No seu sentido lato, alteração significa mudança. Ora é precisamente a análise da mudança que é fundamental nesta matéria.

A posição do comitê *ad hoc* não reflete, em meu entender, um avanço substancial ao entendimento lato da matéria dos primeiros autores da disciplina como foram, por exemplo, Ana Espenchede, Nancy Bailey ou Myrtle McGraw. Ao invés do que aconteceu na Física, em que as revoluções Coperniana, a Teoria da Relatividade e a Mecânica Quântica representam revoluções teóricas de grande alcance, de forte corte epistemológico e alguma incomensurabilidade, se nos situarmos na leitura Kuhniana de ruptura com paradigmas aceites, no Desenvolvimento Motor tal revolução nunca aconteceu. A razão desta convicção está no simples fato de que não só não existe uma teoria do Desenvolvimento Motor, como também o passado e presente da disciplina têm mostrado a forte impregnação de matérias de outras disciplinas. Tal estado de coisas evidencia, de algum modo, o seu caráter interativo e integrador onde dificilmente se encontrará terreno para uma teoria deste todo face à vastidão do seu território, bem como ao caráter secante dos seus interesses com matérias de outras disciplinas.

Do ponto de vista substantivo e metodológico os problemas que a proposta seguinte procura solucionar situam-se em dois níveis. Em primeiro lugar há o problema da medição

de uma dada aptidão motora. Trata-se aqui da sua quantificação de modo a que contenha informação necessária e suficiente para a descrever de forma válida. A teoria psicométrica clásica e a análise factorial permitem uma solução satisfatória para tal problema, ainda que tenhamos de recorrer, também, a noções interessantes como são as de granulação de imagens e de comprimento de descrição. Em segundo lugar há o problema da quantificação da mudança no tempo operada em cada sujeito. Somos aqui confrontados com uma sextupla tarefa:

1. A formulação apriorística de um conjunto de hipóteses relevantes para marcar a presença de diferenças individuais nas trajetórias desenvolvimentistas.

2. A elaboração de um modelo de sistema dinâmico que descreva o processo desenvolvimentista que contenha espaço para o determinismo e também para a incerteza.

3. A possibilidade em descrever as trajetórias individuais, e em simultâneo capturar o comportamento do grupo, procurando conciliar posições normativistas e diferencialistas.

4. A inclusão de preditores do processo da mudança, invariantes ou não no tempo.

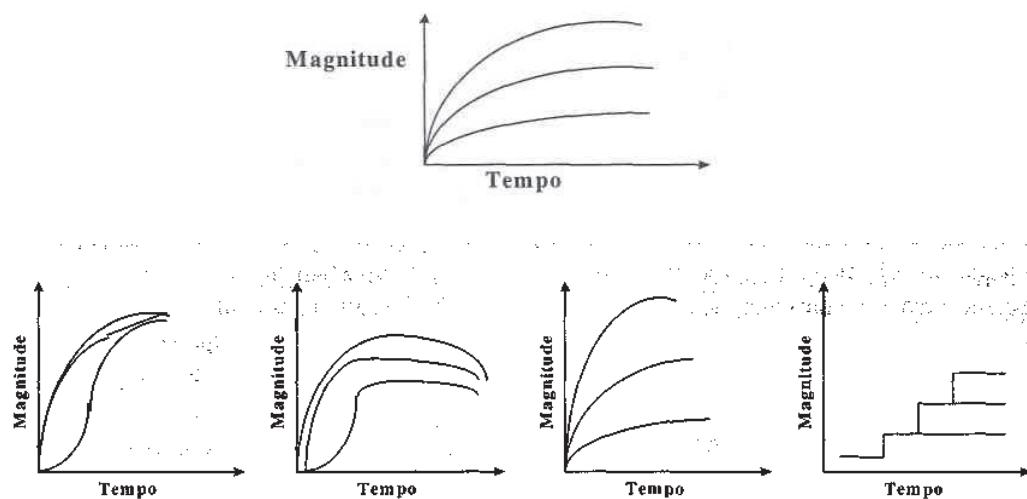
5. A testagem empírica do modelo a partir de procedimentos que mostrem a qualidade global da sua formulação, bem como das estimativas dos seus parâmetros fundamentais.

