

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA SUPERIOR DE EDUCAÇÃO FÍSICA
MESTRADO EM CIÊNCIAS DO MOVIMENTO HUMANO**

**“ A COORDENAÇÃO ENTRE OS SEGMENTOS PERNA E COXA NO ANDAR:
UMA ANÁLISE A PARTIR DA TEORIA DOS SISTEMAS DINÂMICOS”.**

LUIZ CEZAR DOS SANTOS

**PORTO ALEGRE
1995**

**“A COORDENAÇÃO ENTRE OS SEGMENTOS PERNA E COXA NO ANDAR:
UMA ANÁLISE A PARTIR DA TEORIA DOS SISTEMAS DINÂMICOS”.**

LUIZ CEZAR DOS SANTOS

Dissertação apresentada à Escola Superior de Educação Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Ciências do Movimento Humano.

ORIENTADOR: Prof. Dr. RICARDO D. S. PETERSEN

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. PAULO MACHADO MORS

Prof. Dr. JEFFERSON THADEU CANFIELD

Porto Alegre
1995

Índice

LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE ANEXOS	x
LISTA DE APÊNDICES	xi
RESUMO	xii
<i>ABSTRACT</i>	xiii
Capítulo I - INTRODUÇÃO	01
1. Considerações Iniciais	01
2. Problema	03
3. Objetivo	04
4. Hipótese	04
Capítulo II - ANÁLISE DO CONHECIMENTO PRODUZIDO EM DESENVOLVIMENTO MOTOR ATÉ A DÉCADA DE 80	05
1. O Processo versus O Produto	05
2. Graus de Liberdade e Variabilidade Relaciona- da ao Contexto no Desenvolvimento Motor	07
Capítulo III - A MUDANÇA DE PARADIGMA NO ESTUDO DO MOVIMENTO HUMANO	12
1. A crítica ao Paradigma Mecanicista	12
2. Repensando o conceito de percepção	13
3. Paradigma Ecológico no estudo do movimento humano	15

Capítulo IV - TEORIA DOS SISTEMAS DINÂMICOS APLICADA AO ESTUDO DO MOVIMENTO HUMANO	19
1. Introdução	19
2. O Processo Dinâmico e as Estruturas Coordenativas	21
3. Osciladores não-lineares de ciclo-limite	25
Capítulo V - DESENVOLVIMENTO MOTOR COMO SISTEMAS EM DESENVOLVIMENTO	27
1. Interação de Sub-sistemas no desenvolvimento motor	27
2. Restrições e desenvolvimento motor	30
Capítulo VI - A COORDENAÇÃO E O CONTROLE DO ANDAR COMO UM SISTEMA DINÂMICO	36
1. Proposições teóricas tradicionais e atuais sobre o andar	36
2. Coordenação inter-membros	38
3. Coordenação intra-membros	40
Capítulo VII - METODOLOGIA	45
1. Sujeitos	45
2. Procedimentos	45
3. Decodificação dos dados	45
4. Tratamento Estatístico	50
Capítulo VIII - RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
1. A Dinâmica do andar	51
2. Ângulo de fase	53
3. Reversão	54
4. Ponto de coordenação	56
5. Fase relativa	60
Capítulo IX - CONCLUSÃO	63
Capítulo X - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - Média (x) e Desvio Padrão (s) dos ângulos de fase dos segmentos perna e coxa, no momento da reversão nas situações normal e sapato.	55
TABELA 02 - Média (x) e Desvio Padrão (s) dos ângulos de fase de cada segmento no momento da reversão do outro segmento nas situações normal e sapato.	57

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 01 - O “Executivo Motor” representado de forma caricaturizada (adaptado de MICHAELS & CARELO, 1981). 07
- FIGURA 02 - Exemplo da variabilidade produzida pelo fator anatômico (adaptado de TURVEY, FITCH & TULLER 1992). 08
- FIGURA 03 - Um sistema executivo, o homúnculo, seleciona da memória um plano e o implementa manipulando a faixa (adaptado de TURVEY, FITCH & TULLER, 1982). 09
- FIGURA 04 - (a) A abordagem tradicional para o evento e estímulo. O evento é decomposto dentro de uma sucessão de momentos, cada um descrito por seu próprio estímulo. Para o evento ser percebido, a sucessão de estímulos deve ser organizada de modo a reconstituir o evento dinâmico; (b) A abordagem dinâmica, onde a informação é contínua, coextensiva com o evento. O percebedor deve apenas detectar o evento, como é especificado pela informação (adaptado de MICHAELS & CARELO, 1981) 14

- FIGURA 05 - Na aproximação da superfície de um degrau à razão de $(dx/dt)/(ds/dt)$ depende da superfície R relativa à altura dos olhos E (adaptado de TURVEY & KUGLER, 1984). 15
- FIGURA 06 - Exemplo de problemas gerados pelas características das superfícies (adaptado de TURVEY & KUGLER, 1984) 17
- FIGURA 07 - (a) O retrato de fase do movimento da coxa durante o ciclo completo de uma perna no andar em adultos; (b) O retrato de fase do movimento da perna para o mesmo ciclo do andar (adaptado de CLARK, TRULY & PHILLIPS, 1990a). 24
- FIGURA 08 - Componentes hipotéticos do desenvolvimento da locomoção representados em função da idade (adaptado de THELEN, 1986). 29
- FIGURA 09 - Representação da interação dos componentes hipotéticos do desenvolvimento da locomoção dentro do contexto ambiental (adaptado de THELEN, 1986). 29
- FIGURA 10 - O movimento é influenciado pelas restrições do meio ambiente da tarefa e do organismo (adaptado de NEWELL 1986). 31
- FIGURA 11 - A paisagem epigenética (adaptado de CONNOLLY,1986). 32
- FIGURA 12 - A parte superior representa a visão dualista entre o animal biológico e o ambiente físico.A parte inferior representa a visão mais abrangente expressa no sistema animal ambiente (adaptado de NEWELL,1986). 34
- FIGURA 13 - O ciclo do andar consiste de cada membro se movendo em uma sequência semelhante em fases de balanço,duplo suporte (1º apoio) e simples suporte (2º apoio). 37

FIGURA 14 - Exemplos de problemas dispostos na superfície do ambiente, para a locomoção do animal (SANTOS,1988).	43
FIGURA 15 - Ciclo de uma perna durante o andar com a representação do ponto em que o pé sai do chão.	47
FIGURA 16 - Convenção do cálculo dos ângulos dos segmentos da perna (^o 1) e coxa (^o 2) com plano horizontal.	47
FIGURA 17 - O retrato da fase no eixo “x” é projetada a posição angular e no eixo “y” a velocidade angular.	48
FIGURA 18 - Retrato da fase com valores normalizados entre 1 e 1 e a convenção para o calculo do ângulo de fase.	48
FIGURA 19 - Posição angular da perna e da coxa co a representação das reversões : (*) primeira reversão (**) segunda reversão.	49
FIGURA 20 - Retrato de fase da perna e da coxa na situação normal.	51
FIGURA 21 - Ângulos de fase da perna e da coxa para os segmentos de 8 e 9 anos de idade nas duas situações experimentais.	53
FIGURA 22 - Ângulos de fase no momento de reversão no segmento nas situações normal e sapato divididos por reversão (1 ^o e 2 ^o) e por grupos.	56
FIGURA 23 - O ponto de coordenação em função dos grupos e das situações normal e sapato. (A) O ângulo de fase da perna no momento da segunda reversão da coxa. (B) O ângulo de fase da coxa no momento da segunda reversão da coxa.	58
FIGURA 24 - O ponto de coordenação em função dos grupos e das situações normal e sapato. (A) o ângulo de fase da coxa no momento da primeira reversão da perna; (B) o ângulo de fase da perna no momento da primeira reversão da coxa.	59

- FIGURA 25 - A fase relativa média de todos os sujeitos nas situações normal e sapato. 60
- FIGURA 26 - A média (M) e o desvio padrão (M-D e M+D) da fase relativa média de todos os sujeitos nas situações normal e sapato. 61

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 01 - Dados dos sujeitos: grupo, idade, estatura, comprimento dos membros inferiores e altura da sandália.	72
ANEXO 02 - Retratos de fase dos segmentos perna e coxa durante o andar nas situações normal e sapato.	73
ANEXO 03 - Ângulos de fase dos segmentos perna e coxa nas situações normal e sapato.	90
ANEXO 04 - Fase relativa dos segmentos perna e coxa nas situações normal e sapato.	96

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE I - Valores dos ângulos de fase dos sujeitos no ponto de coordenação nas situações normal e sapato.

102

RESUMO

Utilizando-se entre a perna e a coxa os princípios da Teoria dos Sistemas Dinâmicos, foi estudada a coordenação intra-membros durante o andar em 16 sujeitos do sexo feminino. Os movimentos da perna e da coxa e suas relações foram analisados dinamicamente como sistemas acoplados de ciclo limite. Os sujeitos foram filmados lateralmente executando o andar em duas situações experimentais: normal e com uma sandália na perna direita na proporção de 5% do comprimento do segmento inferior. Os dados transformados em variáveis cinemáticas possibilitaram a análise da coordenação em termos de ângulos de fase, ponto de coordenação e fase relativa. Através dos dados angulares, foram testadas as propriedades dos osciladores não-lineares de ciclo limite. Os resultados indicaram que os segmentos apresentam uma órbita atrativa específica para cada um deles, que se mantém invariante ao longo das idades. Esta órbita atrativa representa a organização espaço-temporal do segmento durante o andar, servindo também para a visualização da quantidade de energia dissipada por parte de cada segmento. A análise dos ângulos de fase no momento da reversão, do ponto de coordenação e da fase relativa possibilitaram a identificação do treinamento mútuo e da estabilidade estrutural.

Palavras chaves: Sistemas Dinâmicos, controle, coordenação, andar

ABSTRACT

Based on the principles of the Theory of Dynamic Systems, 16 female subjects were studied as to their intra-limb coordination during walk. The movements of lower leg and thigh have been dynamically analysed, - as well as their relation, - as limit-cycle coupled systems. Subjects were video-taped laterally, as they performed natural walking movements under two experimental situations: barefoot and with a sandal on the right foot with a thickness of 5% the length of the lower segment. Converted into kinematic variables, the data allowed the analysis of the coordination in terms of phase angle, point of coordination and relative coordination. The angular data made it possible to test the properties of the non-linear limit-cycle oscillator. Results pointed out that each segment involved in walking draws a specific attractive orbit, which is kept invariable throughout the ages. This attractive orbit represents the limb's space-temporal organization during walk, being, furthermore, an indication as to how much energy is being dissipated by each segment. The analysis of phase angles at the moment of limb reversion, the point of coordination and the relative phase made it possible to identify mutual training and structural stability.

Key words: Dynamic Systems, control, coordination, walk

Capítulo I

INTRODUÇÃO

1. Considerações Iniciais

A vida é um fenômeno bastante enigmático e, em conseqüência, de grande interesse dos estudiosos. Enigmático pela “quase impossibilidade” que o ser humano possui de desvendar a verdadeira essência da sua existência. Apesar do grande avanço que a ciência atual atingiu e poderá ainda atingir, sempre haverá lacunas no conhecimento sobre a origem, o desenvolvimento e a evolução dos seres vivos. O que em determinado momento parece inatingível, difícil de ser explicado acaba provocando um maior interesse por parte dos pesquisadores. Cada nova descoberta conduz a uma série de novas dúvidas que se multiplicam a cada resposta levantada.

Neste “ir e vir” entre dúvidas e respostas perpassam as diferentes teorias que disputam a hegemonia na determinação de uma explicação mais coerente. Assim surgem os paradigmas e as revoluções paradigmáticas, conforme ressalta KUHN (1989). As teorias vão se agrupando com base em pressupostos comuns até culminar no estabelecimento de um paradigma. Na medida em que uma “verdade” pregada por um paradigma começa a receber críticas, dá-se o processo de mudança do mesmo. A mudança de paradigma envolve transformações significativas em todas as áreas do conhecimento, uma vez que este representa o modo como o ser humano encara as suas relações junto ao meio ambiente e aos seus parceiros. O paradigma constitui, portanto, o trilho no qual o homem busca a sua evolução. Podemos facilmente identificar ao longo da história alguns paradigmas que direcionaram a evolução humana. Tem-se o Geocentrismo, o Mecanicismo e recentemente o Holismo.

O paradigma mecanicista tem influenciado sobremaneira as relações do homem com a natureza, e principalmente, a concepção de vida. Em específico, a vida dos seres humanos passou a ser entendida e estudada como um aglomerado de processos bioquímicos e biofísicos presentes em órgãos isolados. No dizer de ILLICH (1976) os médicos olham para os seus pacientes como: o rim com problemas, o coração enfartado, a perna quebrada, e outros, ao invés de vê-los como uma totalidade debilitada. Uma outra consequência deste paradigma é a concepção dualista presente principalmente nas áreas exatas e biomédicas. Por um lado, este manifesta-se pelo distanciamento do homem com a natureza, valorizando a independência do primeiro em relação ao segundo e conseqüentemente uma maior degradação, devastação e o início da extinção da natureza. Por outro lado, tem-se a supervalorização do pensamento lógico-racional colocando o pensar acima da ação e produzindo um homem que pensa mais do que faz e do que sente. Tudo isto produziu e continua a produzir profundas influências nas diversas áreas do conhecimento humano.

Apesar da supremacia do pensamento mecanicista dentro da ciência, têm surgido, a partir da década de 70, diversas correntes em diferentes áreas do conhecimento propondo a mudança de paradigma. Na sua maioria, estas correntes buscam uma análise mais abrangente que incorpore e explique as diferentes relações existentes entre as partes do fenômeno sob observação ao invés de um entendimento extremamente específico e compartimentalizado. Alguns afirmam que o novo paradigma é o “Holismo” onde o homem se volta para a natureza e concebe a vida como um processo de contínua troca energética. Outros falam de paradigma “Ecológico”, na medida em que a relação homem e meio ambiente não dever ser de exploração e sim de convivência sinérgica, onde um depende do outro para a sua sobrevivência.

O que se apresenta enquanto um novo paradigma, independente do nome a ele atribuído, é a continuação do ciclo gerado pelo caráter enigmático da vida e pelo interesse despertado em virtude da sua complexidade. Ao invés de ir se afunilando, se especializando, o conhecimento produzido por este ciclo dentro do novo paradigma vai sendo acrescido de outros ciclos (relações) que por sua vez produzem novas dúvidas, que são novas relações e assim sucessivamente. Busca-se então estudar cada vez mais as relações existentes entre os fenômenos e entre as partes, em oposição ao estudo aprofundado das partes.

A necessidade de repensar a relação do homem com a natureza e estudar os comportamentos a partir da complexidade de suas interações, levou os estudiosos do comportamento motor a reformularem as teorias que desprezam as influências ambientais, as concepções centradas nos processos internos de maturação do Sistema Nervoso Central (SNC) e as explicações baseadas em princípios deterministas.

O desenvolvimento humano é um processo contínuo de mudanças quantitativas e qualitativas nos domínios afetivo, cognitivo e motor. Em cada um destes domínios tem havido esforços no intuito de ultrapassar as explicações mecanicistas. Especificamente no domínio motor, alguns especialistas do Desenvolvimento Motor, do Controle Motor e da Aprendizagem Motora, tem buscado explicações sobre o desenvolvimento da coordenação e do controle motor a partir de princípios dinâmicos de auto-organização, de estruturas dissipativas, de sistemas não-lineares, e outros, presentes nas interações entre os componentes musculares, articulares e ósseos.

A coordenação representa a função que restringe as variáveis livres dentro de uma unidade comportamental. Assim a coordenação significa a existência de uma relação entre músculos e articulações. Esta relação, que tem sido pensada como uma estrutura prescrita pelo SNC no paradigma mecanicista, passou a ser interpretada como um processo dinâmico emergente, fruto da convergência de fatores internos e externos ao indivíduo. Uma vez que a coordenação implica em uma relação entre variáveis, não se pode estudá-la isolada do controle motor, pois este refere-se ao processo de determinação de valores para as variáveis na função especificada pela coordenação.

