

EXPLORANDO A NOÇÃO E SIGNIFICADO DE *TRACKING*. UM PERCURSO DIDÁCTICO PARA INVESTIGADORES

(2007)

José A. Ribeiro Maia

Laboratório de Cineantropometria e Estatística Aplicada da FEDE.UP (Portugal)

Rui Manuel Garganta

Laboratório de Cineantropometria e Estatística Aplicada da FEDE.UP (Portugal)

André Seabra

Laboratório de Cineantropometria e Estatística Aplicada da FEDE.UP (Portugal)

Vítor Pires Lopes

Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Educação (Portugal)

Simonete Silva

Laboratório de Cineantropometria e Estatística Aplicada da FEDE.UP (Portugal)

Cássio Meira Júnior

Escola de Educação Física e Esporte, USP (Brasil)

Endereço para correspondência:

Laboratório de Cineantropometria e Estatística Aplicada
Faculdade de Ciências do Desporto e de Educação Física
Universidade do Porto, Portugal
jmaia@fcdef.up.pt

RESUMO

Este trabalho pretende ser uma abordagem simples e algo extensa da noção de *tracking* bem como da sua operacionalização diversificada. Partindo de exemplos concretos de avaliação do desempenho (utilizando variáveis contínuas do desporto) - a força explosiva dos membros inferiores, o crescimento somático e a actividade física, a informação é analisada e interpretada de modo sequencial, procurando ser um auxiliar didáctico do investigador quando lida com dados longitudinais e pretende ir um pouco mais longe do que a simples análise das médias.

Palavras-chave: *Tracking*, longitudinal, força, actividade física

INTRODUÇÃO

Este texto decorre de múltiplos desafios que colegas da Faculdade de Psicologia nos colocaram quando se lida com informação longitudinal. Daqui que o seu conteúdo seja eminentemente didáctico. Contudo, face ao viés da nossa formação académica só apresentamos variáveis que conhecemos relativamente bem. No entanto, as técnicas e procedimentos têm aplicações genéricas e adaptáveis a diferentes realidades congéneres. Por esse motivo, pedimos aos leitores que substituam os conteúdos apresentados por exemplos que mais directamente lhe dizem respeito.

A interpretação, significado e alcance do estudo da estabilidade e da mudança de características métricas mais variadas de atletas de níveis diferenciados de desempenho são do maior interesse para os investigadores das Ciências do Desporto. E quem monitoriza, por exemplo, a resposta ao treino da força, quer se trate de aspectos relacionados com o planeamento de ciclos de treino (planos semanais ou mensais), quer à sua manifestação na competição, encontra-se sempre diante de uma “janela” altamente “complexa” – a da informação repetida no tempo a que interessa dar ordem e atribuir sentido para se ajuizar da qualidade de todas as propostas implícitas no planeamento do treino e da competição. Um quadro semelhante de preocupações é evidente nos epidemiologistas da actividade física, embora aqui se trate, na maior parte dos casos, de interpretar informação que relata aspectos da “história natural” de eventos relacionados com estilos de vida das populações. As grandes questões da dinâmica de mudança dos padrões e níveis de actividade física e aptidão física associada à saúde são relevantes, face à sua associação a diferentes manifestações de morbilidade e mortalidade.

Estabilidade, mudança e previsão (aspectos essenciais do *tracking*) exigem, necessariamente, informação de natureza longitudinal, supondo, ou não, que os pontos de observação e registo das características em estudo sejam equidistantes no tempo. E aqui mencionamos já uma dificuldade adicional para o pesquisador: como lidar com registos que não são igualmente espaçados no tempo, ou aqueles que se referem à possibilidade dos atletas terem momentos únicos e pessoais de avaliação e registo? Como analisar o desempenho individual e do grupo? E como interpretar, adequadamente, a estabilidade dos valores da actividade física quando a avaliação efectuada em diferentes pontos do tempo não é equidistante? Fornecer uma ajuda na tentativa de responder a estas questões é o principal objectivo deste texto, onde se aborda, de modo plural, a noção de *tracking*, a sua operacionalização, bem como a sua interpretação e o seu significado em função do procedimento estatístico utilizado para o definir. Este texto está dividido em duas partes: inicialmente trataremos do conceito de *tracking*, de seguida apresentaremos quatro exemplos complementares, abordando problemas concretos que permitem a sua interpretação contextualizada aos dados disponíveis. Chamamos a atenção dos

leitores para o facto da recolha dos dados dos diferentes exemplos ter sido realizada com consentimento prévio de todos os sujeitos e respectivos progenitores.

- O primeiro exemplo lida com a análise da performance da impulsão vertical, onde são avançadas diferentes formas de pesquisar a mudança intra-individual e as diferenças entre sujeitos. Aspectos conceptuais importantes da noção de canalização são, desde logo, elucidados;

- O segundo exemplo refere-se à possibilidade de modelar o desempenho com base numa função polinomial a que se associa a sua representação gráfica altamente esclarecedora das trajectórias individuais das atletas;

- O terceiro exemplo aborda um tema da maior importância em pesquisa auxológica ou pediátrica, extensível, por exemplo, a outros domínios de inquietação como a aprendizagem motora, desenvolvimento motor ou treino desportivo. Com base em informação proveniente do crescimento somático de crianças, exploramos divergências neste processo a partir do recurso à análise em *clusters*, identificando padrões, subgrupos ou indivíduos com trajectórias de crescimento divergente que podem ser considerados em risco;

- O quarto exemplo aborda o problema da modelação da curva de crescimento quando os sujeitos possuem momentos únicos de registo e que não são equidistantes no tempo.

Relembramos os leitores que as diferentes estratégias utilizadas para evidenciar de modo distinto a noção de *tracking* estão sempre dependentes do modo como cada investigador formaliza as suas hipóteses relativamente à estabilidade-instabilidade da característica em causa. Neste sentido, não há procedimentos de análise certos ou errados, mas sim adequados ao conteúdo das hipóteses do pesquisador.

Reiteramos os nossos propósitos: (1) apresentar a noção plural do *tracking*; (2) as diferentes estatísticas que o representam; (3) a sua interpretação; e (4) o percurso didáctico que se presta a investigadores.

A noção de *tracking*

O termo *tracking* contém, em si mesmo, uma dupla noção: a primeira refere-se à distância constante entre um par de rodas, e a segunda contempla a possibilidade em seguir uma pista que deixa marcas visíveis no terreno (Roche e Guo, 1994). Deste carácter bi-fronte do conteúdo semântico do *tracking* emergem quatro pontos-chave: (1) presença de indicadores no terreno; (2) estabilidade das pistas; (3) facilidade em seguir uma pista, e (4) antecipar pontos da pista a partir de outros previamente conhecidos. O *tracking* implica, pois, duas ideias que se interpenetram: estabilidade e previsibilidade (Ware, 1988).