6. A qualidade da solução deve ser comparada com outras plausibilidades de modelação substantiva para os mesmos dados.

Felizmente, para nós, existe tal modelo que se propõe responder inequivocamente a estas seis tarefas. Tal modelo é designado de modelo de curvas de crescimento latente ou modelo de trajetórias latentes (a apresentação deste modelo em língua portuguesa é encontrado em Maia et al. 1998b).

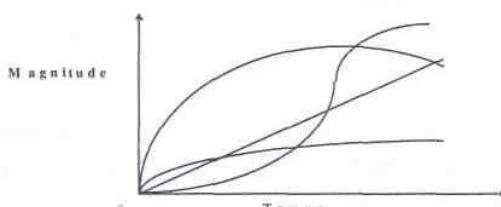
A conciliação das posições universalista e diferencialista do desenvolvimento pode ser ilustrada a partir das representações da Figura 1 (Wohwill, 1973).

Assume-se que todos os sujeitos possuem a mesma forma da função, evidenciando, contudo, taxas de crescimento distintas. Assume-se, para fins meramente ilustrativos que o nível de partida é o mesmo. Este pressuposto será mais tarde testado empiricamente. Uma situação bem mais complexa é a que se refere na Figura 2 que postula, essencialmente, que a forma da função



*Figura 1. Representação de diferentes trajetórias desenvolvimentistas - diferentes modelos matemáticos.*

de cada sujeito é completamente distinta, obrigando a estudos de caso, tornando as comparações entre sujeitos quase impossível. Contudo, importa salientar que tal situação se afigura de difícil identificação empírica.



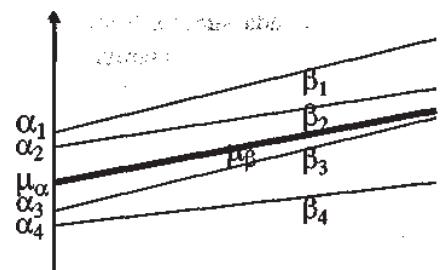
**Figura 2.** Complexidade de trajetórias desenvolvimentistas individuais

**O modelo de trajetórias latentes parte de uma noção central que emana dos trabalhos de Rao e Tucker e que é a seguinte: ainda que todos os sujeitos possuam uma trajetória desenvolvimentista semelhante, também é da maior relevância a identificação e descrição das diferenças individuais de tal processo.**

As diferentes partes da Figura 1 refletem variações protótipicas de diversas funções desenvolvimentistas. Uma noção essencial nessa formulação é a existência de uma trajetória normativa ou invariante para uma dada variável marcadora de um dado processo desenvolvimentista, bem como a consideração estrita de que as diferenças individuais não representam ruído no sistema. Esta posição desenvolvimentista exige que se cumpram as exigências seguintes (Curran, 1999):

1. A existência apriorística de uma teoria ou corpo de hipóteses que especifique claramente o tipo de função, justificando-a substantivamente, mostrando a qualidade da sua passagem em testes empíricos.
2. A evidência da sua potencialidade de generalização em diferentes estudos com amostras diferentes, i.e. a determinação da sua validade cruzada.
3. A identificação da sua invariância estrutural, i.e. confirmar que o mesmo teste, item ou questionário marca a mesma aptidão ou competência em diferentes intervalos de idade e nos dois sexos.
4. A interpretação de modo relevante do significado dos parâmetros estruturais de tais modelos, i.e. mostrar a sua relevância interpretativa em termos de função de desenvolvimento.

O modelo de trajetórias latentes parte de uma noção central que emana dos trabalhos de Rao e Tucker e que é a seguinte: ainda que todos os sujeitos possuam uma trajetória desenvolvimentista semelhante, também é da maior relevância a identificação e descrição das diferenças individuais de tal processo. Um exemplo esclarecedor desta posição é fácil de ilustrar (Figura 3).



**Figura 3.** Representação de trajetórias individuais e do grupo, bem como os respectivos parâmetros das funções

Uma reta única com declive positivo pode descrever as quatro retas individuais. Contudo, é também evidente, que se a trajetória média dos quatro sujeitos é linear e positiva, é também verdade que possuem valores únicos da intercepção na ordenada e declives de diferente magnitude, ainda que do mesmo sinal.

Heuristicamente, o modelo das trajetórias latentes pode ser balizado por dois estádios analítico-metodológicos (Curran, 1999; Curran e Muthén, 1999):

=> O primeiro pretende, pela alquimia da sua estrutura matemática, estudar, em simultâneo, a dinâmica das diferenças interindividuais com a dinâmica das trajetórias desenvolvimentistas intra-individuais, marcando ao mesmo tempo a forma da trajetória que melhor descreve o comportamento do grupo.