Desvendar o enigma da coordenação e do controle motor nos parece ser o grande passo no estabelecimento de uma teoria para o desenvolvimento motor em específico e, conseqüentemente, para o desenvolvimento humano, em geral. Isto porque não se pode pensar em desenvolvimento e evolução, princípios básicos da vida, de forma estática, sem movimento. O movimento humano é a mola propulsora de todos os processos internos e externos do indivíduo. É a partir dele e com ele que as relações com o meio ambiente irão ocorrer. Portanto, o movimento deve ser estudado tanto quanto um processo como um produto. Enquanto produto, o movimento é estudado tomando-se como referência variáveis tais como: objetivo a ser alcançado, precisão de movimento e tempo de aprendizagem; ou seja, variáveis vinculadas à performance motora. O estudo do movimento enquanto processo pode ser obtido a partir da análise das relações entre os segmentos corporais em diferentes condições ambientais.

2 - Problema

Neste estudo, o problema pesquisado foi a interação entre variáveis internas e externas ao ser humano. A preocupação foi entender como os diferentes sistemas se organizam ao longo do desenvolvimento humano e como estes se comportam diante de variações ambientais.

Considerando um sistema coordenativo durante o andar, composto por perna e coxa, foram levantadas as seguintes questões:

- (1) Quais os princípios que regem tal organização;
- (2) Existem diferenças nestas relações ao longo do desenvolvimento;
- (3) Existem diferenças nestas relações em diferentes situações ambientais e;
- (4) Quais os parâmetros ou variáveis que são limitantes nas mudanças observadas.

3 - Objetivo

Este trabalho teve por objetivo investigar a coordenação intra-membros durante o andar em diferentes faixas etárias em duas condições ambientais (o andar descalço e o andar diante de uma restrição externa).

4 - Hipótese

Para a verificação de diferenças na coordenação entre a perna e a coxa adotaram-se duas hipóteses:

1. A coordenação entre os segmentos perna e coxa durante o andar é semelhante, independentemente da idade e da condição ambiental
2. A coordenação entre os segmentos perna e coxa durante o andar varia em função da idade e da condição ambiental.

Capítulo II

ANÁLISE DO CONHECIMENTO PRODUZIDO EM DESENVOLVIMENTO MOTOR ATÉ A DÉCADA DE 80

1. O Processo versus o Produto

O movimento humano pode ser analisado em duas diferentes visões: a do produto e a do processo. Estas visões foram foco de estudos em diferentes períodos na história do desenvolvimento motor, mas existem muitas controvérsias em relação à caracterização de alguns estudos como sendo dirigidos ao processo. Segundo RARICK (1982) e CLARK & WHITALL, (1989a) existem muitos questionamentos sobre a verdadeira natureza dos estudos descritivos realizados até os anos 80.

Na busca de uma melhor metodologia para os estudos futuros, tem se discutido atualmente se os estudos descritivos fornecem explicações adequadas sobre o processo de desenvolvimento da coordenação e do controle dos movimentos. Esta preocupação é expressa por RARICK (1982) ao afirmar que nós podemos indagar se a pesquisa descritiva é, de fato, somente limitada para a descrição, ou se quando propriamente utilizada ela pode ser uma ferramenta efetiva, e em alguns instantes a única ferramenta que pode ser utilizada para promover uma informação na qual podem surgir explicações plausíveis.

A preocupação com o processo esteve presente em dois momentos na história do desenvolvimento motor: durante o enfoque maturacionista e nos estudos embasados pela Teoria do Processamento de Informações. Dentro do enfoque maturacionista os estudos de GESELL & THOMPSON (1929) e MCGRAW (1935) buscaram relacionar mudanças observadas no comportamento motor (forma do movimento) com mudanças internas ao indivíduo

(processos de maturação neural, seqüência do desenvolvimento morfogenético). Para estes pesquisadores o desenvolvimento motor é decorrência do desenvolvimento do sistema nervoso. Assim, mesmo se constituindo em estudos altamente descritivos, é amplamente aceito o valor das explicações apresentadas. Muitas delas são de grande valor nos dias de hoje. Podemos dizer que o processo “per si” não foi investigado, mas pôde ser deduzido ou inferido.

A questão processo versus produto torna-se clara ao entender que um aspecto está ligado ao outro, e que o processo só pode ser inferido ou deduzido através do produto. A validade dos estudos descritivos está diretamente relacionada ao quão apropriada é a experimentação. Segundo RARICK (1982) a experimentação controlada é, claramente, nossa mais efetiva ferramenta de pesquisa. Porém, o valor em promover explicações significativas irá depender dos *insights* e da capacidade do pesquisador.

Recentemente os estudos sobre o processo de coordenação e controle dos movimentos têm buscado explicações baseadas nas idéias de que os sistemas vivos são sistemas complexos e não-lineares. O movimento humano é analisado com base em teorias físicas da biologia (PATEE 1977; YATES, 1982) da termodinâmica (MOROWITZ, 1970; NICOLLS & PRIGOGINI, 1977) e da teoria dos sistemas complexos (HAKEN, 1983). Estas teorias analisam o movimento humano como um sistema de interações dinâmicas onde o produto final não pode ser explicado de forma determinística ou pré-programada.

Esta nova abordagem tem início nos anos 80 através da preocupação dos estudiosos em relacionar as influências do meio ambiente com os padrões de movimento executados (KUGLER; KELSO & TURVEY, 1982, THELEN; KELSO & FOGEL, 1987). Historicamente os estudos sobre o desenvolvimento motor têm se baseado ou na perspectiva maturacional ou no processamento de informações, onde ambas valorizam demasiadamente os processos internos do indivíduo. As influências ambientais são descritas somente como suporte para as mudanças e não como geradoras da progressão no desenvolvimento (ULRICH, 1989). Além de desprezar as influências externas no desenvolvimento motor, os estudos tradicionais têm dado ao SNC o papel primordial no controle das ações motoras. Dentro deste quadro teórico os estudos têm buscado caracterizar as mudanças em relação às idades, assumindo que estas são decorrentes, principalmente, de mudanças a nível do SNC (ROBERTON, 1978).

2 - Os Graus de Liberdade e Variabilidade relacionada ao contexto no Desenvolvimento Motor

A preocupação com o meio ambiente no estudo do movimento humano surgiu, principalmente, através das idéias propostas pelo psicólogo soviético BERNSTEIN (1967). Para ele, o estudo do movimento deve se caracterizar em termos de coordenação e controle, como um sistema complexo de ligações biocinemáticas. O foco de análise não deve simplesmente relacionar-se com a força muscular promovida pelo animal, mas deve, necessariamente, incluir inércia e forças reativas, ou seja, forças geradas pelo contato mecânico com a superfície do meio ambiente (TURVEY, FITCH & TULLER, 1982). A análise do controle e da coordenação dos movimentos realizada por BERNSTEIN centra-se em dois grandes problemas: o problema dos graus de liberdade e o problema da variabilidade relacionada ao contexto. O primeiro refere-se ao número de variáveis livres ou possibilidade de movimento (ex: músculos, articulações) que devem ser controlados pelo "executivo" conforme mostra a Figura 01.

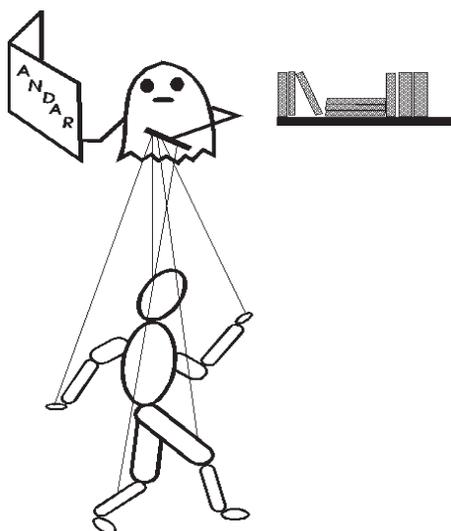


FIGURA 01 - O "Executivo Motor" representado de forma caricatural (adaptado de MICHAELS & CARELO, 1981)

O outro problema, conhecido como a variabilidade relacionada ao contexto está ligado à constante mudança do ambiente no qual a tarefa está sendo realizada. Esta variabilidade, segundo BERNSTEIN, decorre de três tipos de fatores: anatômicos, mecânicos e fisiológicos. A nível anatômico a variabilidade surge das relações entre músculos e articulações. Um exemplo desta variabilidade, apresentado na Figura 02 é a ação do músculo peitoral maior que pode produzir diferentes movimentos dependendo da posição do braço relativo ao plano horizontal do ombro (TURVEY et al. 1982; MICHAELS & CARELLO, 1981). Se o braço estiver lateralmente em uma posição abaixo do nível do ombro, a contração do músculo peitoral maior irá puxar o braço em direção ao eixo frontal do corpo (Figura 02a). Numa outra situação, quando o braço estiver acima do plano horizontal do ombro, a contração do mesmo músculo irá conduzir o braço em direção à cabeça (Figura 02b).

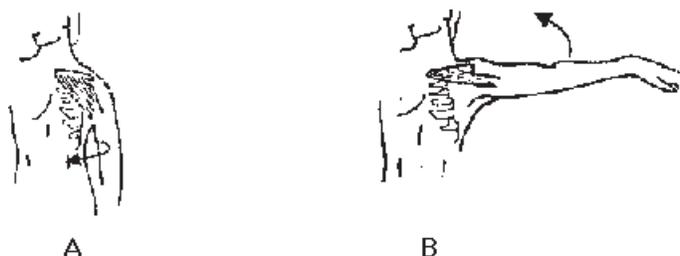


FIGURA 02 - Exemplo de variabilidade produzida pelo fator anatômico (adaptado de TURVEY, FITCH & TULLER, 1982)

A variabilidade decorrente de fatores mecânicos refere-se ao fato de que a contração de um determinado músculo pode resultar em movimentos diferentes. Portanto, sob uma condição com uma quantidade X de contração resulta num tipo de movimento que é diferente do movimento realizado com a mesma quantidade X de contração em situação diferente. O terceiro fator, a variabilidade fisiológica, também se relaciona ao fato de não se poder assumir uma relação fixa entre estados musculares e movimento. Tradicionalmente, acredita-se que os comandos corticais são transmitidos para os motoneurônios (localizados nos músculos) passando pela coluna vertebral. A variabilidade surge através da possibilidade da ativação dos motoneurônios por interneurônios contidos na coluna vertebral em decorrência de mudanças no contexto. Estas conexões entre interneurônios, que podem ser tanto horizontais quanto verticais, possibilitam uma maior integração e organização das informações necessárias para a realização dos movimentos.

As soluções ou as tentativas de solução destes dois problemas têm sido apresentadas por vários pesquisadores e em várias teorias. Algumas delas buscam a solução em um tipo de organização hierárquica centrada, fundamentalmente, no papel do SNC. Já outras, mais recentes, acreditam que a organização é decorrente da interação de vários sub-sistemas, onde cada um tem o seu próprio curso de desenvolvimento procedendo no seu próprio grau (THELEN; KELSO & SKALA, 1987 ,THELEN et al. 1987, ULRICH, 1989). Inicialmente, será feita uma análise das explicações desenvolvidas pelas teorias baseadas num estilo de organização hierárquica e em seguida, nos capítulos posteriores, será apresentado uma nova proposta de organização que vem sendo discutida recentemente na literatura.

Tanto abordagens tradicionais, como a maturacionista, quanto as contemporâneas, como o processamento de informações, assumem que o controle motor é comandado por um “executivo” presente dentro do indivíduo. É o famoso “pequeno homem dentro da cabeça” conhecido como homúnculo (Figura 03).

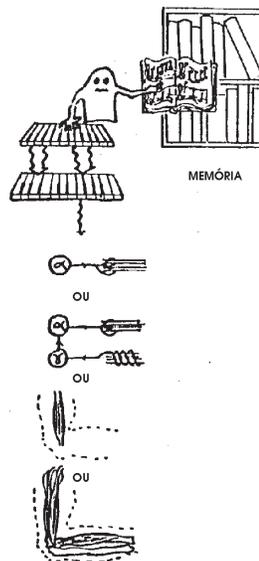


FIGURA 03 - Um sistema executivo, o homúnculo, seleciona da memória um plano e o implementa manipulando a faixa (adaptado de TURVEY, FITCH & TULLER, 1982)

Dentro desta idéia o homúnculo seleciona da memória um plano de movimento (analogamente a uma partitura musical) e executa o plano através da manipulação do córtex motor (análogo a um teclado de piano). Para organizar um plano é necessário primeiro a seleção das variáveis a serem manipuladas e em segundo lugar uma especificação do grau e *timing* desta manipulação (MICHAELS & CARELLO, 1981). Por exemplo, para o controle do braço em um movimento qualquer é necessário controlar as articulações do ombro, cotovelo, rádio-ulnar e do punho, compreendendo um total de 7 graus de liberdade. Isto sem considerar individualmente os músculos ou as unidades motoras que aumentariam enormemente os graus de liberdade. Os detalhes do plano podem ser expressos em termos de: (1) unidades motoras; (2) ligações alfa-gama; (3) músculos ou (4) articulações (TURVEY et al. 1982). Existem entre os teóricos do desenvolvimento e do controle motor, divergências sobre os detalhes individuais deste processo. A unidade de controle dos movimentos é um motoneurônio alfa-gama, um músculo ou um conjunto de músculos? Qual a forma do “executivo”? Qual o papel do feedback? O plano motor é referido nas teorias do controle motor como sendo um programa motor (Teoria de Circuito Fechado - proposta por ADAMS em 1971; Teoria de Circuito Aberto - KEELE, 1968) ou um programa motor generalizado (Teoria de Esquema proposta por SCHMIDT, 1975). É importante salientar que nesta visão a ação motora não se relaciona diretamente com o ambiente, e sim com uma representação deste promovida pela percepção.

Neste estilo de organização, centrado no papel do SNC onde os comandos são enviados hierarquicamente dos centros superiores até os músculos, o problema dos graus de liberdade é amenizado através da noção de programa motor. Assume-se que as variáveis livres não são controladas individualmente. Cada coletivo de músculo ou programa motor é tratado como um grau de liberdade. Isto pode ser entendido através do exemplo do controle de uma avião. Os ailerões, elevadores e leme são mecanicamente ligados num “coletivo”, tal que apenas um comando executado pelo piloto afeta todos os três mecanicamente.

Além da necessidade de um grande número de programas motores que deveriam ser armazenados em algum lugar no SNC dois outros problemas tornam este tipo de organização inadequada. Se o programa motor existe realmente, surge a dúvida se ele existe antes da execução do ato ou se ele surge ao mesmo tempo. No primeiro caso fica a questão de como as variáveis são articuladas anteriormente. No segundo, ressurgem o problema dos graus de liberdade, uma vez que será necessário prescrever o plano de ação.

O outro problema enfrentado por este tipo de organização é a existência de várias fontes de indeterminância entre o comando e a consequência (ação), referido anteriormente como sendo o problema da variabilidade relacionada ao contexto. Estes são os fatores anatômicos, mecânicos e fisiológicos. O programa motor, sendo algo fixo, onde um comando enviado para o músculo leva a uma consequência padronizada não proporciona uma explica-

ção adequada ao controle e à coordenação dos movimentos. No exemplo do avião, e de outras máquinas isto é correto, porém, em sistemas vivos, a variabilidade é condição necessária para a sobrevivência. Como um sistema aberto, os sistemas biológicos apresentam um fluxo contínuo de energia através de processos de captação, degradação e dissipação de energia (MOROWITZ, 1970; PRIGOGINE & NICOLS, 1971; KELSO; HOLT; RUBIN & KUGLER, 1981).

Um outro tipo de controle hierárquico que pode dar conta da plasticidade dos movimentos humanos tendo em vista a variabilidade relacionada ao contexto é o controle com retroalimentação ou feedback (ADAMS, 1971; SCHMIDT, 1975). Uma organização com feedback parece ter a vantagem de ser facilmente adaptada às mudanças decorrentes das diferentes situações ambientais porque o feedback conduz informações (músculos, articulações, sistema de orientação) sobre o que as variáveis têm feito e, portanto, tornando possível ajustes no plano de ação. Neste tipo de controle, o ato ou alguma parte dele serve como um valor de referência (a ser comparado) com o qual o erro é determinado. Assim, a informação sobre o erro irá solucionar o problema da variabilidade relacionada ao contexto, porém reintroduzirá o problema dos graus de liberdade. Em primeiro lugar porque a informação sobre o erro necessita ser mais específica do que a informação da simples existência do erro ou sua direção. Ela deve informar sobre quais elementos devem ser fixados e/ou em que intensidade fixá-los. Em segundo lugar, um mesmo erro pode ser causado por um grande número de combinações dos elementos “fazendo a coisa errada” em vários graus (MICHAELS & CARELLO, 1981).