Tracking é um termo genérico que pretende descrever um padrão regular de crescimento ou mudança numa colecção de padrões de crescimento, Kowalski e Schneiderman (1992) referem, por um lado, a ausência de uma definição universal para o termo e, por outro, a ideia genérica do seu

conteúdo – tendência de um indivíduo ou colecção de indivíduos em permanecer(em) num dado curso ou canal de crescimento ou mudança, reflectindo estabilidade no seu padrão de crescimento ou mudança.

Ainda que as metodologias disponíveis, para abordar quantitativamente o fenómeno do *tracking*, sejam diversificadas (Kowlaski & Schneiderman, 1992; Roche & Guo, 1994), foram Foulkes e Davies, em 1981, os primeiros autores a sugerirem a existência de duas correntes fundamentais de pensamento metodológico relativas à operacionalização desta noção:

- A primeira centra a sua atenção no estudo das correlações entre medições sucessivas da(s) mesma(s) variável(eis) (auto-correlações), bem como na regressão linear ou não-linear, sendo que daqui emerge a possibilidade de predição de valores futuros com base em observações prévias. Exemplos esclarecedores desta posição são evidentes em pesquisas epidemiológicas acerca do comportamento da tensão arterial (Rosner et al., 1977), de factores de risco da doença coronária (Andersen, 1996), da actividade física (Janz et al., 2000; Pate et al., 1999), da aptidão aeróbia (Janz & Mahoney, 1997), ou em estudos na área da educação (Bloom, 1964). Há um outro conjunto de autores (ver por exemplo Ware & Wu, 1981) que estende a ideia da estrutura das auto-correlações (se estas evidenciarem estabilidade em que o valor de $r \geq 0.50$) à possibilidade de previsão. Os estudos realizados neste contexto utilizam procedimentos multivariados com recurso à técnica estatística de parâmetros designada por GEE (do inglês *generalized estimation equations*) e curvas de crescimento polinomial em dois momentos. Exemplos relevantes são os de Baumgartner e Roche (1988) acerca do padrão de adiposidade subcutânea, ou o de Twisk et al. (1996) relativo ao comportamento do colesterol e das lipoproteínas de alta densidade.

- A segunda corrente dirige o seu olhar para o carácter inequívoco da distribuição dos valores monitorizados mudarem naturalmente com o tempo, e para o facto dos indivíduos “manterem as suas posições relativas” (uns relativamente aos outros) em cada distribuição de valores e em cada ponto do tempo. Daqui que o problema nuclear seja o da definição precisa de posição relativa. A resposta tem sido diversificada e os procedimentos analíticos também são distintos, embora os resultados finais sejam idênticos (Foulkes & Davies, 1981; Ware & Wu, 1981). As formas mais óbvias de solucionar a noção de posição relativa centram-se no estudo do comportamento das posições dos sujeitos numa distribuição quantílica, ou no cálculo dos desvios da média em função do tempo (Kowalski & Schneiderman, 1992). Alguns exemplos desta abordagem estão consignados na pesquisa de Kelder et al. (1994) sobre o comportamento de adolescentes relativo aos seus hábitos tabágicos, de actividade física e de escolhas alimentares, ou ainda de Van Lenthe et al. (1994), no que concerne ao comportamento da tensão arterial em crianças e jovens. Um estudo interessante é o de Park et al. (1997) acerca do fenómeno da ausência de canalização do peso e estatura durante a infância e adolescência.

EXEMPLO 1

Um dos aspectos nucleares de todo o processo de treino estruturado e planeado na direcção do alto rendimento é o da preocupação com o comportamento da dinâmica da performance. Contudo, e inexplicavelmente, não parece ser muito evidente uma forte preocupação dos investigadores por esta temática, muito menos dos treinadores, a “julgar” pela ausência de estudos ou reflexões escritas sobre a matéria. A esta constatação associa-se a circunstância de não haver um “controle” apertado da monitorização do processo de treino.

Os dados para esta ilustração (tabela 1) provêm da avaliação da impulsão vertical de atletas de voleibol do sexo masculino que foram monitorizadas ao longo de cinco meses. Estes resultados foram conseguidos por consentimento escrito do treinador e dos atletas. A representação gráfica da mudança, em função do tempo, é apresentada na figura 1. Convém desde já salientar dois aspectos importantes em termos de informação descritiva: (1) o incremento dos valores médios, e (2) o aumento da variabilidade inter-individual, sugerindo um efeito de “leque a abrir” (ver os valores dos desvios padrão).

Tabela 1. Valores da melhor marca do salto das 12 atletas durante 5 meses (resultados em cm).

Atletas/meses	1	2	3	4	5
1	25,2	29,0	33,6	35,2	35,8
2	27,3	32,1	37,0	41,8	43,5
3	26,3	30,7	36,1	38,0	38,9
4	26,0	34,5	39,0	42,3	44,4
5	25,5	29,5	34,4	38,3	37,9
6	28,2	32,5	36,3	42,3	43,8
7	25,4	33,4	38,0	42,7	43,1
8	27,2	34,8	37,2	44,0	44,0
9	26,0	34,5	38,0	43,5	43,8
10	28,5	33,8	38,0	39,2	42,0
11	27,0	31,2	36,0	41,7	43,8
12	26,0	33,0	40,2	42,5	43,8
Média	26,55	32,42	36,98	40,96	42,07
Desvio-padrão	1,08	1,96	1,86	2,66	2,88

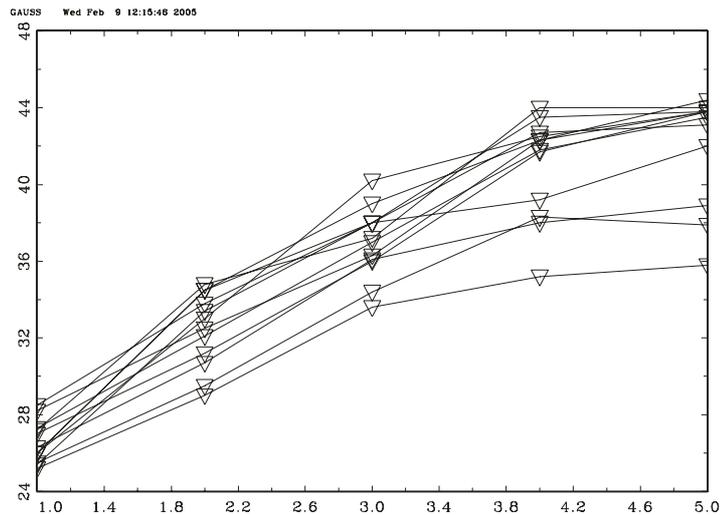


Figura 1. “Spaghetti plot” das trajetórias de desempenho intra-individual e diferenças inter-individuais, em cada ponto do tempo (na ordenada os valores estão em cm, e na abcissa estão cinco pontos da avaliação).