=> O segundo procura identificar, de um modo mais lato, a qualidade da influência de preditores de todo o processo desenvolvimentista.

Central no modelo das trajetórias latentes é o seguinte conceito: os valores obtidos nos sujeitos nos diferentes pontos do tempo não são,

em si mesmos, causas do próprio desenvolvimento; as medidas repetidas são, isso sim, indicadores de um processo desenvolvimentista subjacente - os fatores cronométricos do desenvolvimento:

1. O primeiro fator é designado de nível e representa o ponto em que a trajetória desenvolvimentista intercepta o eixo vertical. É o fator que reflete o estatuto inicial do desenvolvimento. Dado que os sujeitos não partem todos do mesmo ponto, este fator possui uma variância e uma média.

2. O segundo fator, designado de tendência, expressa a própria trajetória do processo. Dada a forte possibilidade de trajetórias diferentes para os sujeitos, i.e. a presença de diferenças interindivíduos, este fator apresenta, também, uma variância e uma média que expressa a forma genérica da função do desenvolvimento.

A noção de compressibilidade algorítmica é central em qualquer domínio da pesquisa científica. Tal noção é da maior relevância no projeto desenvolvimentista, sobretudo na sua enorme potencialidade em reduzir e traduzir a informação quantitativa das medidas obtidas no tempo em dois níveis - o numérico e o gráfico:

1. O numérico refere-se à matriz de autocorrelação da variável no tempo, aos vetores de médias e de variâncias. Estas medidas sumário contêm informação suficiente sobre as trajetórias individuais, diferenças entre indivíduos e o percurso médio dos sujeitos.

2. O segundo nível refere-se à possibilidade de representação gráfica do processo, mantendo um isomorfismo estrito com a teoria clássica dos testes e o da modelação de equações estruturais.

A validade facial e empírica de qualquer projeto de investigação das diferenças interindividuais nas trajetórias desenvolvimentistas pode e deve iniciar o seu percurso pela formulação de um conjunto diferenciado de hipóteses que teste em simultâneo os pressupostos do

modelo, bem como o carácter substantivo dos problemas. O exemplo que ilustrará o modelo das trajetórias latentes percorrerá um indicador de uma componente da aptidão força - o *arm pull* que procura marcar a força isométrica dos membros superiores e parte superior do tronco, a partir de um movimento de tração (Maia, 19988; 1999). Servir-nos-emos de dados longitudinais do famoso estudo longitudinal sobre a saúde, aptidão e estilo de vida realizado em Lovaina (uma abordagem exaustiva da metodologia deste estudo é encontrada em Beunen et al., 1988). Trezentos e setenta e sete sujeitos do sexo masculino foram seguidos e medidos anualmente, desde os 12 até aos 17 anos de idade. Foram medidos mais tarde aos 30, 35, 40 e no ano 2000 aos 45 anos de idade. Nesta ilustração só consideraremos o intervalo dos 12 aos 17 anos de idade.

As hipóteses que iremos considerar são, pois, as seguintes:

1. A variância específica em cada ponto do tempo é constante. Esta hipótese é uma exigência do próprio modelo para se verificar a possibilidade de violação da homogeneidade de variância dos valores de cada sujeito nos diferentes pontos do tempo. Mais tarde verificaremos também a presença de efeitos de retestagem e aprendizagem, bem como a sua influência nas estimativas dos parâmetros que governam as curvas de desenvolvimento individual.

2. A taxa de crescimento da força isométrica não depende dos valores iniciais dos sujeitos, i.e. o valor de correlação entre o estando inicial e declive é zero.

3. Não se verifica qualquer crescimento de força isométrica nas trajetórias individuais, o que significa que estamos diante da situação de estabilidade estrita.

4. Não se verificam diferenças individuais de força isométrica nas trajetórias dos sujeitos, dada a circunstância de estabilidade paralela.

5. Não se verifica qualquer alteração na posição relativa dos valores individuais de for-

***Central no modelo das trajetórias latentes é o seguinte conceito: os valores obtidos nos sujeitos nos diferentes pontos do tempo não são, em si mesmos, causas do próprio desenvolvimento; as medidas repetidas são, isso sim, indicadores de um processo desenvolvimentista subjacente - os fatores cronométricos do desenvolvimento***

ça isométrica relativamente ao valor médio do grupo, o que quer dizer que se verifica a condição de estabilidade monotônica.