A dificuldade em explicar o controle motor baseado num estilo de organização hierárquico deve-se ao fato de que ao assumir uma posição dualista entre o homem e o meio ambiente, as mudanças ambientais tornam-se o grande problema (CLARK & WHITALL, 1989b). A necessidade de um maior enfoque sobre o meio ambiente (críticas aos estudos de laboratórios sem validade ecológica) (DAVIDS, 1988) aliada às idéias sobre a percepção direta desenvolvidas por GIBSON (1966, 1979) culmina no surgimento de um novo paradigma no estudo da coordenação e do controle dos movimentos. Este busca entender a coordenação e o controle dos movimentos dentro do seu contexto ambiental, ou seja, parte-se do pressuposto que existe uma compatibilidade entre indivíduo e o meio no qual ele se encontra. Este novo paradigma é conhecido como Paradigma Ecológico (FITCH & TURVEY, 1978; GIBSON, 1979).

No capítulo a seguir serão apresentados os pressupostos básicos do Paradigma Ecológico enfocando suas consequências no estudo sobre o movimento humano, especificamente sobre o desenvolvimento da coordenação e do controle motor.

Capítulo III

A MUDANÇA DE PARADIGMA NO ESTUDO DO MOVIMENTO HUMANO

1 - A Crítica ao Paradigma Mecanicista

Com base na perspectiva Kuniana (KUHN, 1989) de que a evolução da ciência ocorre em ciclos marcados por períodos de crise e revolução de paradigma, pretende-se analisar a transição paradigmática na área do comportamento motor humano. Esta transição pode ser caracterizada pela passagem de um enfoque mecanicista e dualista, separando o movimento humano das influências ambientais, expresso no conceito de percepção, característicos nas teorias tradicionais da aprendizagem e do controle motor (Paradigma do Processamento de Informação), para um enfoque sistêmico e dinâmico, onde todas as variáveis (restrições) do organismo, do ambiente e da tarefa são determinantes na realização dos movimentos.

Muitas críticas têm sido feitas ao paradigma mecanicista em diversas áreas (desenvolvimento social - BRONFENBRENER, 1977; educação - ILLICH, 1976; física - IBERAL, 1977, 1978; HAKEN, 1983; YATES, 1982; psicologia - GIBSON, 1966,1979). No que se refere ao desenvolvimento humano os estudos têm buscado analisá-lo dentro de um nível mais abrangente onde o contexto ambiental passa a ser uma variável importante. O papel do meio ambiente é bastante valorizado numa recente tendência da psicologia, denominada de psicologia ambiental (SOMMER, 1974; BURILLO & ARAGONÉS, 1986). Para os adeptos desta tendência o estudo do meio ambiente deve estar relacionado aos seguintes aspectos: (1) estudar a relação homem-ambiente em seu aspecto dinâmico; (2) entender o meio físico como um fenômeno físico e social; (3) estudar o meio ambiente em uma perspectiva sistêmica;

e (4) que as variedades físicas do meio ambiente não devem esgotar as variações dos comportamentos, pois a percepção e a avaliação do meio ambiente dão-se a partir das suas características físicas sem separá-las da evolução afetiva,estética, normativa e do meio social.

Um grande passo na busca de uma psicologia ambiental foi dado através das idéias desenvolvidas por GIBSON nas décadas de 50 e 60, mas só recentemente ganharam o seu devido valor. GIBSON reformulou a noção tradicional de percepção característica de uma visão dualista entre homem e ambiente. Para ele o perceber é um processo no sistema animal-ambiente e não só no animal. A percepção deve ser entendida simplesmente como a detecção da informação. Por isso a teoria sobre a percepção proposta por ele é conhecida como Teoria da Percepção Direta (GIBSON, 1966, 1979).

2 - Repensando o Conceito de Percepção

As teorias perceptivas tradicionais ditas indiretas têm como pressuposto básico, a afirmação de que os sentidos são providos de descrições empobrecidas do mundo (MICHAELS & CARELLO, 1981). Isto quer dizer que os estímulos vindos do meio ambiente não fornecem informações seguras ou corretas sobre os objetos e eventos. A percepção por outro lado é tida como sendo muito rica, elaborada e segura. No SNC as informações são processadas através de operações cognitivas passando a ter um real significado para o indivíduo. Esta diferenciação entre sensação e percepção, tendo como ponto de ligação o SNC, evidencia uma concepção dualista entre homem e meio ambiente, citado anteriormente. Segundo FITCH & TURVEY (1978) o dualismo animal-ambiente é o coração de uma série de teorias da percepção que falam da sucessão de causas e efeitos iniciando no mundo e terminando em um centro de percepção (percept). Desta forma o animal como percebedor é separado do seu meio ambiente. Baseado nesta concepção de percepção foi proposta a Teoria de Processamento de Informação (MARTENIUK, 1976) que tenta explicar os processos internos presentes durante a elaboração ou o “embelezamento” dos estímulos. Dentro desta visão de processos cognitivos construtivos, o tempo e o espaço são entendidos como absolutos, onde , a noção do presente requer um quadro de referência calcado sobre o passado. Assim a percepção necessita do contexto provido pelas experiências anteriores armazenadas na memória (FITTS & POSNER, 1967).

Nesta concepção dualista o ambiente é relegado ao segundo plano, uma vez que os estímulos ambientais só se constituem em informação quando processados pelo homem. As conseqüências desta concepção são: (1) o homem e o mundo são tratados como entidades

distintas; (2) atribui-se um extremo valor ao SNC; e (3) torna-se difícil entender as influências ambientais nos comportamentos humanos. Especificamente nos estudos sobre a coordenação e o controle dos movimentos o enfoque no SNC caracteriza um estilo de organização hierárquica, levando consigo a idéia do programa motor e, conseqüentemente, os vários problemas tais como armazenagem e movimento novo. Contrastando com as concepções tradicionais de percepção a Teoria da Percepção Direta trás um novo tratamento ao conceito de estímulo. Segundo GIBSON (1966) o estímulo é informação e esta informação especifica um ambiente para um animal. A informação já contém padrões de alta ordem sobre o mundo (energia estruturada) que são necessários para o conhecimento e a ação do indivíduo. Com isto os processos construtivos e interativos não são necessários. Basta simplesmente detectar o evento. Na visão de percepção direta o que se percebe são os eventos e não os estímulos isolados no espaço e no tempo. Tempo e espaço são analisados juntos, onde o evento é percebido através da detecção da continuidade entre as partes e não da adição delas, como mostra a Figura 04.

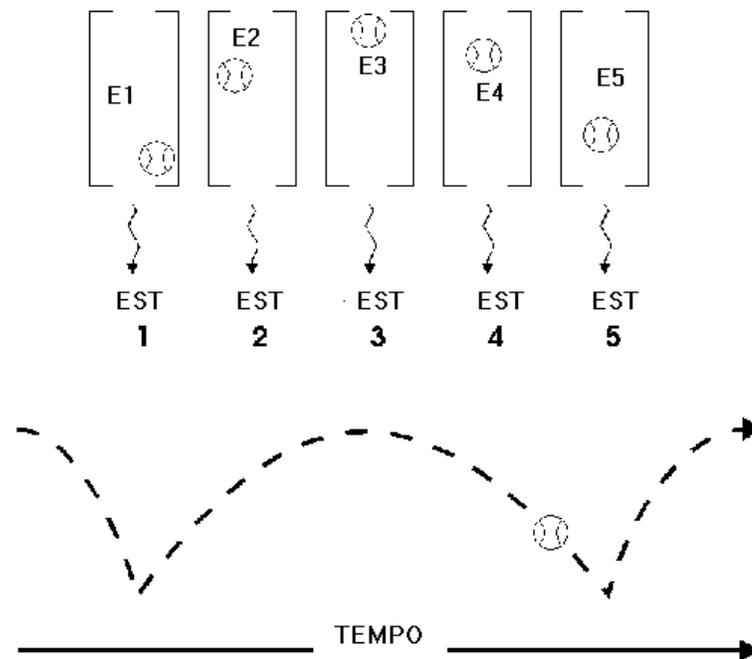


FIGURA 04 - (a) A abordagem tradicional para o evento (E) e estímulo (EST). O evento é decomposto dentro de uma sucessão de momentos, cada um descrito por seu próprio estímulo. Para o evento ser percebido, a sucessão de estímulos deve ser organizada de alguma forma, de modo a reconstituir o evento dinâmico; (b) A abordagem dinâmica onde a informação é contínua, coextensiva com o evento. O percebedor deve apenas detectar o evento, como é especificado pela informação (adaptado de MICHAELS & CARELLO, 1981).

As idéias sobre a percepção direta têm como pressuposto uma nova concepção no que se refere a relação entre o homem e o meio ambiente. Expressa através da afirmação de que o animal e o seu meio ambiente não são logicamente separáveis (um nicho ecológico implica um animal e uma espécie implica em ecônicho) GIBSON (1979) rejeita o dualismo, propondo o conceito de sinergia homem-ambiente. A relação mútua entre as partes conduz à noção de que a estrutura e o funcionamento de um animal afetam o ambiente, e as particularidades do nicho afetam a estrutura e as atividades deste animal.

3 - O Paradigma Ecológico no Estudo do Movimento Humano

A preocupação com a participação ativa do meio ambiente no comportamento dos animais e especificamente dos seres humanos torna-se cada vez maior à medida em que as propostas teóricas sobre o assunto crescem na sua coerência interna. Sustentado pelas idéias sobre a percepção direta e de sinergia homem-ambiente, toma corpo no final dos anos 70 e início dos anos 80 o Paradigma Ecológico. O pressuposto do paradigma ecológico é que uma espécie e seu particular ambiente co-existem em virtude do fato de que eles são co-designados e, portanto, mutuamente compatíveis (FITCH & TURVEY, 1978). Com isto, para se estudar qualquer um dos constituintes do sistema deve-se basear em três aspectos: (1) uma descrição do ambiente que é relacionada ao animal; (2) uma descrição do animal relacionada ao seu meio ambiente; e (3) uma descrição das relações de compatibilidade entre ambos. No primeiro caso tal descrição é promovida através do conceito de arranjo óptico que fornece informações sobre a disposição do ambiente em escala corporal. A informação em escala corporal pode ser exemplificada na situação onde um indivíduo se aproxima de um desnível na superfície (Figura 05).

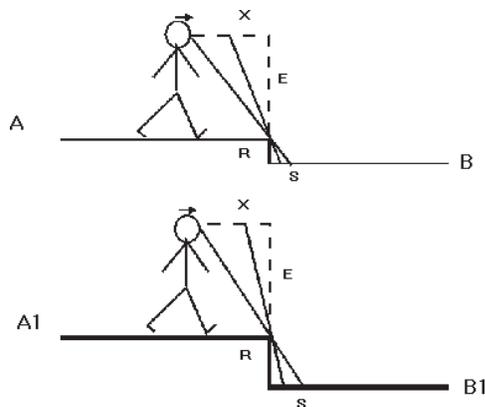


FIGURA 05 - Ao aproximar-se de um degrau E a razão de $(dx/dt)/(ds/dt)$ depende da superfície R relativa à altura dos olhos E (adaptado de TURVEY & KUGLER, 1984)

TURVEY & KUGLER (1984) mostraram que a informação visual sobre a descontinuidade em uma superfície é obtida através de uma lei geral no padrão do fluxo ótico (expansão e recolhimento) e que esta é proporcional à escala corporal do indivíduo. Analisando a Figura 05 pode-se observar que a separação entre as duas superfícies (A e B ; A1 e B1) é representada por um valor (R) que pode ser expresso em unidades relativas a altura do ponto de observação (E) e a proporção entre a razão do deslocamento do ponto de observação (dx/dt) e a razão do ganho da estrutura (S) (ds/dt). Através destas relações tem-se de forma direta, quantificada em unidades proporcionais ao indivíduo, a informação sobre a separação entre as duas superfícies e principalmente sobre o movimento que deve ser realizado: uma passada normal, uma passada mais ampla ou mesmo um salto. A descrição do animal relacionada ao seu meio ambiente é dada em termos de estruturas coordenativas, que representam a organização entre os músculos e articulações, mais entendidos como uma única unidade funcional. Segundo KUGLER et al. (1982) as estruturas coordenativas são unidades funcionais que reduzem os graus de liberdade dentro do Sistema Nervoso Central. Tais unidades ou coletivos musculares são organizadas para funcionarem de acordo com as demandas das tarefas. Recentemente o conceito de estruturas coordenativas tem sido utilizado nos movimentos locomotores (CLARK & WHITALL, 1989b; WHITALL, 1989; FORRESTER, PHILLIPS & CLARK, in press).

Por último, a descrição das compatibilidades entre o animal e o ambiente é expressa através do conceito de "affordance" (oferta/encaixe). Segundo GIBSON (1979) "affordance" são atos ou comportamentos permitidos por objetos, lugares ou eventos. É o que o ambiente oferece ao animal, seja bom ou mal.

Para melhor entender o "affordance", FITCH & TURVEY (1978) utilizam a idéia de nicho ambiental, dizendo que este é caracterizado como um grupo de "affordances". O ambiente natural oferece muitos problemas onde os vários tipos e espécies de animais têm os seus diferentes caminhos de vida. Assim o nicho implica em uma espécie de animal, e um animal implica em um tipo de nicho. Desta forma, o conceito de "affordance" pode ser expresso como sendo uma específica combinação das propriedades das substâncias e superfícies do ambiente tomadas com referência ao animal, conforme explicado na Figura 06.

É proposto que propriedades das substâncias e superfícies entram dentro de combinações invariantes para conter um alto nível de descrição do ambiente, isto é uma distribuição do ambiente relevante para a capacidade de atividade de um animal ou espécies de animais (FITCH & TURVEY, 1978). Assim uma certa combinação de, por exemplo, um tipo de chão (solo) pode permitir a locomoção para uma espécie e não para outras. Esquemáticamente esta noção é apresentada por TURVEY, SHAW & MACE (1978) da seguinte

forma: uma situação ou evento X permite uma atividade Y para um animal Z, se e somente se X e Z são mutuamente compatíveis.