Uma forma de análise dos resultados seria, muito simplesmente, centrar a atenção nos valores médios. Tal atitude parece-nos insuficiente, porque não aborda a totalidade das características da informação disponível. Contudo, exploremos esta linha de actuação na análise. A figura 2 mostra o diagrama de extremos e quartis salientando aspectos diversificados da variabilidade das distribuições dos resultados em cada ponto do tempo, bem como a alteração do valor da mediana que aumenta até ao 5º mês de treino, embora pareça existir algum “efeito de travagem” no incremento do desempenho do 4º para o 5º mês.

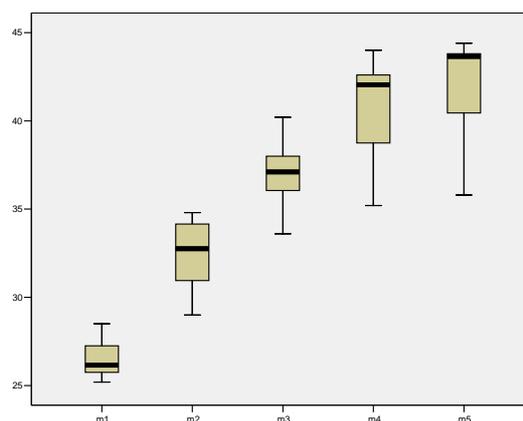


Figura 2. Diagrama de extremos e quartis do desempenho (valores da ordenada em cm, e na abcissa estão os 5 pontos da avaliação m_i , em que $i=1,2,3,4$ e 5 refere-se aos meses de avaliação).

O teste F às diferenças de médias salientou mudanças significativas, [η^2 de Wilks=0,016; $F(4,8)=126,596$; $p<0,001$, com uma variância explicada pelo factor temporal de 98,4%], com tendências linear e quadrática significativas no desempenho dos atletas ao longo do tempo. Foram

encontradas, também, diferenças estatisticamente significativas em todos os meses adjacentes no tempo, do 1º para o 2º, do 2º para o 3º e assim sucessivamente (ver figura 3).

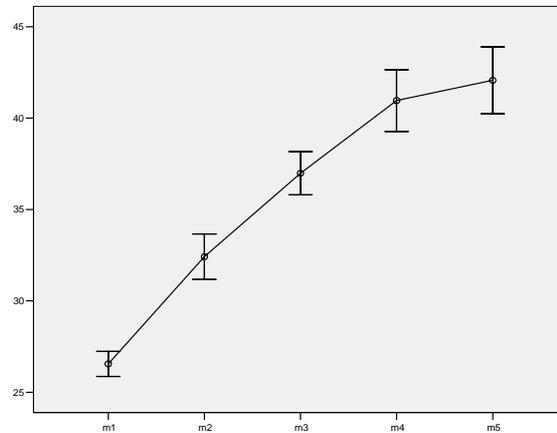


Figura 3. Comportamento dos valores médios (\pm desvios-padrão) em função do tempo (na ordenada os valores estão em cm e na abcissa estão os 5 pontos da avaliação).

O olhar demasiadamente centrado no comportamento das médias não permite outras leituras, talvez mais esclarecedoras dos resultados. Tudo depende das questões que formulemos (do modo como queremos interrogar a informação disponível). E aqui é importante que treinadores e investigadores sejam mais audaciosos e sobretudo, minuciosos na formulação das suas questões.

Uma forma simplista de estudar a ideia de estabilidade ou *tracking* seria calcular correlações entre desempenhos ao longo dos seis meses, uma estratégia designada de cálculo de auto-correlações (perspectiva do primeiro posicionamento do estudo do *tracking*). Assumindo normalidade bi-variada, os resultados das auto-correlações estão na tabela 2 e os diagramas de dispersão na figura 4.

Tabela 2. Valores de auto-correlação (Pearson) entre os desempenhos ao longo dos 5 meses.

Meses	1	2	3	4	5
1	1,000				
2	0,340	1,000			
3	0,156	0,820	1,000		
4	0,250	0,820	0,700	1,000	
5	0,440	0,830	0,770	0,940	1,000

O padrão de auto-correlações salienta dois aspectos que consideramos relevantes:

- A circunstância dos resultados do primeiro mês terem valores de r muito baixos, inferiores ao valor de corte de 0,50 proposto por Bloom (1964) para salientar estabilidade numa dada característica.

- O facto de a partir do 2º mês, inclusive e até ao 5º mês, os valores de r serem altos, sugere estabilidade no desempenho.

Contudo, a inspecção da normalidade univariada e bi-variada dos resultados mostrou alguns problemas. Por exemplo, o teste de Shapiro-Wilk revelou ausência de normalidade na distribuição dos valores no 5º mês.

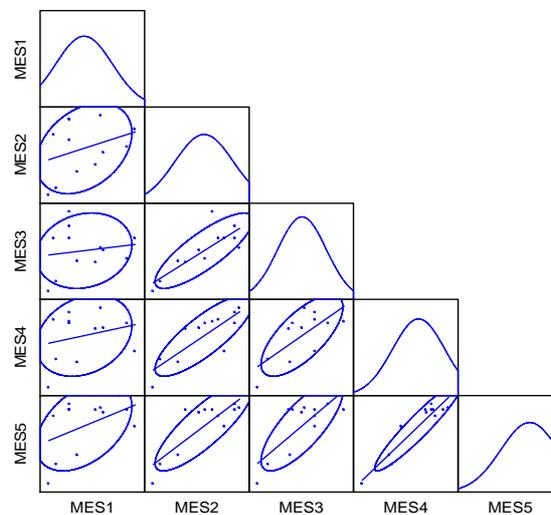


Figura 4. Diagramas de dispersão (e representação do polígono de frequências dos valores em cada ponto do tempo) para o comportamento da performance ao longo dos 5 meses.

Quando se utiliza o procedimento de HADI (ver manual do SYSTAT 11.0) que corrige para a presença de valores extravagantes (candidatos a *outliers*), os resultados da matriz de auto-correlações são menores do que aqueles apresentados anteriormente.

Uma forma de solucionar este problema é recorrer, muito simplesmente, ao coeficiente de correlação de Spearman, cujos valores se encontram na tabela 3 e que são ligeiramente inferiores aos anteriormente reportados.

Tabela 3. Valores de auto-correlação (Spearman) entre os desempenhos ao longo dos 5 meses.