6. O crescimento da força isométrica é linear, o que significa que é fixada a métrica temporal a uma função linear. No caso presente, o *tracking* individual é zero.

7. Não se verifica qualquer crescimento nos valores médios da força isométrica, ainda que seja bem evidente uma enorme variação interindividual.

8. O desenvolvimento das trajetórias da força isométrica evidencia tendência linear e quadrática, e é fortemente condicionado pelo estado maturacional dos sujeitos.

Depois de se testaram as hipóteses prévias, e se ter encontrado a que é mais plausível, parcimoniosa e que melhor se ajusta aos dados tal como verificado pelos testes sequenciais para as medidas de ajustamento global e local, encontramo-nos (1) diante do fascinante problema da re-especificação do modelo referente à hipótese nº 8, bem como (2) da identificação dos preditores que governam as trajetórias desenvolvimentistas individuais. Estes preditores, ou "agentes causais" do processo, podem ser de duas naturezas: invariantes ou variantes no tempo. Por questões de simplicidade e es-

paço de apresentação só referirei um preditor invariante no tempo - o estado maturacional dos sujeitos avaliado a partir da idade óssea.

A hipótese que este modelo "final" configura é pois a seguinte:

=> O desenvolvimento da força isométrica evidencia uma tendência linear e quadrática. Os valores iniciais dos sujeitos condicionam a sua trajetória linear e quadrática, bem como existe uma relação negativa entre tendência linear e quadrática. Há um efeito inicial de testagem, face ao desconhecimento e ao caráter inabitual do teste, bem como se postula um efeito de aprendizagem no tempo face à re-testagem. Uma vez que se verifica variabilidade na idade biológica dos sujeitos, avançamos com a possibilidade de haver forte variação nas trajetórias dos sujeitos após o pico de velocidade da altura.

A representação gráfica do "modelo final" encontra-se na Figura 4. Esta representação é isomórfica com o modelo estatístico que analisa ao mesmo tempo o percurso individual e do grupo.

Foram necessárias somente 9 iterações para obter convergência. As medidas de ajust-

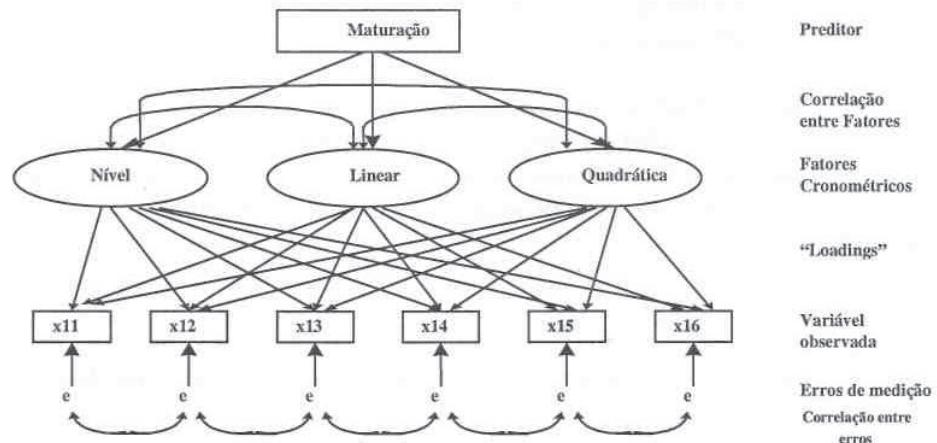


Figura 4. Representação gráfica do modelo final

tamento global são excelentes (sobre esta matéria ver Maia et al., 1998b):  $c^2(9)=39.037$ ; *Comparative Fit Index*=0.989; *Root Mean Residual estandardizada*=0.002; *Root Mean Square Error of Approximation*=0.094 (0.065; 0.125). Os resultados podem, pois, resumir-se à informação seguinte:

1. O desenvolvimento da força isométrica evidencia duas tendências - linear e quadrática.

2. Existe uma variação significativa nos níveis de partida dos sujeitos, mostrando a forte desigualdade inicial.

3. As trajetórias individuais são fortemente governadas pelos valores de partida, provavelmente devidas não só a diferenças na idade esquelética, como também a diferentes respostas dos sujeitos no teste. Isto significa uma dependência positiva da tendência linear aos valores de partida. Contudo, quanto maior for o valor individual no início tanto mais evidente é a frenagem da sua trajetória. O mesmo ocorre nas relações negativas entre tendência linear e quadrática. Um quadro semelhante ocorre para os que são avançados maturacionalmente.