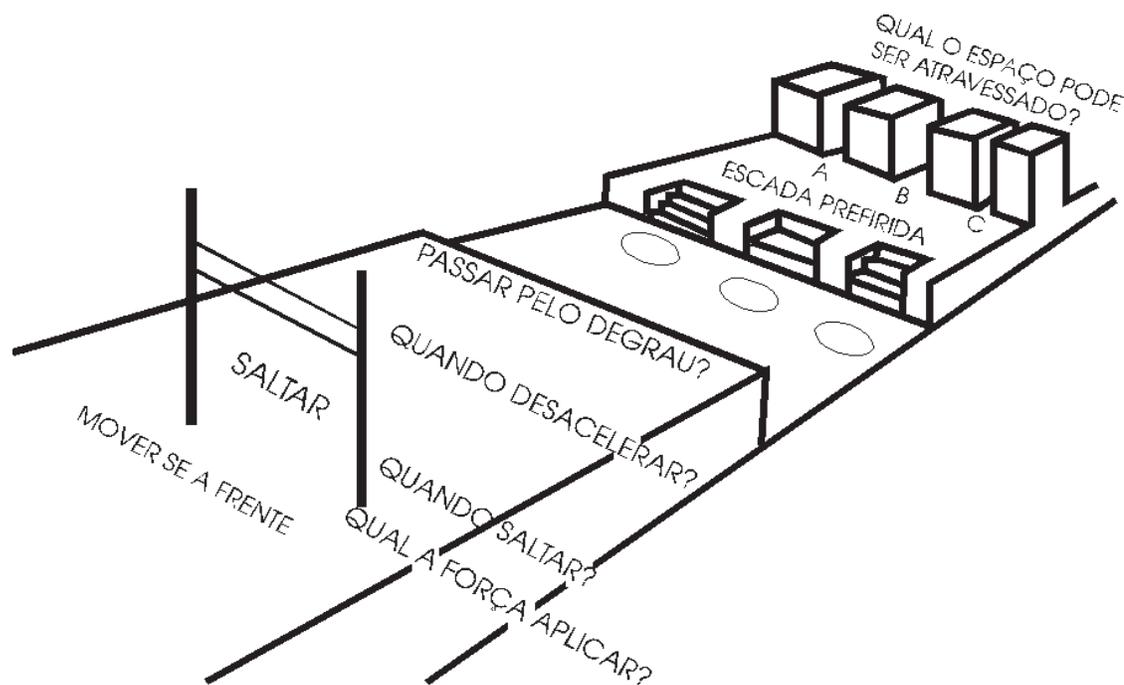


FIGURA 06 - Exemplo de problemas gerados pelas características das superfícies (adaptado de TURVEY & KUGLER, 1984)

A importante contribuição do conceito de “affordance” ao estudo do comportamento humano é que ao expressar uma relação entre o animal e seu meio ambiente e a mútua compatibilidade entre eles, reforça a crítica ao dualismo homem/ambiente e mente/corpo. O “affordance” não é uma propriedade do ambiente, nem do animal, ele faz parte do ecossistema. Logo, dizer que as informações do meio ambiente devem ser processadas para terem um real significado para o homem, enfatiza apenas o papel de uma das partes do ecossistema, não sendo então uma explicação adequada. Para a abordagem ecológica não existem dados insignificantes que devem ser processados para se tornarem informações significantes. Para TURVEY (1977) a informação significativa é diretamente detectada (não construída ou inferida, ou seja, não medida epistemicamente) por um animal ativo e, apropriadamente, sintonizado. A sintonia ou a sensibilidade do animal para os “affordances” é trabalhada pela evolução das espécies e pelas experiências individuais do animal. Os estudos sobre o desenvolvimento do controle da coordenação motora buscam, a partir desta noção de “affordance”, as relações entre o tipo de tarefa e o padrão de movimento apresentado (NEWELL, SCULLY, TENENBAUM & HADIMAN, 1989; PALMER, 1989; CONNOLY & DALGLEISH, 1989). Com isto torna-se possível uma análise mais profunda sobre quais fatores

são variantes e quais são invariantes na organização dos movimentos diante das diferentes situações ambientais. Um estudo sobre o desenvolvimento da preensão realizado por NEWELL et al. (1989) mostra a importância de relacionar o tipo de tarefa com o movimento ou o padrão de movimento executado. Utilizando cubos de diferentes tamanhos, onde pré-escolares e adultos tinham que realizar uma tarefa de agarrar, demonstrou-se que existe uma forte relação entre o tamanho da mão e o tamanho do objeto. Com isto o autor sugere que o desenvolvimento da preensão é um resultado das restrições impostas sobre a ação.

As três descrições (arranjo ótico , estruturas coordenativas e "affordance") analisadas conjuntamente nos fornecem melhor compreensão do que se propõe o paradigma ecológico no estudo do comportamento humano à medida que propiciaram o surgimento de uma nova visão sobre o controle e a coordenação dos movimentos humanos. Com base nos pressupostos do paradigma ecológico, tem sido observado a necessidade de entender o desenvolvimento da coordenação e do controle dos movimentos de uma forma mais abrangente. Atualmente os estudos na área do desenvolvimento motor e da aprendizagem motora têm focado todas as "restrições" presentes durante a execução dos movimentos. As restrições são entendidas conforme NEWELL (1986), como os limites ou características que limitam o movimento, podendo ser oriundas do ambiente, da tarefa ou mesmo do indivíduo que realiza o movimento. Assim as restrições eliminam algumas possibilidades de resposta de modo que a ação executada reflète a tendência a uma eficiente e eficaz auto-organização do sistema biológico.

TEORIA DOS SISTEMAS DINÂMICOS APLICADA AO ESTUDO DO MOVIMENTO HUMANO

1. Introdução

A partir dos conceitos ou pressupostos do paradigma ecológico, os estudiosos do movimento humano, em específico do desenvolvimento da coordenação e do controle motor se agruparam em duas grandes abordagens dentro da idéia de sistemas em desenvolvimento. Uma delas, preocupada com as questões relativas a percepção e ação e está baseada nas idéias de GIBSON (1966,1979) e nos conceitos de affordance. Uma outra abordagem voltou-se ao estudo da organização esquelético-muscular a partir do conceito de **estrutura coordenativa**, ou seja, a preocupação com questões morfológicas e a emergência da forma do movimento.

A abordagem da percepção é caracterizada, segundo VON HOFSTEN (1989), pelas questões relacionadas a evolução de problemas da ação que são devidos: (1) ao desenvolvimento ou ao acesso a uma “ferramenta” correta para a ação e; (2) ao controle desta “ferramenta” para obter ou atingir o objetivo da ação.

Para que exista um controle eficaz, todo o sistema perceptivo é envolvido. Entendendo o sistema perceptivo dentro do conceito de percepção direta expressado por GIBSON (1979) a abordagem percepção/ação se caracteriza por uma visão dinâmica na medida em que o "design" (estrutura/forma) do corpo de um animal, seu sistema perceptivo, seu sistema efetor e seu sistema nervoso têm sido, ao longo de sua evolução, desenvolvidos sob medida um para o outro no intuito de uma funcionalidade ótima. Muitos estudos têm sido

realizados dentro desta abordagem (SAVELSBERG, WHITING & BOOTSMAN, 1991; BARACIKOYA & TURVEY, 1991);

A abordagem preocupada com as questões sobre as transições no desenvolvimento da organização esquelético-muscular surgiu a partir das idéias de BERNSTEIN (1967) e dos princípios de auto organização, sinergia, estrutura dissipativa, sistemas não lineares emprestados de teorias da Física e da Biologia. Através dos problemas levantados por BERNSTEIN (1967), com os graus de liberdade e a variabilidade relacionada ao contexto, buscou-se uma nova forma de pensar a coordenação e o controle dos movimentos. Quando BERNSTEIN afirma que os movimentos não são exclusivamente um resultado de forças musculares, mas também de forças não musculares, ou seja, ambientais, pode se dizer que tem início o germinar de uma semente que representou a abordagem dos sistemas dinâmicos e representa, atualmente, a Teoria dos Sistemas Dinâmicos no estudo do controle motor e do desenvolvimento motor.

O referencial teórico para a Teoria dos Sistemas Dinâmicos no estudo da coordenação e do controle motor é dado pelas teorias físicas da biologia (YATES, 1982), pela Termodinâmica de não-equilíbrio (MOROWITZ, 1970) e pela Teoria dos Sistemas Complexos (HAKEN, 1983). A característica principal destas teorias é que sob certas condições um sistema complexo não-linear irá se auto-organizar para produzir um padrão estável com poucos graus de liberdade em relação aos muitos que ele possui potencialmente. Como o sistema apresenta um ciclo contínuo (entrada e saída de matéria/energia) os parâmetros são graduados/escalados (scaled up) e o estado estável é perdido, surgindo uma situação caótica até que o sistema encontre uma nova estabilidade.

Nos sistemas biológicos, a graduação dos parâmetros pode ocorrer em diferentes caminhos (VON HOFSTEN, 1989). Um deles é através da injeção de mais energia no sistema. Por exemplo, a passagem do andar para o correr é obtida através do aumento na velocidade das passadas. Uma outra forma de graduar o sistema é através do crescimento físico. Os estudos sobre o desaparecimento do reflexo da marcha realizados por THELEN et al. (1987) demonstraram que uma nova organização surge em função de mudanças nos parâmetros do sistema.

A característica principal da Teoria dos Sistemas Dinâmicos aplicada ao comportamento motor é que este é visto como fruto da interação de vários sub-sistemas que emergem de propriedades auto organizadas de sistemas dinâmicos (ULRICH, 1989). Esta perspectiva enfatiza a contribuição dinâmica e multidimensional do estado maturacional do indivíduo (neurológico, biomecânico, psicológico, etc), do contexto e da tarefa.

Segundo THELEN (1989) a noção de um complexo sistema dinâmico decorre da idéia de que o movimento é o “caminho final comum” para muitos sub-sistemas, atuando juntos na execução de uma tarefa. Uma vez que muitos sub-sistemas contribuem para um determinado comportamento, um ou mais sub-sistemas podem ser um fator limitante para o evento como um todo.

A grande contribuição que a Teoria dos Sistemas Dinâmicos promove ao estudo do movimento humano é, antes de tudo, o de assumir uma nova postura na relação homem ambiente. Desta forma a organização e o controle dos movimentos não são entendidos como pregam as abordagens centralistas e/ou mentalistas. Para BERNSTEIN (1967) o controle dos movimentos é entalhado pelas informações ambientais que são úteis para um animal ou uma espécie de animais, e que a organização dos movimentos deve ser buscada em um sistema maior que inclua tanto o homem quanto o seu contexto ambiental. Para compor este sistema maior TURVEY et al. (1978) citam: o sistema perceptivo, o sistema de ação e o nicho ambiental.

2. O Processo Dinâmico e as Estruturas Coordenativas

A unidade fundamental em nossa abordagem é a ESTRUTURA COORDENATIVA . Conforme apresentado no capítulo referente ao paradigma ecológico, a estrutura coordenativa representa uma forma de descrição do animal relacionada ao seu meio ambiente. Isto significa que tal unidade expressa a organização entre o sistema perceptivo, o sistema de ação (aspectos do animal) e o nicho ambiental (aspecto do ambiente). A definição inicial de estrutura coordenativa foi elaborada por EASTON (1972). Para ele a estrutura coordenativa deveria ser entendida como sinônimo de reflexo. EASTON (1972) afirmou ser possível inferir que a coordenação motora é uma extensão dos reflexos. Tal afirmação recai sobre o argumento da economia dizendo que o Sistema Nervoso Central é designado para responder automaticamente para certos estímulos com certos reflexos básicos ou “estruturas coordenativas”. Pode se afirmar que as idéias de EASTON estavam permeadas por uma visão de funcionamento dinâmico, preocupadas com a plasticidade necessária na organização das ações motoras.

Posteriormente FITCH & TURVEY (1978) redefiniram o conceito de estrutura coordenativa, passando então a ser entendida como a relação entre um grupo de músculos em uma dada articulação atuando como uma simples unidade funcional. A estrutura coordenativa passa então a representar uma descrição alternativa do processo dinâmico, onde o controle de um músculo individualmente ou o controle das unidades motoras, não é gerado por comandos especificados executivamente para o músculo de maneira individual, mas através de uma organização a nível medular.

A visualização de uma estrutura coordenativa e sua organização pode ser feita através da comparação dos movimentos de um atirador habilidoso em relação a um aprendiz, estudado por ARUTYUNYAN, GURFINKEL & MIRSKY (1969). Para a execução perfeita do tiro, as articulações do ombro, cotovelo, rádio ulnar e punho, juntamente com os seus respectivos músculos devem formar uma unidade funcional. Uma das diferenças entre o atirador habilidoso e o aprendiz é a menor oscilação nos movimentos do primeiro. O atirador habilidoso encontra uma maneira de “freiar” os músculos restringindo suas liberdades. Uma outra diferença é que para o atirador habilidoso, uma mudança em uma articulação é compensada por uma mudança em outra articulação. Isto não ocorre com o aprendiz, onde as articulações são relativamente independentes uma da outra.

Um outro exemplo de estrutura coordenativa é a coordenação entre as pernas nos movimentos locomotores (coordenação inter-membros e coordenação intra-membros). Nestes movimentos existe uma relação invariante, uma organização entre músculos e articulações, que permite o deslocamento dentro de um certo padrão (andar, correr, saltar, etc). Estas estruturas coordenativas serão melhor discutidas no próximo capítulo.

As explicações fornecidas pelo conceito de estrutura coordenativa, diferem das que adotam como premissa a existência de representações sobre a localização espacial e temporal dos movimentos, contidos no programa motor. Buscam-se explicações baseadas nas relações dinâmicas entre os músculos e articulações. Logo, a ordem e a regularidade dos movimentos não são devidas a uma descrição a priori, e sim através da dissipação dos graus de liberdade que surgem como um fato a posteriori, uma propriedade emergente, que é uma consequência do comportamento dinâmico do sistema.

A estrutura coordenativa, como um sistema dissipativo, sendo utilizada para explicar o comportamento motor humano, é coerente com o fato de que os seres vivos são sistemas abertos caracterizados por um fluxo contínuo de energia. Esta característica cíclica, de não-linearidade e oscilatória dos sistemas abertos levou os pesquisadores a estudarem a estrutura coordenativa através de modelos físicos.

Os primeiros estudos objetivando analisar a estrutura coordenativa como um sistema oscilatório, foram realizados em movimentos de posicionamento espacial (ASATRYAN & FELD'MAN, 1965; KELSO, 1977).

KELSO (1977) instruiu os sujeitos para moverem o dedo indicador (partindo da total extensão, ou seja, formando um ângulo de 180 graus com a palma da mão) para uma distância qualquer aproximando-o da palma da mão. Os dedos eram levados passivamente para a posição inicial e era solicitado aos sujeitos reproduzirem a posição final ou a amplitude do movimento inicialmente escolhido. Se por exemplo, o sujeito movia o seu dedo para um

ângulo de 130 graus o movimento podia ser descrito como tendo uma amplitude de 50 graus. Antes que o sujeito reproduzisse o movimento, o experimentador modificava sua posição inicial sem que este tivesse qualquer informação sobre a mudança. Para isto tanto a visão quanto as informações cinestésicas do punho eram bloqueadas. Os resultados deste experimento mostraram que a reprodução da localização (posição final) foi superior a reprodução da distância (amplitude) e que a precisão da localização não foi afetada pela remoção das informações proprioceptivas ao passo que a precisão da distância foi grandemente afetada.

Em um estudo ASATRYAN & FEL'DMAN (1965) utilizaram uma equação de um sistema linear de mola $F = -S (l - l_0)$ onde l_0 é o comprimento de repouso, l é o comprimento observado, S é o parâmetro de rigidez da mola e F é a força desenvolvida pela mola. Inicialmente, o sujeito estabelecia um ângulo na articulação do cotovelo e com um sistema de correias e pesos deveria manter algum l_0 , tal que a diferença entre l e l_0 fosse então multiplicada por S e equilibrasse a força ($-F$) produzida pelo sistema de correias. Em determinado momento era retirado o peso abruptamente de tal sorte que o sujeito deveria mover-se para um novo ponto l tal que a diferença equilibrasse a nova força ($-F$). Isto evidenciaria uma organização igual ao sistema massa mola. Posteriores comprovações foram apresentadas por FEL'DMAN (1966 a,b) mostrando que apesar do movimento do cotovelo, para uma posição pré-estabelecida, ser afetada pelas condições iniciais, a posição de equilíbrio não sofria alteração e que esta era determinada somente pelos parâmetros do sistema.

Segundo KELSO et al. (1981) os estudos baseados no modelo massa-mola ofereceram fortes evidências sobre a aplicabilidade de modelos físicos para explicar a organização dos movimentos humanos. Porém, afirma que o modelo mais adequado é o do ciclo limite. Isto porque é o único que apresenta as características de não-linearidade e autoorganização, presentes nos sistemas biológicos.

Os sistemas biológicos por serem sistemas abertos, a dissipação de energia é uma característica fundamental. Isto conduz ao conceito de não-linearidade na medida em que a energia flui de fontes de alto potencial para as perdas termodinâmicas locais (KELSO et al. 1981). A transferência de energia de uma fonte de alto potencial para uma saída de baixo potencial confere também a característica de um movimento cíclico (YATES, 1982). Para a manutenção do ciclo de um sistema torna-se necessário uma contínua injeção de energia. Isto fica fácil de entender a nível macro pela necessidade que o ser vivo possui de se alimentar diariamente. A alimentação nada mais é do que o fornecimento energético ao sistema.