Meses	1	2	3	4	5
1	1,000				
2	0,300	1,000			
3	0,110	0,780	1,000		
4	0,090	0,830	0,680	1,000	
5	0,320	0,750	0,590	0,760	1,000

Um conceito extremamente interessante que pode ser aplicado ao estudo da performance dos saltadores é o de canalização. Este conceito foi inicialmente proposto pelo geneticista inglês Waddington (1957) no seu livro *Strategy of the Genes*, onde o autor propõe uma reflexão teórica sobre aspectos da Biologia, lançando-se na aventura concreta da Biologia do Desenvolvimento a partir de informação proveniente da embriologia e da genética. O autor sugeria, no contexto biológico, que o desenvolvimento ou o crescimento se processava ao longo de um dado canal numa paisagem epigenética com múltiplas possibilidades, onde era evidente não só um comportamento regular do fenómeno, como também a tendência para se dirigir para um alvo geneticamente determinado e actualizado pelo envolvimento. Tanner (1978) estende esta noção ao crescimento somático. A noção de canalização emerge de forma clara quando se interpretam valores repetidos do crescimento somático de um dado sujeito numa carta de crescimento, sobretudo quando se monitoriza o seu processo e se pretende situá-lo no contexto de referências locais ou internacionais expressas na distribuição centílica estatural ou ponderal.

Sempre que as medidas repetidas no tempo de uma variável (por exemplo a altura, o peso, ou um indicador relevante da performance desportivo-motora) de um dado sujeito permanecem entre um par de percentis adjacentes (por exemplo P_{10} - P_{25} ; P_{50} - P_{75}), ou que não se desviam mais do que um dado centil maior ou para o canal contíguo, diz-se que se está na presença de canalização. De acordo com Baumgartner e Roche (1988) e Roche e Baumgartner (1987), este conceito é credor de uma forte aplicação na pesquisa sobre o crescimento e desenvolvimento somático e motor ou da performance desportiva intra-individual, dado implicar um prognóstico relativamente ao valor a ser atingido no estado adulto, ou no nível mais elevado de performance. Daqui que esta noção exija alguma modelação matemática para dados de comportamento linear ou não-linear.

Estamos na presença de mudança de canal de desenvolvimento ou da performance desportiva sempre que a alteração das medidas repetidas no tempo implique uma transição para canais não adjacentes, por exemplo passar do canal P_{10} - P_{25} para o canal P_{50} - P_{75} . Pode acontecer que por motivos de “forte conspiração” do envolvimento (por exemplo subnutrição, condições desfavoráveis de treino, alteração substancial das condições da competição, ou do próprio sujeito) haja um desvio do canal de desenvolvimento ou da performance. Se, se remover este efeito nocivo, o organismo possui uma tendência inata para voltar ao seu canal original. Este fenómeno designa-se por

recanalização (Tanner 1978).

Um modo altamente promissor de análise e interpretação dos resultados apresentados na tabela 1 é o recurso à segunda corrente de pensamento metodológico, no que ao *tracking* diz respeito, se nos “adaptarmos” aos conteúdos provenientes da ideia de canalização. Para tal faremos uso da sua implementação no *software* estatístico *Longitudinal Data Analysis – LDA*, recorrendo ao *Kappa* (K) de Cohen e ao gama (γ) de Foulkes e Davies (1981).

O *Kappa* (K) de Cohen

Este procedimento estipula a existência de *tracking* (estabilidade na *performance*) se os sujeitos tenderem a permanecer no mesmo quantil (*track* ou canal) da distribuição. A pergunta chave é a seguinte: quantas vezes é que a marca de cada atleta (o seu desempenho) está no seu quantil, que é calculado em função dos valores das marcas dos atletas em cada ponto do tempo.

Este procedimento não exige qualquer *a priori* acerca da forma da curva de crescimento da *performance*, bem como não reclama qualquer avaliação da normalidade da distribuição, dado tratar-se de uma estatística não-paramétrica. Baseado nas sugestões de Landis e Koch (1977), considera-se a seguinte interpretação para os valores do *Kappa*: $K \geq 0,75$ = estabilidade excelente; $K \geq 0,40$ e $K < 0,75$ = estabilidade moderada a boa; $K < 0,40$ = estabilidade baixa.

A figura 5 mostra, para a distribuição em causa, três canais que pretendem descrever a *performance* no tempo das sub-categorias de atletas da amostra, e a tabela 4 contém os valores dos percentis, bem como os respectivos pontos de corte dos desempenhos. Os canais podem ser considerados como zonas distintas de *performance* de sub-grupos de atletas de níveis distintos de sensibilidade ou resposta ao treino.

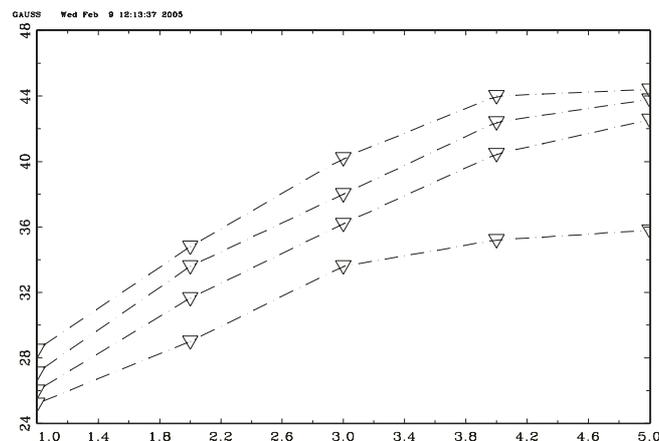


Figura 5. Três canais da distribuição dos valores da *performance* dos atletas em função do tempo com base nos valores percentílicos. Na ordenada temos o desempenho em cm e na abcissa os 5 pontos do tempo.

Tabela 4. Pontos de corte dos principais percentis nos cinco momentos.

Centis	1	2	3	4	5
100	28,50	34,80	40,20	44,00	44,40
66,67	27,10	3,60	38,00	42,40	43,80
33,33	26,00	31,65	36,20	40,45	42,55

Na figura 6 estão incluídos os canais da distribuição quantílica dos resultados, bem como os traçados da performance de cada atleta, onde é de salientar os cruzamentos sucessivos das trajectórias intra-individuais para diferentes canais.

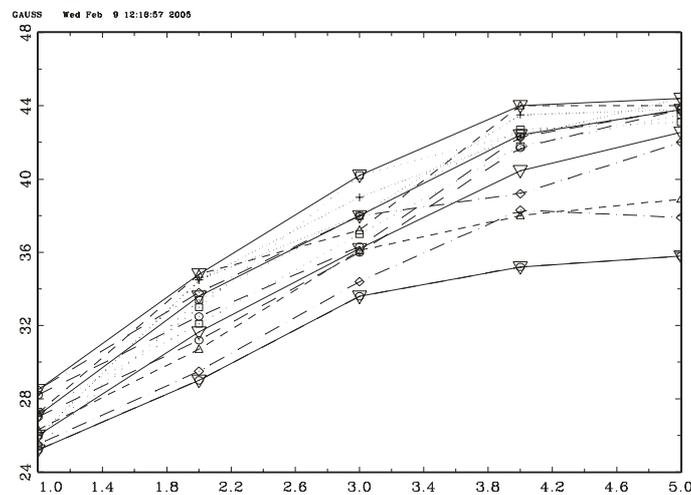


Figura 6. Canais de performance e trajectórias individuais do desempenho ao longo dos 5 meses. Na ordenada temos o desempenho em cm e na abcissa os 5 pontos do tempo.