4. A variação das trajetórias após o Pico de Velocidade de Altura, associada a diferenças em incrementos em massa muscular parece favorecer os que estão biologicamente mais avançados.

Penso ter ficado demonstradas as vantagens desta metodologia face às análises que todos conhecemos. Em resumo as vantagens são as seguintes (sobre esta matéria ver também Curran e Muthén, 1999; Maia et al., 1998b):

1. O uso das idéias da modelação para perscrutar, ao mesmo tempo, a essência desenvolvimentista do sujeito e do grupo.

2. A possibilidade de testar seqüencialmente um conjunto de hipóteses plausíveis, hierarquicamente, ou não, da coisa desenvolvimentista.

3. A possibilidade de calcular iterativamente aspectos da complexidade do desenvolvimento, optimizando estimativas do ajustamento da globalidade do modelo e dos seus parâmetros individuais.

4. A representação gráfica é altamente esclarecedora do fenômeno em análise.

5. A possibilidade de inclusão de preditores ou agentes "causais" do processo, temporalmente invariantes ou não.

6. A possibilidade de inclusão de erros de medição e da sua modelação.

7. A possibilidade de inclusão de preditores influenciando dois processos desenvolvimentistas que ocorram ao mesmo tempo, ou desfasados no tempo.

Por questões de espaço e tempo não posso referir outras possibilidades de análise, também extremamente interessantes e que seriam, por exemplo, de um leque mais vasto, as seguintes:

1. A inclusão de preditores ou agentes causais das trajetórias desenvolvimentistas invariantes e variantes no tempo.

2. A inclusão de um outro processo desenvolvimentista que ocorre ao mesmo tempo e que influencia e é influenciado pelo processo que estudamos.

3. Finalmente, uma versão bem mais complexa seria a que considerasse indicadores múltiplos para cada um dos construtos em estudo.

Em síntese, aquilo que a presente comunicação pretendeu realçar foi o seguinte:

1. A necessidade de formulação de hipóteses relevantes e testáveis empiricamente quando se estuda o fascinante problema das trajetórias desenvolvimentistas individuais no seio de variação interindividual.

**As trajetórias individuais são fortemente governadas pelos valores de partida, provavelmente devidas não só a diferenças na idade esquelética, como também a diferentes respostas dos sujeitos no teste. Isto significa uma dependência positiva da tendência linear aos valores de partida. Contudo, quanto maior for o valor individual no início tanto mais evidente é a frenagem da sua trajetória. O mesmo ocorre nas relações negativas entre tendência linear e quadrática. Um quadro semelhante ocorre para os que são avançados maturacionalmente.**

2. A necessidade de recorrermos aos instrumentos e procedimentos da modelação, através de modelos condicionais ou não condicionais.

3. É imperioso, por questões de plausibilidade, que se testem modelos alternativos para os mesmos dados. O ganho substantivo será enorme.

4. É da maior relevância que os estudos longitudinais recorram a procedimentos disponíveis na literatura e que tenham dado provas da sua elevada qualidade e robustez. O modelo de trajetórias latentes é altamente flexível, muito elegante e permite uma interpretação inequívoca dos seus parâmetros estruturais.