A auto-organização em sistemas biológicos surge quando os processos cíclicos tornam-se mutuamente acoplados. Atualmente a auto-organização ou a estabilidade em

sistemas biológicos é estudada pela Física Homeocinética em oposição as idéias de Homeostase (CANNON, 1929) como princípio geral de regulação dos movimentos biológicos. A Homeocinética entende os mecanismos de regulação biológica e a regularidade em geral como um equilíbrio dinâmico através de processos que são gerados na própria regulação, “osciladores”, onde os valores que são regulados surgem como uma consequência do grande espectro dos osciladores autônomos. A auto-organização explicada através da Física Homeocinética reside na existência de ciclos limite onde o sistema oscila entre valores mínimos e máximos bem definidos exibindo comportamentos periódicos estáveis independente de pequenas perturbações. Graficamente, o ciclo limite pode ser descrito como uma órbita fechada na qual todas as trajetórias próximas são atraídas. O gráfico de um sistema ciclo limite é denominado de “retrato plano de fase”. Este gráfico é traçado através da representação de duas dimensões do sistema (posição e velocidade) em tempos sucessivos. Um exemplo de retrato plano de fase é apresentado por CLARK, TRULY & PHILLIPS (1990a) para a coxa e perna durante o andar de sujeitos adultos na Figura 07.

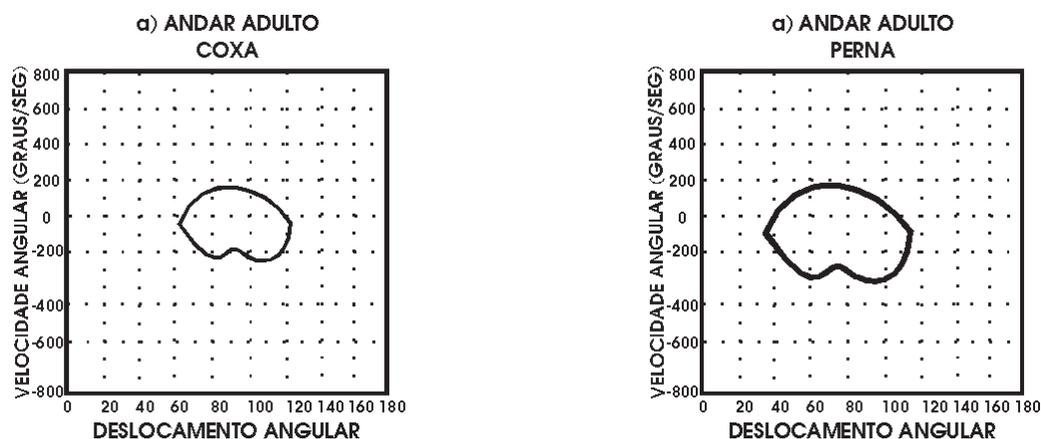


FIGURA 07 - (a) O retrato da fase do movimento da coxa durante o ciclo completo de uma perna no andar em adultos; (b) O retrato de fase do movimento da perna para o mesmo ciclo do andar (adaptado de CLARK, TRULY & PHILLIPS, 1990a)

3. Osciladores Não-Lineares de Ciclo-Limite

É proposto que o estudo da organização em sistemas biológicos, em específico a organização motora, deva ser realizado com base em sistemas ou osciladores acoplados não-lineares de ciclo-limite. Os osciladores não-lineares de ciclo-limite são sistemas que vibram, mas apresentam um ciclo preferido ou uma órbita “atrativa” para onde as trajetórias tendem a convergir. Estes osciladores apresentam três propriedades: bloqueio de fase, treinamento mútuo e estabilidade estrutural. O bloqueio de fase refere-se à habilidade do sistema para funcionar em certos tipos de fase ou estados de fase. No experimento com os dedos indicadores, realizado por KELSO et al. (1981) verificou-se a existência de dois estados de fase: em fase (simultâneo) e fora de fase (alternado) para frequências baixas. Observou-se ainda que estes estados de fase são mantidos mesmo sob pequenas oscilações ou interferências.

Nos movimentos locomotores pode-se facilmente observar os estados de fase inter-membros (entre pernas e braços; entre as duas pernas) e intra-membros (entre coxa e perna). Na coordenação inter- e intra-membros o bloqueio de fase implica na existência de uma relação específica e estável nas fases de tempo e de amplitude (WHITALL, 1989).

Em relação a segunda propriedade KELSO et al. (1981) afirma que os termos treinamento mútuo e sincronização são freqüentemente utilizados como sinônimos. Aqui são entendidos de formas diferentes. A sincronização é o estado onde intervalo e fase dos osciladores acoplados não-lineares de ciclo-limite estão exatamente emparelhados, numa mesma direção. Já o treinamento mútuo, refere-se ao emparelhamento dos intervalos, podendo um oscilador adiantar ou atrasar em relação ao outro. No treinamento mútuo pode ocorrer uma sincronização.

Portanto, o treinamento mútuo refere-se à relação entre dois ou mais osciladores acoplados de modo que o período (ou a frequência inversa) de cada um irá igualar (ou apresentar uma razão sub-harmônica) com o outro oscilador, desconsiderando o período natural de cada um. A razão sub-harmônica ou treinamento sub-harmônico ocorre quanto a frequência de um oscilador é um múltiplo inteiro do outro oscilador a ser acoplado. O treinamento mútuo é uma propriedade emergente dos sistemas oscilatórios não-lineares, uma vez que ele representa exatamente o processo de auto organização no sentido de que uma coleção de osciladores mutuamente treinados funcionam como uma simples unidade funcional. Nesta propriedade fica evidente a necessidade de se pensar a estrutura coordenativa como um conjunto de osciladores acoplados não-lineares de ciclo-limite.

A terceira propriedade, a estabilidade estrutural, prediz que mesmo na presença de pequenas perturbações o sistema se mantém dentro de uma certa ordem (amplitude e

freqüência) ou uma trajetória orbital estável. Caso a perturbação seja grande, os osciladores serão atraídos para uma nova e diferente relação de fase. Como exemplo, pode se observar a estabilidade estrutural nos estudos com os movimentos dos dedos indicadores (KELSO et.al., 1981) ; na passagem do andar para o correr (CLARK et al. 1990a); do andar para o *skipping* - combinação de um passo e um salto - (CLARK & WHITALL, 1989b); do correr para o galopar (WHITALL, 1989). No primeiro observou-se que para movimentos com freqüências baixas existem duas relações de fase entre os dedos das mãos. Pode-se realizar os movimentos sincronizados ou fora de fase. Para freqüências mais altas os movimentos alternados pularam para uma nova relação de fase tornando-se sincronizados. Isto mostra que em freqüências altas a relação de fase mais estável é com os movimentos sincronizados.

No caso do andar para o correr, o aumento da velocidade não altera a relação entre as pernas. Porém, há uma substituição do período de duplo suporte (movimento em que os dois pés tocam o chão) por uma fase de vôo. Nesta situação observa-se claramente a estabilidade estrutural representada pela permanência de um tipo de fase gerado pelo acoplamento dos osciladores não-lineares, estruturas coordenativas no caso, perna direita e perna esquerda (CLARK & WHITALL, 1989b).

Baseado nas três propriedades dos osciladores não-lineares de ciclo-limite, CLARK & WHITALL (1989b) afirmam que estas devem ser utilizadas para se estudar as estruturas coordenativas. Principalmente porque os osciladores, enquanto processos auto-organizáveis, não necessitam de uma prescrição ao nível executivo (SNC) e as mudanças ambientais ou perturbações, referidas por BERNSTEIN (1967) como o problema da variabilidade relacionada ao contexto, são facilmente contornadas pela estabilidade estrutural.

DESENVOLVIMENTO MOTOR COMO SISTEMAS EM DESENVOLVIMENTO

1. Interação de Sub-Sistemas no Desenvolvimento Motor

A concepção de sistemas em desenvolvimento deu um novo direcionamento aos estudos sobre a coordenação e o controle motor. Este novo direcionamento, foco de uma série de artigos publicados na seção especial da revista *Developmental Psychology*, vol 25(6), em 1989 é referido por THELEN (1989) como sendo “ A (re) descoberta do desenvolvimento motor: aprendendo novas idéias frente a uma velha área “. Vários estudos são apresentados (GOLDFIELD, 1989; BERTENTHAL & BAI, 1989; PALMER, 1989; CONNOLLY & DALGLEISH, 1989; CLARK, PHILLIPS & PETERSEN, 1989; GETCHELL & ROBERTON, 1989) para exemplificar as novas idéias contidas em cinco princípios básicos a serem considerados nos estudos atuais sobre o Desenvolvimento Motor. Os princípios são: (1) o sistema em desenvolvimento é a unidade adequada para a análise, ressaltando a necessidade de estudar o desenvolvimento como um fenômeno complexo e não em domínios enclausurados; (2) a tarefa gera e organiza o movimento. O desenvolvimento não ocorre em função de um aparecimento progressivo ou da elaboração de um esquema, programa ou plano já existente, e sim como convenientes oportunidades dos componentes disponíveis que melhor se adequam à tarefa naquele momento; (3) o desenvolvimento é um processo não-linear; (4) ação e percepção formam um circuito inseparável; e (5) a variabilidade durante o desenvolvimento é um dado a ser considerado e estudado. Com relação a este último princípio CLARK & WHITALL (1989b) afirmam que na perspectiva prescritiva, centrada em representações, a mudança é

um problema, ao passo que na perspectiva dinâmica, esta pode ser a solução, ou seja, uma fonte de informação.

GOLDFIELD (1989) estudou o início do rastejar em 15 crianças a partir do sexto mês de idade. Sua preocupação foi a de verificar se durante o desenvolvimento desta forma de locomoção existem influências de outras capacidades desenvolvimentais. Foram consideradas neste estudo as seguintes capacidades desenvolvimentais: o chutar, o estender-se na tentativa de pegar um objeto e a orientação em relação ao ambiente. Os resultados sugeriram que o rastejar emerge da convergência destas três capacidades desenvolvimentais, onde nenhuma delas é específica para o movimento do rastejar, e sim a interação entre elas. Os resultados deste estudo reforçam a noção de que as restrições posturais e morfológicas sobre o movimento parecem ter uma específica influência sobre o desenvolvimento motor.

Em uma série de estudos sobre o desaparecimento do reflexo da marcha THELEN (1986); THELEN & FISHER (1982); THELEN et al. (1987) apresentaram fortes evidências sobre a interação de subsistemas e como diferentes níveis de desenvolvimento de cada subsistema afetam o desenvolvimento global da criança. Em um primeiro estudo de THELEN (1986) 40 crianças de dois, quatro e seis semanas de idade foram examinadas, comparando-se a correlação entre o tempo de desaparecimento do reflexo da marcha e as medidas antropométricas das crianças.

Os estudos de GOLDFIELD (1989), THELEN (1986) e outros vieram reforçar as críticas em relação as explicações tradicionais sobre a emergência dos movimentos locomotores. Até recentemente as explicações tem sido atribuídas a uma maturação cortical (McGRAW, 1935) a evolução de um padrão gerador (FORRBERG, 1985) ou ao desenvolvimento cognitivo (ZELAZO, 1983). As explicações atuais, em acordo com a noção de estrutura coordenativa, enquanto um processo dinâmico e auto organizativo, voltam para a idéia de “componentes” ou capacidades desenvolvimentais. THELEN (1986) identificou oito componentes que podem contribuir para os movimentos locomotores, conforme apresentado graficamente na Figura 08. Segundo THELEN (1986) cada componente apresenta um ritmo de desenvolvimento que pode ser acelerado ou atrasado em determinado momento. A locomoção emerge da interação entre estes componentes. A característica de independência/autonomia no desenvolvimento intra-componente e ao mesmo tempo de relação inter-componentes pode ser visualizada na Figura 09, a seguir.

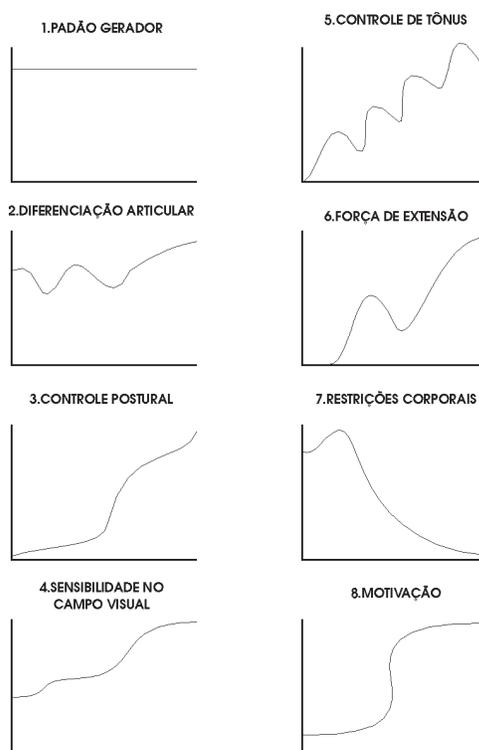


FIGURA 08 - Componentes hipotéticos do desenvolvimento da locomoção representados em função da idade (adaptado de THELEN, 1986)

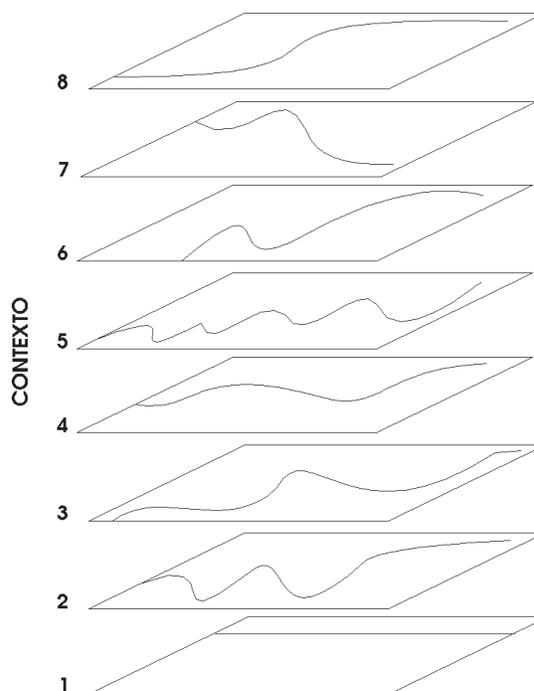


FIGURA 09 - Representação da interação dos componentes hipotéticos do desenvolvimento da locomoção dentro do contexto ambiental (adaptado de THELEN, 1986).

2. Restrições e Desenvolvimento Motor

O desenvolvimento motor, visto a partir do conceito de sistemas em desenvolvimento, sofre grande influência da tarefa ou do objetivo a ser atingido. Em se tratando da tarefa existem diferentes objetos, lugares e eventos que apresentam específicas ofertas ("affordances") produzindo distintas ações no processo de exploração. Em um primeiro estudo, PALMER (1989) demonstrou a íntima relação entre as ações exploratórias em crianças a partir dos seis anos e as características dos objetos a serem explorados. As crianças discriminaram os objetos em relação ao peso, som produzido e textura, exibindo ações distintas para cada propriedade. Em um segundo estudo PALMER (1989) orientou-se para as seguintes questões: (1) irão as crianças agir de maneiras específicas sobre diferentes contrastes de propriedades presentes dos objetos e "affordances", (2) agirão especificamente sobre propriedades presentes dos novos objetos promovidos no estudo? (3) as crianças usam uma ou ambas as mãos seletivamente, dependendo das características dos objetos (peso, tamanho)? (4) qual o papel da superfície de suporte do objeto a ser explorado? Os resultados deste estudo reforçaram os já observados no primeiro estudo, suportando a hipótese de que as ações das crianças variam com a natureza do objeto. Como exemplo tem-se que uma criança com 6 meses de idade age sobre um sino de acordo com o potencial deste em produzir som. Em relação a influência da superfície onde se encontra o objeto a ser explorado verificou-se também uma influência significativa, demonstrando que as crianças discriminam as superfícies de suporte, os objetos e as possibilidades de ação dos objetos em ambientes específicos. PALMER (1989) afirma que as crianças avaliam os "affordances" dos dois objetos, o brinquedo e a superfície de suporte, de modo a produzir sons interessantes.

A coordenação e o controle motor, conforme exemplificada nos trabalhos de GOLDFIELD (1989); THELEN (1986) e PALMER (1989), apresentam tanto um componente interno quanto um componente externo que interagem de forma dinâmica para atingir um objetivo funcional. Dentro da linguagem da teoria dos Sistemas Dinâmicos estes componentes são caracterizados como "restrições". Segundo NEWELL (1986) as restrições são limites ou características que limitam o movimento de um ser sob consideração. As restrições não são geradoras das ações conforme cita KUGLER, KELSO & TURVEY (1980), e sim que algumas ações são excluídas por elas. A exclusão ocorre no sentido de responder ao objetivo ou a funcionalidade que é ofertada por determinada restrição ou grupo de restrições.