Os resultados da estabilidade da performance de cada atleta estão na tabela 5. Conforme parece emergir da referida tabela, a generalidade dos valores da estatística *Kappa* são baixos a moderados, à excepção dos sujeitos 1 e 5, cujo *Kappa* é 1,00, salientando o facto de estarem 5 vezes no seu quantil ou canal de performance, o de mais baixa resposta ao treino. Contudo, é importante considerar a dinâmica dos resultados das várias atletas. Por exemplo, a atleta 10 está 2 vezes no canal 1, 1 vez no canal 2 e 2 vezes no canal 3. Esta instabilidade no seu desempenho pode ser altamente favorável, ainda que o seu *Kappa* individual seja 0,20, se a sua mudança for sequencial e sempre para canais mais elevados.

O valor do *Kappa* para a totalidade das atletas é de $0,24 \pm 0,13$, e os respectivos limites de confiança para 95% são 0,11 - 0,37. Estes resultados sugerem a ausência de estabilidade na performance dos atletas. Tal significa, no contexto do próprio treino, um comportamento relativamente instável no desempenho mensal, o que pode colocar algumas dificuldade à aventura

da previsão do comportamento individual e do grupo.

Tabela 5. Valor de *Kappa* para cada atleta, bem como a frequência de permanência no respectivo canal.

Atletas	Kappa individual	Canal 1	Canal 2	Canal 3
1	1,00	5	0	0
2	0,60	0	4	1
3	0,60	4	1	0
4	0,30	1	1	3
5	1,00	5	0	0
6	0,60	0	4	1
7	0,30	1	3	1
8	0,60	0	1	4
9	0,20	1	2	2
10	0,20	2	1	2
11	0,40	2	3	0
12	0,20	1	2	2

O GAMA (γ) DE FOULKES E DAVIES

Este procedimento pretende examinar a quantidade de indivíduos que mantêm a mesma posição relativa (*rank* relativo). Isto é, calcula a probabilidade de duas curvas ou perfis aleatórios de performance não se entrecruzarem. O *tracking* será perfeito quando o grupo de perfis de crescimento individual da *performance* não se entrecruzar, isto é, quando a sua posição relativa no seio da distribuição for mantida no tempo do estudo. Se o valor de $\gamma=0,50$ não se verifica qualquer *tracking*; se $\gamma=1,00$ o *tracking* é perfeito, e se $\gamma < 0,50$, o *tracking* é irrelevante.

Dado que o Gama (γ) de Foulkes e Davies (1981) é uma estatística não-paramétrica, não há qualquer pressuposto a cumprir acerca da forma da curva de crescimento da performance. É evidente que quanto mais simples for a curva, tanto mais elevado será o valor de γ .

Os valores da performance dos atletas foram submetidos, sequencialmente, a um ajustamento de um modelo polinomial de complexidade crescente. O mais adequado foi um polinómio de 2º grau. As trajectórias individuais estão representadas na figura 7.

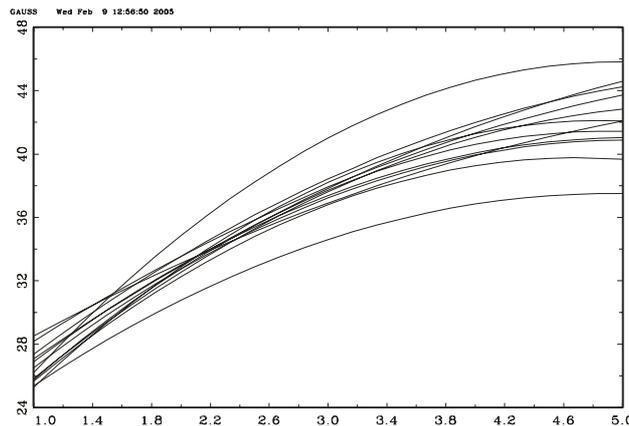


Figura 7. Trajectos individuais da performance ajustados por um polinómio de 2º grau. Na ordenada temos o desempenho em cm e na abcissa os 5 pontos do tempo.

Os traçados da performance do salto representados na figura 7, modelados por uma função polinomial de 2º grau, mostram o forte cruzamento dos perfis da performance dos sujeitos. O γ de Foulkes e Davies (1981) evidenciou um valor de $0,39 \pm 0,07$, cujos limites de confiança a 95% são 0,24; 0,54. De acordo com as sugestões anteriores para os valores de γ , estamos na presença de *tracking* irrelevante, ou dito de um modo mais adequado, na ausência de *tracking* ou canalização da performance das atletas.

EXEMPLO 2

Uma forma interessante de olhar para a informação da tabela 1 é modelar o desempenho com base numa função não linear na sua forma, ainda que seja linear nos seus parâmetros. Se obtivermos um modelo com parâmetros interpretáveis do ponto de vista da estrutura do desempenho, é fácil a sua representação gráfica, bem como a obtenção de informação relativa à velocidade média dos ganhos no desempenho dos atletas.

Recorreremos, uma vez mais ao LDA e ao seu módulo de modelação de curvas de “crescimento” para efectuar várias tarefas: (1) obter os parâmetros da curva média, bem como a sua representação gráfica; (2) ilustrar as trajectórias individuais modeladas a partir da função polinomial mais parcimoniosa; (3) mostrar os valores de velocidade média dos ganhos ao longo dos cinco meses de treino.

Os resultados dos parâmetros relativos à curva média do desempenho estão na tabela 6. Os três parâmetros referem-se, por ordem, ao valor médio esperado do desempenho no momento zero (o valor na ordenada quando X é zero), 18,56 cm, à velocidade média dos ganhos do grupo em função do tempo, $8,82 \text{ cm/mês}^{-1}$, e o terceiro à aceleração que é negativa, $-0,82 \text{ cm}$ mostrando um efeito de travagem na velocidade dos ganhos ou um eventual efeito de tecto (ver também figura 8).

Tabela 6. Valores dos parâmetros (e respectivos intervalos de confiança a 95%) da curva média do desempenho.