5. Finalmente parece-me termos chegado a um tempo em que começamos a ficar um pouco fartos de tanta fotografia. Estamos num tempo em que aquilo que é mais apetecível são filmes de ação de elevada qualidade em termos de guião, cenário e adereços. Assim os queiramos realizar.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALTES, P.B.; NESSELROADE, J.R. History and rationale of longitudinal research. In: NESSELROADE, J.R.; BALTES, P.B. (eds), *Longitudinal Research in the Study of Behavioral and Development*. New York. Academic Press. P139, 1979.
- BEUNEN, G.P.; MALINA, R.M.; VANT HOF, M.A.; SIMONS, J.; OSTYN, M.; RENSON, R.; VAN GERVEN, D. *Adolescent growth and motor performance. A longitudinal study of belgian boys*. Champaign. Human Kinetics Books. 1988.
- BOCK, R.D. *Multilevel analysis of educational data*. San Diego. Academic Press. 1989.
- BRYK, T.; RAUDENBUSH, S. *Hierarchical linear models: applications and data analysis methods*. Newbury Park. Sage, 1992.
- COLLINS, L.; HORN, J. (eds). *Best methods for the analysis of change. Recent advances, unanswered questions, future directions*. American Psychological Association. Washington, D.C, 1992.
- CRONBACH, L.J. *Research on classrooms and schools: formulations of questions, design and analysis (Tech Rep)*. Stanford Evaluation Consortium. Stanford, 1976.
- CURRAN, P.J. A latent curve framework for the study of developmental trajectories in adolescent substance use. In: ROSE, J.; CHASSIN, L.; PRESSON, C.; SHERMAN, J. (eds), *Multivariate Applications in Substance Use Research*. Hillsdale. Erlbaum, In press, 1999.
- CURRAN, P.J.; MUTHÉN, B.O. The application of latent curve analysis to testing developmental theories in intervention research. *American Journal of Community Research*. In press, 1999.
- DIGGLE, P.J.; LIANG, K.L.; ZEGER, S.L. *Analysis of longitudinal data*. Oxford. Clarendon Press. 1994.
- GOLDSTEIN, H.I. *Multilevel models in educational and social research*. London. Oxford University Press. 1987.
- GOTTMAN, J.M. (ed). *The analysis of change*. Mahwah. LEA. 1995
- LAIRD, N.M.; WARE, J.H. Random-effects models for longitudinal data. *Biometrics*. 38:963-974, 1982.
- LONGFORD, N.T. (1993). *Random coefficient models*. London. Clarendon Press. 1993.
- MAIA, J.A.R. Aptidão física. De um posicionamento antropológico a uma perspectiva epidemiológica. In: MARQUES, A.T.; PRISTTA, A.; Júnior, A.F. (eds), *Educação Física. Contexto e Inovação*. Actas do V Congresso de Educação Física dos Países de Língua Portuguesa. Edição FCDEF-UP e FCEFDF-UP. Porto. p.87-106, 1998.
- MAIA, J.A.R. A idéia de aptidão física. Conceito e operacionalização. *Boletim da SPEF*. In press, 1999.
- MAIA, J.A.R.; BEUNEN, G.; LEFEVRE, J.; CLAESSENS, A. A estabilidade da aptidão física. O problema, essência analítica, insuficiências e apresentação de uma proposta metodológica baseada em estudos de painel com variáveis latentes. *Movimento*. 9:58-79, 1998a.
- MAIA, J.A.R.; BEUNEN, G.; LEFEVRE, J.; CLAESSENS, A. Testes empíricos a formulações desenvolvimentalistas. Um estudo centrado na modelação da estrutura de covariância. *Revista Paulista de Educação Física*. 12(2): 160-180, 1998b.
- MCARDLE, J.J.; EPSTEIN, D. Latent growth curves within developmental problems. *Child Development*. 58:110-133, 1987.

- MEREDITH, W.; TISAK, J. *Latent curve analysis*. Psychometrika. 55:107-122, 1984.
- MUTHÉN, B.O.; CURRAN, RJ. Longitudinal modeling of individual differences in experimental designs. A latent variable framework for analysis and power estimation. *Psychological Methods*. 2:371-402, 1997.
- NESSELROADE, J.R.; BALTES, RB. (1979). *Longitudinal research in the study of behavioral and development*. New York. Academic Press. 1979.
- RAO, CR. Some statistical methods for comparison of growth curves. *Biometrics*. 14:1-17, 1958.
- TUCKER, L.R. Determination of parameters of a functional relation for factor analysis. *Psychometrika*. 23:19-23, 1958.
- VON EYE, A. (ed). *Statistical methods in longitudinal research*. Principles and structuring change. San Diego. Academic Press. 1990.
- WOHWILL, J.F. (1973). *The study of behavioral development*. New York. Academic Press. 1973.

UNITERMOS

Desenvolvimento; aptidões; longitudinal; trajetórias.

\***José Antônio Ribeiro Maia** é professor do Laboratório de Cineantropometria e Gabinete de Estatística Aplicada da Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física, da Universidade do Porto/Portugal.

#### Agradecimentos

Agradeço aos pareceristas as sugestões para melhorarem a versão inicial do texto.