Na medida em que as restrições determinam o desenvolvimento da coordenação e do controle motor, a sua descrição em termos cinemáticos, isto é, suas relações no espaço e no tempo proporcionam uma ótima metodologia para se estudar os movimentos humanos.

NEWELL (1986) propõe três categorias de restrição: do organismo, da tarefa e do ambiente. Estas restrições se relacionam em níveis iguais de importância podendo ser esquematizadas em um triângulo equilátero onde os vértices são as restrições e o centro a coordenação e o controle, especificando uma ação eficaz (Figura 10).



FIGURA 10 - As restrições do meio-ambiente, do organismo e da tarefa especificando a coordenação e o controle motor (adaptado de NEWELL, 1986)

As restrições do organismo podem ser independentes ou dependentes de tempo. A primeira é denominada de restrição estrutural e a segunda de restrição funcional. Exemplos de restrições estruturais são: peso, altura e a composição corporal. JENSEN (1981) estudou a influência do crescimento sobre as restrições biomecânicas na organização postural em crianças de 4, 6, 9 e 12 anos de idade. Os resultados revelaram mudanças no momento de inércia, mostrando que é necessário um aumento proporcional na força para se manter uma mesma performance. Outros estudos que revelaram mudanças nos parâmetros corporais e desenvolvimento da coordenação foram feitos por SHIRLEY (1931) e BAYLEY & DAVIS (1935). Eles descobriram que crianças com pernas proporcionalmente maiores, que não estavam acima do peso, tendiam a andar antes do que as criança com pernas proporcionalmente menores.

Como exemplo de restrições funcionais do organismo temos o processo de mielinização estabelecendo as conexões sinápticas. A evidência da relação entre o desenvolvimento neural e o desenvolvimento motor surge devido ao fato de que: (1) o crescimento e a diferenciação do sistema nervoso não consiste de uma memorização autônoma de instruções genéticas, mas envolve uma íntima interação com fatores intrínsecos dentro de um processo epigenético complexo; (2) o desenvolvimento neural não é simplesmente um aumento progressivo e linear no número de elementos e suas conexões e portanto em complexidade, mas também inclui processos degenerativos para combinar e remover adaptações específicas da idade.

Segundo CONNOLLY (1986), a interação entre restrições no processo de desenvolvimento pode ser explicada a partir do modelo de uma "paisagem epigenética" (Figura 11). Neste modelo, as fontes de mudança desenvolvimental, são transações entre sistemas organizados e ambientes. A paisagem epigenética pode ser caracterizada como um caminho (creodo) gerado pela tração exercida por aspectos genéticos.

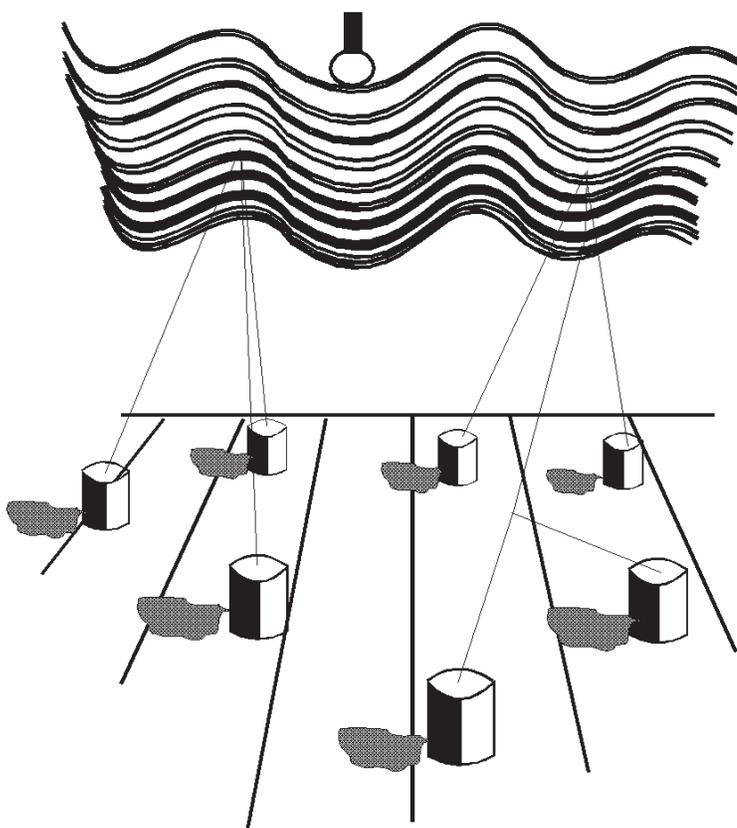


FIGURA 11 - A paisagem epigenética (adaptado de CONNOLLY, 1986)

As restrições ambientais são definidas como aquelas externas ao organismo, isto é, aquelas que não são manipuladas pelo experimentador e que são relativamente independentes de tempo. Exemplos de restrições ambientais são: a força de gravidade, a temperatura de ambientes naturais, a luz natural e outras características ambientais que não são adaptações da tarefa. A manipulação desta restrição pode ser feita mudando-se o ambiente onde o movimento é realizado. O estudo de THELEN & FISHER, 1982, sobre o desaparecimento do reflexo da marcha em crianças de 4 a 16 semanas de idade demonstrou a influência das restrições ambientais no desenvolvimento motor. O reaparecimento do reflexo quando as crianças foram colocadas na água demonstrou que a força de gravidade constitui uma restrição ambiental na organização motora.

Por último, as restrições da tarefa refletem tanto o objetivo da atividade quanto as restrições inerentes à obtenção deste objetivo. NEWELL (1986) cita três categorias de restrições da tarefa: (1) o objetivo da tarefa; (2) as regras que especificam ou restringem as respostas dinâmicas; e (3) os implementos ou equipamentos que especificam ou restringem as respostas dinâmicas.

A busca de princípios gerais para explicar o desenvolvimento humano e em específico o desenvolvimento motor pode ser feita a partir do conceito de restrição trabalhado por NEWELL (1986). É comum se analisar o desenvolvimento de padrões motores através de seqüências desenvolvimentais observadas e descritas nos seus detalhes no Desenvolvimento Motor por Estágios ROBERTON (1977a); HALVERSON, (1931) e no Desenvolvimento por Componentes ROBERTON (1978b) ao longo das idades. Estas seqüências foram estabelecidas em situações específicas com restrições da tarefa padronizadas. A necessidade de se repensar os estudos sobre as seqüências desenvolvimentais levou NEWELL et al. (1989) a analisar a influência da restrição de uma tarefa sobre o desenvolvimento da seqüência do agarrar. Estes autores observaram diferenças significativas na configuração dos movimentos em relação às diferentes propriedades (tamanho e forma) dos objetos a serem agarrados.

Assim, para se estudar as mudanças nos padrões de movimento deve-se partir de uma descrição precisa de quais variáveis (restrições) estão presentes em determinada situação onde o movimento é executado. Estudar estas variáveis não significa simplesmente separá-las ao máximo buscando eliminar as interferências e sim estudar a própria interferência. É o que já referi em termos de fator limitante quando foi analisado o desenvolvimento como uma congruência de subsistemas em desenvolvimento, ou como um processo dinâmico onde se interagem diferentes “componentes” ou “capacidades” desenvolvimentais.

Dentro dos pressupostos do paradigma ecológico e dos princípios da Teoria dos Sistemas Dinâmicos, as restrições constituem o ponto central no estudo do desenvolvimento da coordenação e do controle motor. Isto se justifica pela radical mudança filosófica que este novo paradigma forneceu à relação homem ambiente conforme apresentado na Figura 12.

Implícito no conceito de um sistema animal-ambiente está o fato de que tanto o ambiente quanto o animal estão em processo de desenvolvimento e que um influencia o outro. Portanto, o processo de desenvolvimento enquanto um resultado da interação de vários subsistemas pode ser estudado tanto no nível de análise macroscópica, quanto no nível de análise microscópica, sem perder a sua validade ecológica ou o seu pressuposto filosófico. No primeiro nível, pode-se considerar diversas interações em diferentes subsistemas.

Tem-se por exemplo a relação ente indivíduo e sociedade, entre filhos e família, entre professor e aluno, e muitas outras. Todas estas relações constituem-se em um conjunto de restrições que são impostas aos seres humanos onde o produto, o desenvolvimento do indivíduo e a evolução da espécie, surge da interação bipolar destes subsistemas.

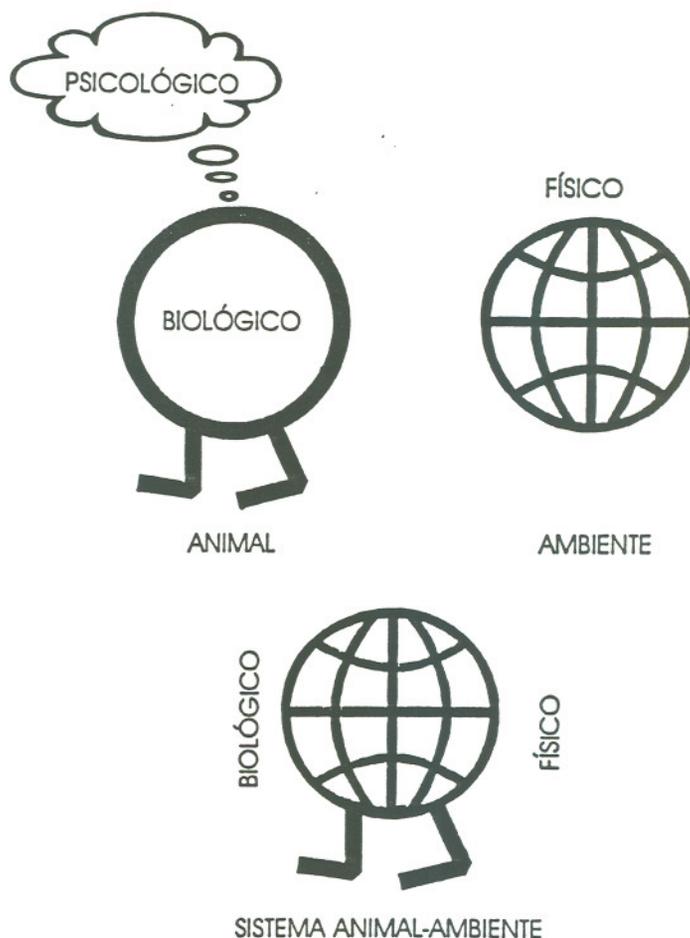


FIGURA 12 - A parte superior representa a visão dualista entre o animal-biológico e o ambiente-físico. A parte inferior representa a visão mais abrangente expressa no sistema animal-ambiente (adaptado de NEWELL, 1986).

No nível microscópico podemos pensar desde as reações bioquímicas dentro das células, a interação entre os diversos órgãos gerando as funções respiratória, circulatória e outras, até a organização neuromotora e articular, representando os movimentos.

Este “viajar” na concepção de sistemas em desenvolvimento reforça cada vez mais a importância de estudar o desenvolvimento motor a partir do conceito de estrutura coordenativa. Este conceito referido apenas para a organização muscular pode ser estendido para o nível macroscópico na medida em que nas diversas relações sociais existem muitos

“graus de liberdade” (regras, padrões, opiniões, preconceitos, senso comum, etc) que devem ser controlados para que seja atingido um objetivo comum.

A estrutura coordenativa pode então ser considerada tanto como uma linguagem muscular (TURVEY et al. 1982) quanto como uma linguagem ecológica.

A estrutura coordenativa constitui, portanto, em uma descrição de baixa dimensionalidade de um fenômeno altamente complexo (CLARK, 1990). Baixa dimensionalidade significa um número reduzido de variáveis ou de graus de liberdade. SCHONNER & KELSO (1988) afirmam que para uma descrição de baixa dimensionalidade deve se explorar os princípios pelos quais o sistema mantém a sua estabilidade e também como desestabiliza e encontra um novo padrão de estabilidade. CLARK et al. (1990a) acrescentam que a descrição de baixa dimensionalidade é obtida através de dois aspectos. Um primeiro, é a descrição instantânea ou o estado do comportamento. O segundo aspecto que está relacionado com a mudança, característica primordial nos sistemas dinâmicos, é a trajetória do sistema dinâmico. A trajetória expressa o comportamento do sistema através do tempo. Assim a trajetória, ou a região mapeada dentro de um espaço estável é descrita por um “atrator”. TURVEY (1990) define um atrator como um estado preferido ou uma seqüência de estados onde o sistema gravita vindo de condições iniciais arbitrárias e segue perturbações arbitrárias. Existem três tipos principais de atratores: de ponto (ou equilíbrio), periódico (ou ciclo-limite) e caótico (ou misto). Nos movimentos locomotores a trajetória é descrita pelo atrator de ciclo-limite. De acordo com SCHONNER & KELSO (1988) o atrator representa o parâmetro de ordem do sistema, ou seja, expressa de forma simples e eficiente a descrição da ordem espacial do sistema locomotor.

Nos movimentos locomotores pode-se considerar a estrutura coordenativa intra-membro e inter-membros. No primeiro, o foco de análise é a organização dos músculos e/ou articulações dentro de um membro, podendo ser analisado a relação ou a coordenação entre a perna e a coxa, por exemplo. Na estrutura coordenativa inter-membros, pode-se dizer, que os músculos de dois membros inferiores agem como uma unidade funcional.

Analisando as formas de locomoção de um animal quadrúpede podemos ver várias relações entre as pernas ilustrando tanto a coordenação intra-membro quanto as diferentes coordenações inter-membros (entre as pernas numa relação ipsolateral ou contralateral). Na coordenação inter e intra-membros o parâmetro de ordem representa respectivamente, a relação de fase (temporal e de amplitude) entre os dois membros, e a relação de fase (temporal e de amplitude) entre perna e coxa do mesmo membro.

Capítulo VI

A COORDENAÇÃO E O CONTROLE DO ANDAR COMO UM SISTEMA DINÂMICO.

1 - Proposições Teóricas Tradicionais e Atuais sobre o andar

Tanto para os animais quanto para os seres humanos, os movimentos locomotores constituem-se numa necessidade ao mesmo tempo funcional (biológica) e relacional (sócio-cultural). Funcional visto que a sobrevivência, a manutenção da vida, é uma conseqüência de reações bioquímicas e de processos fisiológicos. A mola propulsora destas reações e destes processos é o movimento dentro de toda a sua amplitude (movimentos dos átomos e moléculas até o movimento do corpo no espaço e no tempo). Ao mesmo tempo em que satisfaz suas necessidades funcionais o ser humano explora o seu meio ambiente. Explora através das sensações e principalmente através da percepção-ação sobre este meio ambiente. Explorar significa tomar contato, vivenciar e fazer parte deste meio na medida em que se insere nele. Assim, o movimento proporciona uma rica experiência de relações com os objetos circundantes e com os outros seres humanos. Portanto a locomoção possui a dupla função, ou seja, favorecer o desenvolvimento dos processos internos e das relações externas do ser humano.

Dentre as várias formas de locomoção a aquisição do andar é a mais dramática por se constituir em uma mudança drástica no ajuste postural na medida em que a criança passa da posição de quadrúpede para a posição bípede. A aquisição do andar ereto envolve uma organização complexa de movimentos, com uma contínua perda e ganho de equilíbrio dinâmico onde há uma alternância entre as fases de ação da perna com fases de apoio e

duplo apoio (Figura 13). No andar, o ciclo de cada perna segue uma seqüência de apoio e deslocamento (balanceio).