Parâmetros	± Amplitude do intervalo	IC 95%
$\beta_0 = 18,56$	2,48	16,08 ; 21,03
β_1 (velocidade) = 8,82	1,86	6,93 ; 10,67
β_2 (aceleração) = -0,82	0,27	-1,09 ; -0,55

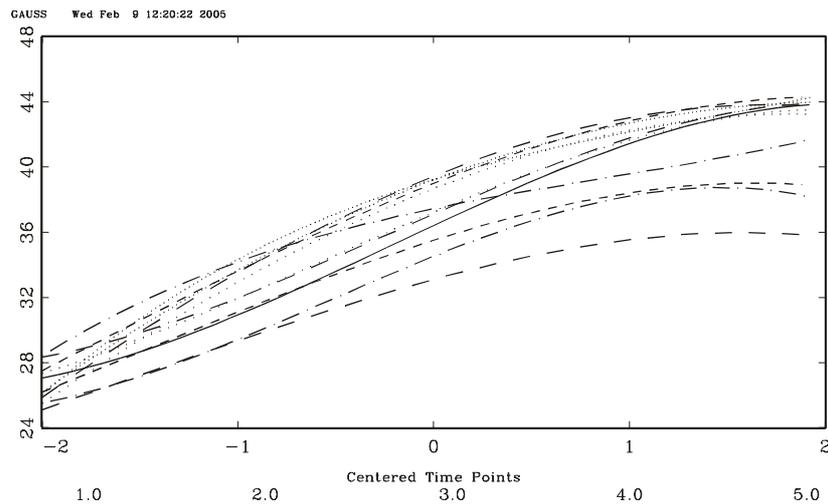


Figura 8. Representação gráfica das trajectórias individuais de desempenho ao longo dos 5 meses. Na ordenada temos o desempenho em cm e na abcissa os 5 pontos do tempo.

Na tabela 7 e na figura 9 temos, respectivamente, os valores do desempenho ajustados pela função obtida para cada um dos pontos do tempo, bem como a sua representação gráfica. É interessante salientar a variação no desempenho em função do tempo (limites do IC 95%), e a circunstância de se notar um efeito de leque a abrir à medida que avançamos nos meses, e que é notório nos valores da amplitude do intervalo de confiança.

Tabela 7. Valores ajustados (e respectivos intervalos de confiança) do modelo polinomial de 3º grau para o desempenho das atletas ao longo dos 5 meses.

Meses	Valores médios ajustados	± Amplitude do intervalo	IC 95%
1	26,59	1,47	25,12 ; 28,06
2	32,25	2,33	29,92 ; 34,57
3	37,24	2,72	34,52 ; 39,95
4	40,79	3,10	37,69 ; 43,89
5	42,11	3,91	38,20 ; 46,01

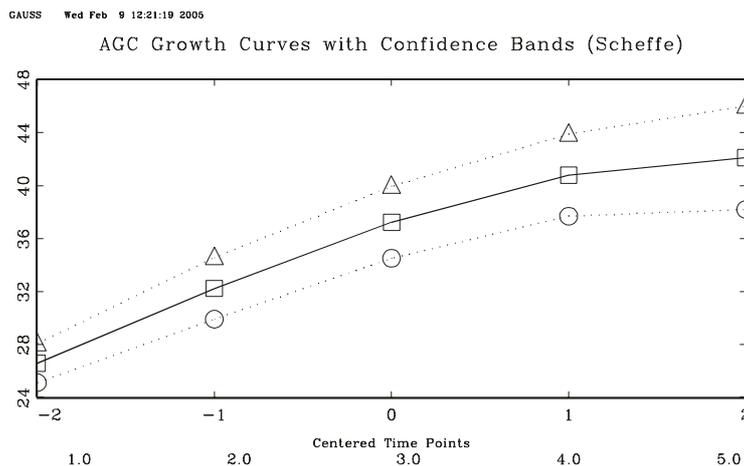


Figura 9. Representação gráfica dos valores médios e respectivos intervalos de confiança para a curva média do desempenho. Na ordenada temos o desempenho em cm e na abcissa os 5 pontos do tempo.

Outra forma interessante de olhar para estes resultados é através do cálculo das velocidades médias em diferentes pontos do tempo, e da respectiva representação gráfica (tabela 8 e figura 10), onde é notória uma forte variabilidade inter-individual nas velocidades dos ganhos.

Tabela 8. Ganhos médios em cm (velocidades médias) calculados entre meses.

Atletas	M2-M1	M3-M2	M4-M3	M5-M4
1	3,80	4,60	1,60	0,60
2	4,80	4,90	4,80	1,70
3	4,40	5,40	1,90	0,90
4	8,50	4,50	3,30	2,10
5	4,00	4,90	3,90	-0,40
6	4,30	3,80	6,00	1,50
7	8,00	4,60	4,70	0,40
8	7,60	2,40	6,80	0,00
9	8,50	3,50	5,50	0,30
10	5,30	4,20	1,20	2,80
11	4,20	4,80	5,70	2,10
12	7,00	7,20	2,30	1,30

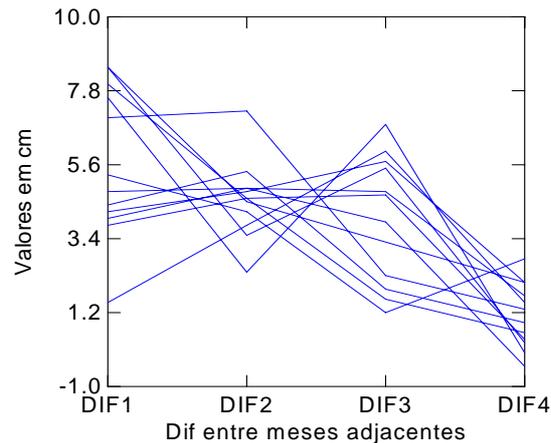


Figura 10. Representação dos ganhos médios entre meses adjacentes para todas as atletas

EXEMPLO 3

Um assunto de grande interesse na temática do *tracking*, refere-se à possibilidade de identificação dos casos mais divergentes da estabilidade de uma dada característica da qual se possui informação longitudinal. Esta possibilidade é da maior relevância em pesquisa auxológica ou pediátrica. Existe uma forte linha de investigação acerca da variabilidade, de curta duração, no crescimento somático e da identificação precisa de canais de crescimento em crianças pré-puberes e ausência de crescimento canalizado que interessa conhecer e explorar em diferentes domínios das ciências do desporto e epidemiologia da actividade física. A título de mero exemplo da aplicação de uma faceta do *tracking*, a estabilidade de crescimento no seio de um grupo, referiremos uma investigação acerca do crescimento somático de 11 crianças de que se dispõe informação estatural em 13 pontos no tempo. Estes dados foram obtidos com autorização expressa dos progenitores das crianças. É evidente daqui a possibilidade de pesquisar não só aspectos relativos ao comportamento da distância estatural, mas também relativos à sua velocidade e aceleração [aspectos técnicos da matéria da modelação das curvas de crescimento podem ser obtidos em Hauspie e Chrzastek-Spruch (1993)]. Depois de se modelar matematicamente de modo não-linear as curvas de crescimento, foram obtidos os parâmetros individuais descritores da cinética do crescimento de cada sujeito. Com base nos valores dos parâmetros individuais da curva de cada sujeito, construiu-se uma matriz de distâncias inter-individuais que reflectem similaridades ou dissemelhanças entre crianças no que ao seu crescimento somático diz respeito.