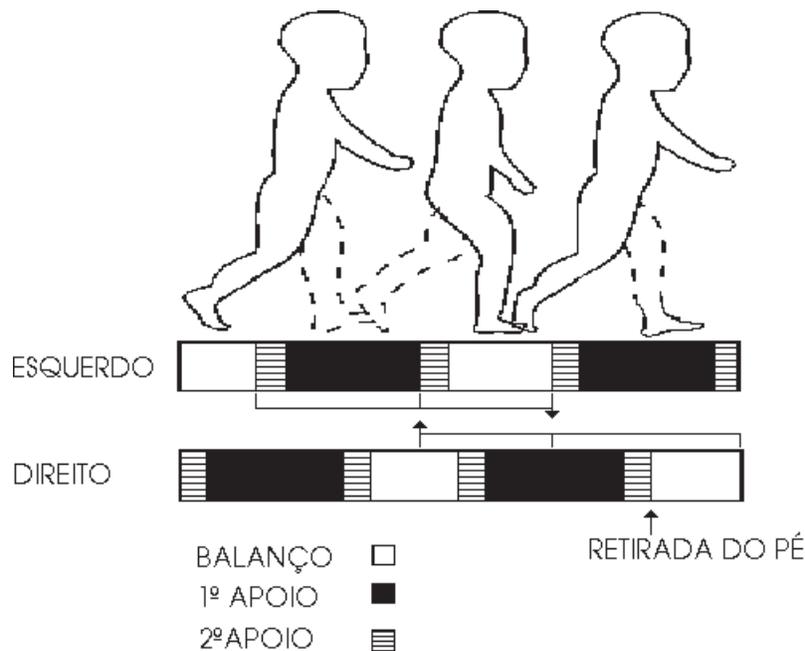


FIGURA 13 - O ciclo do andar consiste em cada membro se movendo em uma seqüência semelhante em fases de balanço, duplo suporte (1º apoio) e simples suporte (2º apoio).

Os primeiros passos independentes aparecem por volta dos 9 aos 12 meses de idade. Neste momento, as crianças enfrentam o grande desafio de coordenar as duas pernas de formas alternadas. Este processo tem sido de grande interesse dos estudiosos do Desenvolvimento Motor (SHIRLEY, 1931; McGRAW, 1935, 1940; BERNSTEIN, 1967). As primeiras descrições sobre o início do andar foram feitas por SHIRLEY (1931), McGRAW (1940). Estes estudos, na sua maioria preocupados com a aquisição do controle postural pelas crianças no primeiro ano de vida, contribuíram para uma descrição detalhada do desenvolvimento da locomoção e em específico do andar. SHIRLEY (1931) apresentou uma detalhada descrição do desenvolvimento da progressão em direção a postura ereta até o andar independente. O desenvolvimento da postura ereta segue uma seqüência céfalo-caudal, partindo do controle da musculatura do pescoço até o controle da musculatura das pernas .

Tradicionalmente as explicações sobre o desenvolvimento do andar têm sido estabelecidas dentro de uma perspectiva maturacional e neurofisiológica (McGRAW, 1940). Nesta abordagem o andar é fruto do desenvolvimento de padrões geradores surgidos a partir do sistema nervoso central, estabelecendo a seqüência e o tempo para a ativação muscular.

De acordo com esta perspectiva a coordenação e o controle dos movimentos que compõem o andar são oriundas da maturação de áreas específicas a nível de Sistema Nervoso Central.

As proposições teóricas sobre o desenvolvimento do andar levantadas recentemente, estão centradas nas idéias de sistemas em desenvolvimento, expressos na Teoria dos Sistemas Dinâmicos. A partir desta teoria o andar é entendido como um comportamento emergente da interação de vários sub-sistemas (sistema nervoso central, sistema musculoesquelético, etc) sob influência de restrições tanto ambientais quanto da própria tarefa. Assim a coordenação e o controle dos movimentos são estabelecidos através de descrições de baixa dimensionalidade (menor número de graus de liberdade) através da organização de unidades funcionais ou estruturas coordenativas. Segundo CLARK & PHILLIPS (1991a) uma descrição de baixa dimensionalidade relativa ao andar pode ser obtida através da caracterização dos movimentos das pernas, no caso intermembros, como osciladores acoplados não lineares de ciclo limite. Através das propriedades destes osciladores pode-se descrever os princípios, ou a dinâmica intrínseca (ZANONE & KELSO, 1992) entre as pernas e, principalmente, explicar o porque das mudanças observadas ao longo das idades.

A trajetória dos movimentos enquanto sistemas de ciclo limite é descrita através dos atratores, que por sua vez são representados graficamente pelos retratos de fase. Através da Teoria dos Sistemas Dinâmicos pode-se estudar as mudanças desenvolvimentais tomando como referência a mudança de um atrator em situação estável para um outro atrator. Esta mudança irá ocorrer quando um parâmetro de controle do sistema é modificado significativamente gerando também uma mudança no parâmetro de ordem. Segundo TURVEY (1990) o parâmetro de ordem é uma quantidade macroscópica representando uma variável que: (a) simplifica a descrição da transição de um sistema, porque esta representa o agrupamento de muitas quantidades relevantes em um número bastante reduzido; e (b) expressa a dimensão da ordem do sistema durante a transição. Nos movimentos locomotores pode-se considerar como um parâmetro de ordem a relação de fase entre os membros, uma vez que esta expressa de forma simples e eficiente a ordem espacial e temporal do sistema locomotor.

2 - Coordenação Inter-Membros

Os primeiros estudos sobre o andar a partir da Teoria dos Sistemas Dinâmicos enfocaram a coordenação inter-membros (CLARK, WHITALL & PHILLIPS, 1988; CLARK & WHITALL, 1989b; WHITALL, 1989).

CLARK et al. (1988) estudaram crianças desde o início do andar independente. A análise da fase relativa entre as pernas, isto é a proporção do ciclo de um membro em

relação ao início do ciclo do outro membro, revelou que já no início do andar a criança apresenta uma fase relativa de 50% entre elas. Apesar das pernas apresentarem um padrão semelhante ao do adulto desde o início do andar, observou-se neste estudo uma variabilidade temporal e espacial na fase relativa. Esta variabilidade na fase relativa foi maior para as crianças com menos de três meses do andar, porém observou-se uma grande semelhança em relação à coordenação inter-membros dos adultos após os três meses.

A existência de variabilidade no início do andar sugere que um sistema dinâmico passa por um processo de reorganização no estabelecimento de uma nova estrutura coordenativa. Esta reorganização está ligada à sintonização das estruturas coordenativas através do ajuste dos parâmetros de controle.

Uma outra forma de explicar a variabilidade é aceitar a necessidade do processo de aprendizagem, fruto das experiências geradas pelo meio ambiente. Na perspectiva dos sistemas dinâmicos, o processo de aprendizagem ocorre através da interação entre a dinâmica interna, expressa pela variável coletiva (estrutura coordenativa) e a informação comportamental, que constitui o conjunto de parâmetros que influenciam na variável coletiva - parâmetros de ordem - (ZANONE & KELSO, 1992).

Dados sobre o andar através de um estudo longitudinal foram apresentados por CLARK & PHILLIPS (1987). Utilizando uma restrição (peso) em uma das pernas foi estudado a coordenação inter-membros em uma criança dos 11 meses aos quatro anos de idade. Neste estudo demonstrou-se a existência de variabilidade na relação de fase no início do andar e que diminui significativamente por volta dos três meses de idade.

Na medida em que os estudos sobre a coordenação inter-membros no andar foram sendo realizados sugeriram diversos questionamentos sobre a transição entre os movimentos locomotores, como por exemplo: (1) por que o andar aparece antes do correr? (2) o correr apresenta a mesma relação de fase na coordenação inter-membros que a do andar? (3) as propriedades dos osciladores não-lineares de ciclo-limite se aplicam a outros movimentos locomotores (correr, galopar e o skipping - a combinação de um passo e um salto)? Na busca de respostas a estes questionamentos, WHITALL (1989) realizou um estudo sobre a coordenação inter-membros no correr e no galopar. WHITALL analisou 40 sujeitos nas seguintes faixas etárias: 2.5 a 3.5; 3.5 a 4.5; 6 a 7; 9 a 10 anos de idade e adultos. Os sujeitos foram filmados lateralmente enquanto executavam os movimentos em duas situações ambientais. Uma normal e uma outra com a restrição peso em uma das pernas. Esta restrição representou um valor correspondente a 4% do peso corporal de cada sujeito. Os dados foram analisados com base em três diferentes medidas: (1) a fase média - como o valor médio do número total de medidas de fase durante as tentativas sem perturbação; (2) a variabilidade de

fase - o desvio padrão de cada sujeito em relação a sua fase média; e (3) o desvio de fase - a diferença absoluta entre uma simples medida de fase na condição com ou sem perturbação e a fase média do sujeito na condição sem perturbação. WHITALL (1989) buscou através das medidas de fase verificar se as propriedades dos osciladores não-lineares de ciclo limite são aplicadas para a coordenação inter-membros no correr e no galopar; e se existe diferença na manifestação destas propriedades ao longo de diferentes idades.

Os resultados do estudo de WHITALL (1989) demonstraram a presença das propriedades: bloqueio de fase, treinamento mútuo e estabilidade estrutural tanto no correr quanto no galopar por volta dos três anos de idade. Os movimentos apresentaram as seguintes relações inter-membros: 50/50 % para a fase temporal e de amplitude no correr; e 69/31 % e 40/59% para a fase temporal e de amplitude, respectivamente no galopar. O teste da estabilidade estrutural com o peso colocado no tornozelo apresentou resultados diferentes entre as duas formas de locomoção. Para o correr o peso não afetou na coordenação inter-membros. Porém, para o galopar foram observadas mudanças tanto na amplitude de fase quanto na fase temporal. As mudanças foram representadas por saltos para um novo percentual da fase relativa entre as pernas. Em relação às idades, não foram encontradas diferenças significativas em relação às propriedades dos osciladores não-lineares de ciclo limite para o correr e para o galopar. As diferenças observadas no galopar em relação à estabilidade de fase, observadas através da situação com o peso no tornozelo foram consideradas como sendo determinadas pelo fator experiência, uma vez que o galopar é realizado através de uma mudança intencional da força produzida por cada membro.

3 - Coordenação Intra-Membro

As questões que permearam os estudos sobre a coordenação inter-membros no andar são semelhantes às enfocadas nos estudos sobre a coordenação intra-membros. CLARK & PHILLIPS (1991a) citam três estágios a serem adotados na realização dos estudos sobre a coordenação intra-membros: (1) identificar a variável coletiva (estrutura coordenativa) agindo no movimento dos segmentos (coxa, perna) e mapeá-la dentro de um atrator (através do retrato de fase); (2) analisar a evolução da estrutura coordenativa através do tempo; e (3) examinar as relações coordenativas entre os dois segmentos.

Para analisar as relações coordenativas entre os dois segmentos utiliza-se o ponto de reversão de cada segmento. Este ponto representa a mudança de direção do segmento em questão durante o ciclo do andar e constitui segundo CLARK & PHILLIPS (1991a) um aspecto importante no estudo do controle motor.

Os primeiros estudos sobre a coordenação intra-membros no andar foram realizados por CLARK & PHILLIPS (1991a); e CLARK et al. (1990a).

Preocupadas com as relações entre a perna e a coxa durante o andar CLARK & PHILLIPS (1991a) utilizaram o modelo dos osciladores acoplados não-lineares de ciclo limite para analisar o desenvolvimento do andar em três crianças nas seguintes idades desenvolvimentais : (1) no início do andar; (2) duas e quatro semanas ; e (3) 2, 3, 6, 7, 9 e 12 meses. Neste estudo utilizou-se ainda dados sobre o andar de três adultos como forma de comparação. Para testar a estabilidade estrutural, foram colocados nos tornozelos dos sujeitos um peso correspondente a 5% e 7% do peso corporal das crianças e dos adultos, respectivamente.

O primeiro resultado deste estudo foi a confirmação de que os movimentos dos segmentos, perna e coxa, durante o andar apresentam as características de um atrator de ciclo limite. Apesar de alguma instabilidade, a coordenação intra-membros apresentou uma órbita periódica característica de um sistema de ciclo limite. Ao analisar as relações entre os dois segmentos, ou seja, a fase relativa, os resultados evidenciaram uma relação não-linear entre os segmentos. Para os sujeitos adultos a fase relativa foi de aproximadamente -90 graus, indicando que no momento em que o pé toca o chão o ângulo de fase da coxa está 90 graus à frente do ângulo de fase da perna. Segundo CLARK & PHILLIPS (1991a) a relação de 90 graus fora de fase é mantida durante a metade da fase de deslocamento da perna no ar. Para as crianças foi observado que somente aos 3 meses do andar, existe um padrão de coordenação intra-membro semelhante ao do adulto. A grande mudança em que se observa é na fase relativa entre a perna e a coxa durante a segunda metade da fase de deslocamento do membro. Uma observação interessante ocorreu quando as crianças andaram com o peso no tornozelo. Nesta situação todas as crianças com quatro semanas do andar apresentaram uma relação madura (semelhante a do adulto) na segunda metade da fase de deslocamento do membro. Comparando os dados dos adultos com os das crianças ao longo das idades, foi verificado uma redução na variabilidade da fase relativa das crianças (Desvio padrão, em graus, de 35.9, 19.7, 31.5, 25.0 e 16.5 para: o início do andar, 4 semanas, 3, 6 e 12 meses respectivamente) em relação as do adulto (Desvio padrão de 4.7). Na situação com o peso no tornozelo, a variabilidade da fase relativa sofre modificação tornando-se maior, mas apresentando uma redução progressiva ao longo das idades. Ao mesmo tempo em que a restrição peso imposta ao sistema alterou a variabilidade da fase relativa, esta causou também uma diminuição em uma parte do ciclo. A menor estabilidade foi observada durante a fase de deslocamento do segmento (saída do solo até o toque do calcanhar a frente) e na última fase do apoio quanto foi adicionado o peso.

Para analisar quais momentos durante o ciclo apresentam uma pequena variabilidade na fase relativa, ou seja, pontos que apresentam a propriedade bloqueio de fase acoplada, CLARK & PHILLIPS (1991a) estudaram a coordenação dos segmentos nos pontos onde ocorre a reversão. Tanto os dados referentes aos ângulos de fase da perna na primeira e na segunda reversão da coxa quanto os dados referentes aos ângulos de fase da coxa na primeira e segunda reversão da perna, confirmaram que somente após os três meses do andar a criança apresenta uma coordenação intra-membros semelhante a do adulto.

Em relação à influência do peso na coordenação entre os pontos de reversão, os resultados mostraram que esta restrição pode, ao mesmo tempo, não afetar em nada a coordenação ou pode ainda forçá-la para um valor próximo ao do valor maduro apresentado pelos adultos. Os dados mostraram também que por volta dos seis/sete meses do andar existe uma grande variação do ponto de reversão em função do peso colocado no calcanhar. Esta variação é maior para a primeira reversão da coxa e a segunda reversão da perna.

Os resultados apresentados por CLARK & PHILLIPS (1991a) estão de acordo com os princípios da Teoria dos Sistemas Dinâmicos na medida em que: (1) existe um período de instabilidade no surgimento de uma nova organização - a variabilidade existente na relação de fase entre os segmentos até por volta dos três meses do andar; (2) existe uma estabilidade ou um bloqueio de fase em um órbita atrativa ; (3) a coordenação intra-membros ocorre de forma não-linear dentro de um desenvolvimento contínuo permitindo uma flexibilidade para o andar em diferentes situações ambientais.

Os estudos sobre a coordenação intra-membros vieram reforçar as idéias desenvolvidas por THELEN (1986) de que a força e a organização postural se constituem em fortes candidatos a fatores limitantes nos movimentos locomotores. Os fatores limitantes são entendidos como parâmetros de controle que limitam a razão das mudanças no sistema. Os dados referentes ao percentual da fase de duplo suporte durante o ciclo do andar evidenciam o papel da força como um fator limitante na organização das pernas durante o andar.

A utilização do modelo físico dos osciladores não-lineares na coordenação intra-membros tem sido estendida aos estudo sobre o correr e a transição do andar para o correr. FORRESTER et al. (in press) analisaram as relações entre a perna e a coxa durante o andar, o andar rápido e o correr. Os dados confirmaram a característica de não-linearidade da relação entre os segmentos perna e coxa e indicaram também que tais coordenações, no sentido da fase relativa intra e inter-membros, são semelhantes. A diferença do andar para o correr foi caracterizada em termos da capacidade do indivíduo para transferir a energia mecânica.