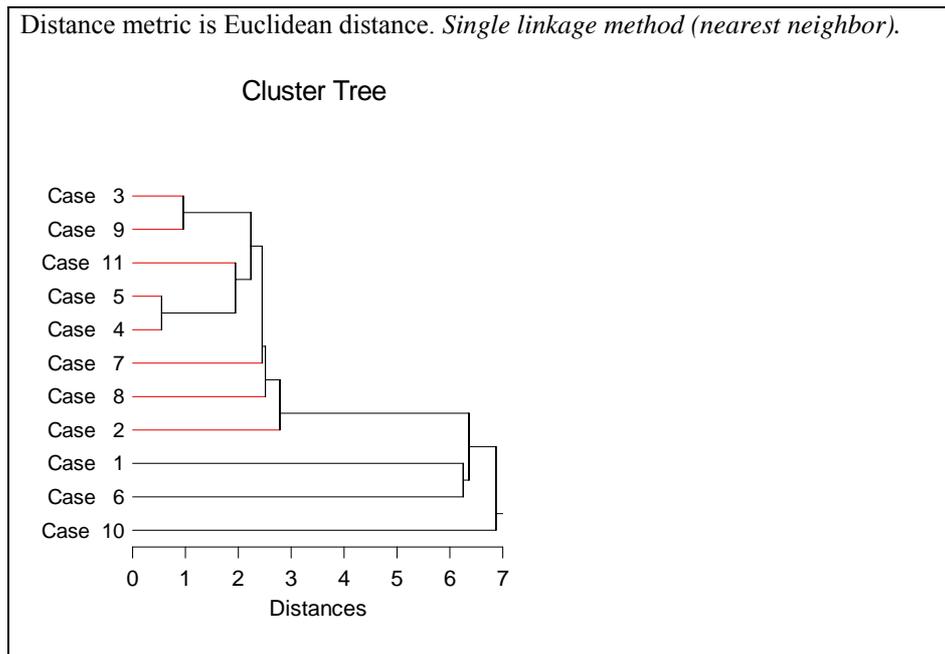
Na tabela 9, temos essa matriz obtida a partir de um dos módulos (ZDIST) do *software* LDA. Dado que em qualquer esforço de modelação do crescimento somático se podem obter curvas de distância, velocidade e aceleração, bem como os respectivos parâmetros, a matriz referida foi construída com base nos parâmetros da curva da distância. Os valores desta matriz contrastam, de modo bem simples, o processo de crescimento de cada sujeito relativamente aos membros do seu grupo. Quanto menor for o valor da distância, mais semelhantes são os padrões de crescimento

dessas crianças; em contrapartida, quanto maior for a distância tanto mais dissemelhante é o padrão de crescimento inter-individual.

Tabela 9. Matriz de distâncias dos parâmetros das curvas de crescimento de 11 crianças em 13 pontos do tempo (S_i = identificação de cada criança).

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
S1	0									
S2	6,36	0								
S3	10,31	7,63	0							
S4	6,82	4,39	4,97	0						
S5	7,20	4,50	4,42	0,87	0					
S6	6,25	9,56	14,77	10,05	10,81	0				
S7	7,80	7,24	6,93	3,33	3,93	9,55	0			
S8	7,30	4,65	7,14	6,73	6,30	12,57	9,87	0		
S9	9,67	6,59	1,13	4,02	3,18	13,92	6,28	6,60	0	
S10	14,93	15,61	20,07	15,29	16,15	9,34	13,0	19,88	19,14	0
S11	7,77	3,68	4,24	3,74	3,11	12,24	7,02	3,68	3,36	18,28

A análise desta matriz foi efectuada no SYSTAT 10.0, a partir de técnicas de aglomeração informacional que aparecem no módulo *CLASSIFICATION*, genericamente designadas de análise de *clusters*, análise da função discriminante e árvores decisionais. Os resultados da análise em *clusters* estão na tabela 10. Nota-se a presença de *clusters* ou agrupamentos “naturais” em diferentes sub-grupos de sujeitos no seu crescimento somático. É possível referenciar o seguinte comportamento na trajectória do crescimento somático convergente-divergente entre indivíduos: os sujeitos {7,4,5,11,9,3} formam um sub-grupo, distinto dos sujeitos {8,2} e do sujeito {10} que tem uma trajectória de crescimento completamente dispar dos outros. Tal comportamento pode alertar para problemas de estabilidade do crescimento estatural, bem como a identificação de casos extremos que necessitam uma atenção diversificada por parte do investigador. É evidente a possibilidade de exploração desta abordagem a outros domínios de problemas.

Tabela 10. Resultados da análise em *clusters* (Dendograma)


EXEMPLO 4

No domínio da pesquisa do *tracking* em epidemiologia da actividade física e da aptidão física as opções dos autores enquadram-se nos dois campos metodológicos anteriormente referidos. Dois trabalhos complementares, na sua abordagem e complexidade analítica são os de Beunen et al. (1999) e Maia et al. (2001), Kowalski e Schneiderman (1992), Twisk et al. (1996) e Maia et al. (2003) fazem revisões detalhadas das metodologias e técnicas empregues no lato território do *tracking* aplicadas à epidemiologia da actividade física e aptidão física.

Contrariamente ao uso de técnicas com alguma sofisticação analítica, é nossa intenção apresentar uma forma simples de expressar a presença ou ausência de *tracking* com base no cálculo de percentagens ou *odds ratios* em tabelas de contingência, O exemplo que a seguir se apresenta refere-se a uma pesquisa sobre níveis de actividade física de 149 sujeitos que foram obtidos quando estes tinham 30 e 35 anos. A informação foi colhida com base em declarações expressas dos sujeitos. Aquilo que foi efectuado aos valores de actividade física marcada pelas suas respostas a um questionário bem aferido foi o seguinte:

- Os resultados dos sujeitos, quando estes tinham 30 anos, foram repartidos por quatro categorias em função da sua posição percentilica: “inactivos” se os valores de actividade física fossem $<P_{25}$; se os valores de actividade física estivessem entre os P_{25} e o P_{50} eram classificados de “sedentários”; moderadamente activos se os resultados da sua actividade física estivesse entre os P_{50} e P_{75} e muito activos se fossem $>P_{75}$.

- Uma classificação semelhante foi efectuada para os níveis de actividade física quando os sujeitos tinham 35 anos de idade, mas os percentis foram calculados a partir dos valores aos 35 anos de idade. Isto significa que os valores que marcam os percentis aos 30 e 35 anos são

necessariamente diferentes. Os valores da tabulação cruzada dos resultados da informação dos 30 para os 35 anos de idade estão na tabela 11.

Tabela 11. Tabulação cruzada para as frequências das categorias da actividade física dos 30 para os 35 anos.

Idade=35 anos					
Idade 30 anos	<P ₂₅	P ₂₅ -P ₅₀	P ₅₀ -P ₇₅	>P ₇₅	Total
<P ₂₅	20 (52%)	12	4	3	39
P ₂₅ -P ₅₀	9	10	12	6	37
P ₅₀ -P ₇₅	6	9	9	10	34
>P ₇₅	1	8	12	18 (46%)	39
Total	36	39	37	37	149

A tabulação cruzada dos valores é uma forma extremamente útil para se estudar as transições dos diferentes quartis dos 30 para os 35 anos de idade no que aos níveis de actividade física diz respeito. Se os referidos níveis se mantêm estáveis, então há que esperar uma ausência substancial de transição nas posições quartílicas.

Dos 39 sujeitos “inactivos” (<P₂₅) aos 30 anos de idade, 20 permaneceram nesta categoria aos 35 anos. Ora estes 52% podem reflectir alguma estabilidade ou *tracking* de “inactividade”. É evidente que estes sujeitos, facilmente identificáveis, constituem um grupo de risco sobre o qual convém intervir de forma adequada. Contudo, é importante salientar que destes 39 “inactivos” aos 30 anos de idade, apenas 3 (8%) se tornaram muito activos.

De um modo equivalente, dos 39 sujeitos muito activos (>P₇₅) aos 30 anos, somente 18 (46%) mantiveram a mesma posição aos 35 anos, os restantes 29 transitaram de categoria quartílica: 12 para os moderadamente activos, 8 para os “sedentários” e somente 1 se tornou “inactivo”. Deixamos ao cuidado do leitor a leitura do resto da tabela.

Ainda que este exemplo seja ilustrativo da noção de *tracking* e a sua leitura se afigure demasiado fácil, mesmo na ausência de valores de corte, quando se tem mais do que dois pontos no tempo a interpretação é bem mais complexa, e praticamente impossível de visualizar. Uma possibilidade de solução é recorrer ao *Kappa* de Cohen, tal como foi anteriormente apresentado. Outra alternativa bem interessante é apresentada por Collins et al. (1999) a partir da análise de transições (do inglês *latent transitional analysis*)*.

* Os interessados podem aceder ao *site* da autora Linda Collins e do seu centro de investigação: <http://METHCENTER.PSU.EDU>.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em suma, esperamos que esta pequena viagem ao território fascinante do *tracking* tenha sido esclarecedora das múltiplas possibilidades de interpretação do seu significado, quando lidamos com informação de natureza longitudinal e se pretende extrair dos dados disponíveis toda a sua riqueza. Antevemos a proliferação do seu uso em delineamentos longitudinais ou longitudinais-mistos quando se pretendem esclarecer aspectos diversificados da estabilidade-instabilidade da mudança.

BIBLIOGRAFIA

Andersen L B. (1996). *Tracking of risk factors for coronary heart disease from adolescence to young adulthood with special emphasis on physical activity and fitness*. Dissertação de doutoramento. University of Copenhagen, Danish State Institute of Physical Education: Copenhagen.

Baumgartner RN, & Roche AF (1988). *Tracking of fat pattern indices in childhood: the Melbourne Growth Study*, *Human Biology*, 4:549-567.

Beunen, G. & Thomis, M, (1999). *Genetic determinants of sports participation and daily physical activity*. *International Journal of Obesity*. 23: 1-9.

Bloom BS. (1964). *Stability and Change in Human Characteristics*. New York: John Wiley & Sons.

Collins, LM; Flalenty, BP; Hyatt, SL; Scafer, JL. (1999). *Winlta User's Guide. Version 2.0*. The Methodology Center. The Pensilvannia State University.

Foulkes MA, & Davies LE. (1981). *An index of tracking for longitudinal data*. *Biometrics*. 37: 439-446.

Hauspie, RC, & Chrzastek-Spruch, H. (1993). *The analysis of individual and average growth curves: some methodological aspects*, In: *Kinantropometry*. (Eds,) W, Duquet and J, A P, (4) 68-83; London: E & F, Spon.

Janz KF, Dawson JD, & Mahoney LT. (2000). *Tracking physical fitness and physical activity from childhood to adolescence: the Muscatine study*. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 7: 1250-1257.

Janz KF, & Mahoney LT. (1997). *Three-year follow-up of changes in aerobic fitness during puberty: the Muscatine study*. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 1:1-9.

Kelder SH, Berry CL, Klepp K-I, & Lytle LL. (1994). *Longitudinal Tracking of Adolescent Smoking, Physical Activity, and Food Choice Behaviors*. *American Journal of Public Health*. 84:1121-1126.

Kowalski CJ, & Schneiderman ED. (1992). *Tracking: concepts, methods and tools*. *International Journal of Anthropology*. 7:33-50.

Landis JR, & Koch GG. (1977). *The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics.* 37:439-446.

Maia JAR, Lefevre J, Claessens A, Renson R, Vanreusel B, & Beunen G. (2001). *Tracking of physical fitness during adolescence: a panel study in boys. Medicine & Science in Sports & Exercise.* 33:765-771.

Maia JAR, Lopes VP, Garganta R, & Seabra A (2003). *Um Olhar sobre Crianças e Jovens da Região Autónoma dos Açores. Implicações para a Educação Física, Desporto e Saúde*, Porto: DREFD e FCDEF-UP.

Park WJ, Li J, & Roche AF. (1997). *The decanalization of weight, recumbent length, and head circumference during infancy. American Journal of Human Biology.* 9:689-698.

Pate RR, Trost S, Dowda M, Ott AE, Ward DS, Saunders R, & Felton G. (1999). *Tracking of physical activity, physical inactivity, and health-related physical fitness in rural youth. Pediatric Exercise Science.* 11:364-376.

Roche AF, & Baumgartner RN. (1987). *Tracking in fat distribution during growth.* In Bouchard C, Johnston, FE (eds.), *Fat Distribution and Metabolic Risk Factors During Growth and Later Health Outcomes.* New York: Alan R. Liss, Inc.

Roche AF & Guo S. (1994). *Tracking: its analysis and significance. Humanbiologia Budapestinensis.* 25: 465-469.

Rosner B, Hennekens CH, Kass EH, & Miall WE. (1977). *Age-specific correlation analysis of longitudinal blood pressure data. American Journal of Epidemiology.* 4: 306-313.

Tanner JM. (1978). *Foetus into Man, Physical Growth from Conception to Maturity.* Cambridge: Harvard University Press.

Twisk JWR, Kemper HCG, Mellenberg DJ, & Van Mechelen W. (1996). *Factors influencing tracking of cholesterol and high-density lipoprotein: the Amsterdam Growth and Health Study. Preventive Medicine.* 25: 355-364.

Van Lenthe FJ, Kemper HCG, & Twisk JWR. (1994). *Tracking of blood pressure in children and youth. American journal of Human Biology.* 6:389-399.

Waddington CH. (1957). *Strategy of the Genes: A Discussion of some Aspects of Theoretical Biology.* London: Allen and Unwin.

Ware JH, & Wu MC. (1981). *Tracking: prediction of future values from serial measurements. Biometrics.* 37:427-437.

Ware JH. (1988). *Tracking*, In Kotz S, Johnson NL (eds,). *Encyclopedia of Statistical Sciences*. New York: John Wiley & Sons. 1988; 302-305.