A realização de estudos sobre os movimentos locomotores com base na Teoria dos Sistemas Dinâmicos tem fornecido algumas explicações sobre o processo per si. Dentre

elas a possibilidade de analisar os movimentos dentro de sua dinâmica, ao invés de comparar variáveis (por exemplo: posição corporal, força, comprimento da passada, velocidade, e outros) de formas isoladas. Um outro crédito a estes estudos constitui-se na determinação dos fatores limitantes ou restrições no processo de desenvolvimento, proporcionando subsídios para a atuação junto à criança.

Portanto, em um paradigma que busca entender a organização dentro da complexidade, a diversidade, a instabilidade e a transição de fase são tão importantes quanto a estabilidade ou o equilíbrio de um sistema (nas diferentes dimensões e complexidades que se pode entender um sistema). Preocupar-se com as mudanças no comportamento humano implica: (1) em aceitar que as relações entre os sistemas e/ou sub-sistemas ocorrem dentro de um contexto de restrições conforme NEWELL (1986); (2) estudar as influências de diferentes restrições nos comportamentos sem o intuito de definir padrões de movimento; e (3) desvendar o processo coordenativo entre os elementos do sistema, de modo a uma possível intervenção no sentido de proporcionar restrições diferentes e adequadas para o desenvolvimento do ser humano.

A partir da necessidade de entender as influências de uma restrição sobre as relações intra-membros durante o andar foi proposto este estudo de caráter experimental, adotando como restrição a diferença no nível da superfície na qual o andar foi executado.

A cada momento o homem tem que se adaptar às situações ambientais. Caminhando por uma rua, calçada ou pela grama, frequentemente nos deparamos com desníveis ou inclinações na superfície (Figura 14).

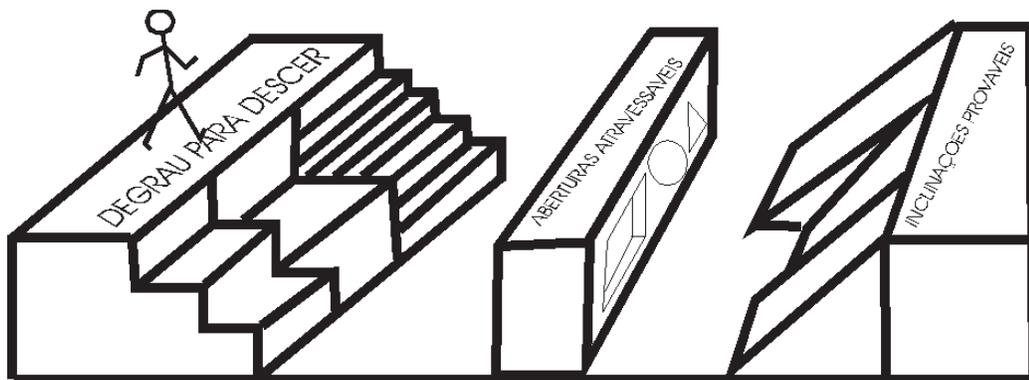


FIGURA 14 - Exemplos de problemas, dispostos na superfície do ambiente, para a locomoção do animal (SANTOS, 1988)

A solução da maioria dos problemas, gerados pelas diferentes situações ambientais, ocorre de forma imperceptível. No dizer de GIBSON (1966) de forma direta. Na

Teoria dos Sistemas Dinâmicos tal fato ocorre devido à flexibilidade do sistema e à inexistência de um programa de ação pré-elaborado. Observando a Figura 14 duas importantes questões devem ser levantadas: (1) o andar com uma das pernas em uma superfície mais elevada do que a da outra perna apresenta diferença significativa em relação ao andar normal? (2) existe diferença na relação intra-membros no andar descrito na primeira questão em diferentes idades? Para responder a estas questões foi analisada a coordenação intra-membros (perna e coxa) durante o andar em diferentes faixas etárias. A análise foi feita através das propriedades dos osciladores não-lineares de ciclo-limite.

Capítulo VII

METODOLOGIA

Para estudar a coordenação entre os segmentos perna e coxa, foi delineado um estudo experimental de caráter exploratório.

1 - Sujeitos

Participaram deste estudo um total de 16 crianças e adultos do sexo feminino na faixa etária de 4 a 20 anos. A amostra foi dividida em cinco grupos: G1: 4 e 5 anos; G2: 6 e 7 anos; G3: 8 e 9 anos; G4: 10 e 11 anos e G5: 20 anos. Os grupos 1 e 5 tiveram dois sujeitos, enquanto que os demais contaram com quatro, sendo dois para cada idade. As crianças foram selecionadas de forma aleatória, a partir de um montante de 400 crianças que participavam de um projeto de extensão universitária no Departamento de Educação Física da UnB (Oficinas Infantis de Atividades Esportivas). Para os adultos, foram utilizadas duas alunas do curso de Licenciatura em Educação Física da UnB.

A escolha da amostra variando de 4 a 11 anos deveu-se a: (1) a inexistência de estudos sobre a coordenação intra-membros no andar nesta faixa etária; (2) a necessidade de estudar a coordenação intra-membros além do primeiro ano de idade, de modo a verificar se a relação entre perna e coxa se mantém estável ao longo dos anos.

2 - Procedimentos

Os sujeitos foram filmados no plano sagital enquanto executavam o andar sobre um piso de madeira. Para a filmagem, utilizou-se uma câmera *Camcorder SHARP*, ope-

rando em uma frequência de 60 Hz. Previamente à filmagem, foram colocadas marcas (pontos pretos de + ou - 1cm de diâmetro) nas articulações do tornozelo, joelho e quadril para posterior digitalização e análise. A tarefa consistiu em andar em uma velocidade normal em uma área de 4 metros de comprimento por 60 centímetros de largura. Foi solicitado aos sujeitos para andarem numa velocidade semelhante ao passear. As variações na velocidade linear entre as faixas etárias não foram objeto de estudo. Utilizou-se a componente angular, de uma forma relativa, dentro do ciclo total do andar de cada sujeito. A distância entre a câmera e centro da área demarcada foi de 9 metros. No centro desta área, perpendicularmente à câmera, foi colocada uma fita branca de 1 metro de comprimento que foi utilizada para a transformação dos valores para sistema métrico. Antes da filmagem, realizou-se uma adaptação dos sujeitos ao ambiente de filmagem, com várias caminhadas pela área demarcada.

Duas condições foram analisadas. A primeira envolvendo a execução do andar sem nenhuma restrição ou perturbação imposta ao sujeito. Esta condição permitiu a análise de duas das propriedades dos osciladores acoplados não-lineares de ciclo limite que são: o bloqueio de fase e o treinamento mútuo. A segunda condição, envolveu uma perturbação com o objetivo de analisar a outra propriedade destes osciladores, ou seja, a estabilidade estrutural. A perturbação foi obtida modificando-se o comprimento total de uma das pernas dos sujeitos. Para tal, foi utilizada uma sandália de borracha, desenvolvida especialmente para o experimento, que possibilitou a graduação da altura da perna através do acréscimo de palmilhas. A altura da perna esquerda foi constante para todos os sujeitos, enquanto que a direita foi aumentada proporcionalmente ao comprimento da perna de cada sujeito para um valor correspondente a 5% deste (Anexo 01). Para o cálculo do comprimento dos membros inferiores foi utilizado a diferença entre a altura total e altura tronco-cefálica, medidas através de um estadiômetro com precisão de milímetros. A perturbação que tem sido utilizada na literatura corresponde a uma proporção de 4% (WHITALL, 1989) e de 5% (CLARK & PHILLIPS, 1991a) porém, relativo ao aumento do peso em uma das pernas. Devido a novidade da situação, uma vez que este foi o primeiro estudo onde modificou-se a altura das pernas, foi adotado o valor correspondente a uma proporção de 5% do comprimento do membro inferior. A condição com a sandália é descrita no trabalho como situação sapato. Foram filmadas três execuções de cada sujeito em cada uma das condições ambientais.

3 - Decodificação dos Dados

Com base nos quadros consecutivos os dados foram analisados em termos de posição e velocidade angular dos movimentos da coxa e da perna. Esta análise foi determina-

da pela digitalização da posição do pé durante um ciclo completo. Para isto adotou-se como referência o ponto onde o pé deixa o solo, conforme mostra a Figura 15.

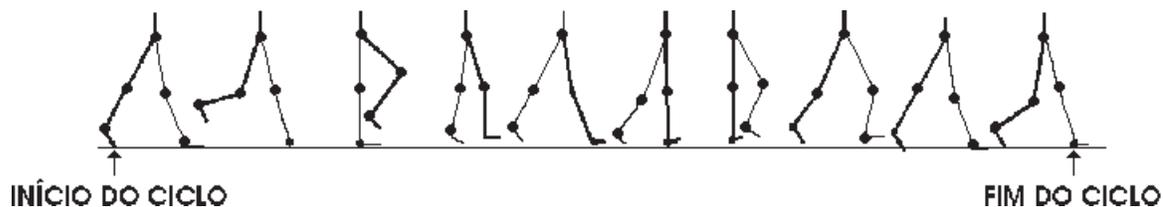


FIGURA 15 - Ciclo de uma perna durante o andar com a representação dos pontos em que o pé sai do chão.

Estas medidas foram tomadas em todas as execuções. Os dados foram escolhidos com base nos seguintes critérios: (1) ter executado o andar no trajeto demarcado no solo; (2) ter executado pelo menos um ciclo completo com a perna direita; e (3) ter o sujeito se empenhado em realizar a tarefa. Foi selecionado apenas uma execução para cada sujeito na situação normal e uma na situação sapato.

Através das filmagens selecionadas, conforme os critérios estabelecidos, as marcas colocadas nas articulações, foram digitalizadas quadro-a-quadro. Para isto, foi utilizado uma Mesa Gráfica de Digitalização, construída no Centro Tecnológico de Informática da Universidade de Campinas /SP, denominado de TABLET . A digitalização foi realizada no Laboratório de Desenvolvimento e Aprendizagem Motora (LABORDAM) da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP) de Rio Claro/SP. Este equipamento é acoplado a um televisor e interligado a um computador, possibilitando a obtenção e o armazenamento das coordenadas “x” e “y” de cada ponto desejado.

Através dos dados obtidos durante o ciclo, foram calculados os ângulos da perna e da coxa em relação ao plano horizontal para cada sujeito nas duas situações experimentais, conforme mostra a Figura 16.

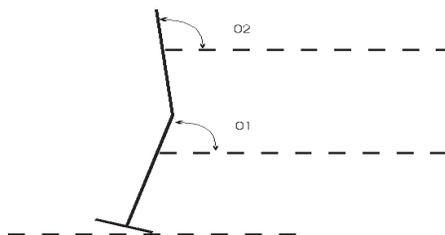


FIGURA 16 - Convenção para o cálculo dos ângulos dos segmentos perna (01) e coxa (02) com o plano horizontal.

Através destes ângulos foram calculados os retratos de fase (Delineamento Gráfico das órbitas Atrativas). Segundo ROSEN (1970) a dinâmica do sistema pode ser observada e analisada através de uma variável e sua primeira derivada em relação ao tempo. Portanto foram utilizadas a posição angular e a velocidade angular dos segmentos. O retrato de fase foi obtido através da projeção da posição angular no eixo “x” (abscissa) e sua respectiva velocidade angular no eixo “y” (ordenada) conforme Figura 17.

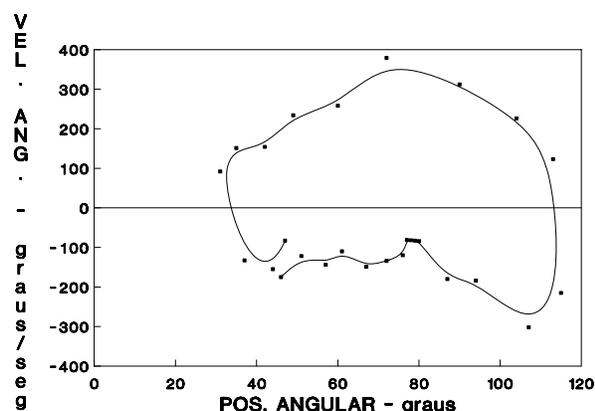


FIGURA 17 - O retrato de fase de um ciclo completo do segmento perna durante o andar.

Os valores da posição e da velocidade angular foram transformados em valores variando de -1 a +1, sendo que ao menor valor foi atribuído -1 e ao maior +1. Os demais valores também foram transformados proporcionalmente em relação aos valores -1 e +1 (Figura 18). A utilização de um programa gerador de gráficos (Harvard) possibilitou a apresentação do retrato de fase de uma forma contínua. Após a transformação da posição angular e da

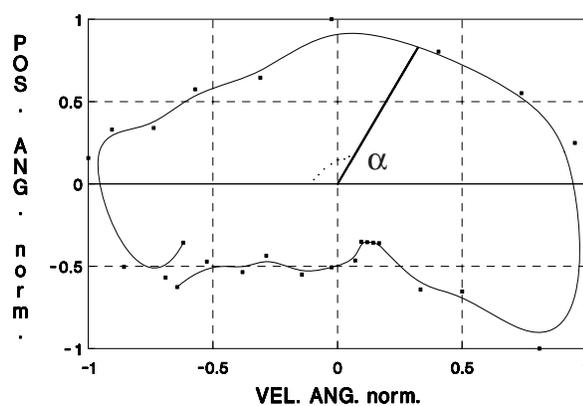


FIGURA 18 - Retrato de fase com valores normalizados entre -1 e 1 e a convenção para o cálculo do ângulo de fase (α 120 graus).

velocidade angular, foi calculado o ângulo de fase, que corresponde ao ângulo formado pelas coordenadas polares da posição angular normalizada e respectiva velocidade angular normalizada com a linha horizontal, tendo como referência a coordenada central (0,0). O ângulo de fase foi calculado mediante a fórmula a seguir:

$$\text{ÂNGULO DE FASE} = \text{ARCTAN} (\text{VEL. NORMAT.} / \text{POS. NORMAT.})$$

Como convenção, foi assumido que o ângulo de fase 0 representa o ponto em que o segmento apresenta a velocidade angular 0 e o máximo deslocamento na direção do segmento no sentido frente-trás, próximo à retirada do pé. Seguindo no sentido horário o ângulo de fase correspondente a 180 graus é quando a velocidade é 0 e o deslocamento angular do segmento apresenta o maior valor na direção trás-frente, próximo ao toque do calcanhar no chão. Através dos ângulos de fase da trajetória dos segmentos, foram calculados: (1) o ponto de coordenação no momento da reversão dos segmentos. O ponto de coordenação representa relação entre os segmentos em um determinado momento no ciclo; e (2) A fase relativa entre os dois segmentos durante o ciclo do andar.

A visualização das reversões nos segmentos foram feitas através da projeção dos ângulos de fase em gráficos com valores entre 0 e 360 graus. A reversão é entendida como uma mudança no sentido dos valores angulares do segmento em relação ao solo, o que evidencia uma mudança no sentido do movimento (Figura 19).

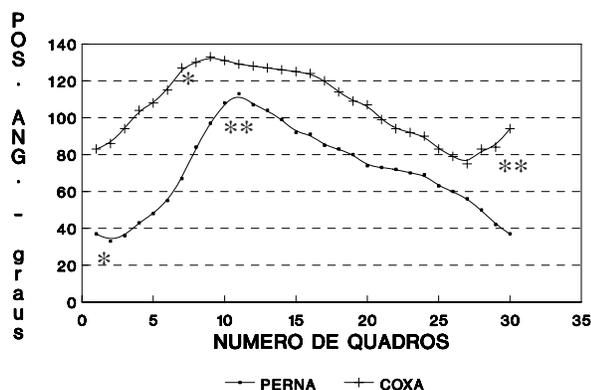


FIGURA 19 - Posição angular da perna e da coxa com a representação das reversões: (*) primeira reversão e (**) segunda reversão.

A análise das reversões foi feita adotando-se o valor do ângulo de fase de um segmento no momento da reversão do outro segmento. Isto é, obtém-se o valor do ângulo da

perna no momento da reversão da coxa e vice-versa. Foram levantados os dados sobre a reversão para os dois segmentos nas duas situações experimentais.

O ponto de coordenação analisado entre os segmentos coxa e perna durante o andar representa a coordenação entre estes segmentos. As questões que nos levaram a observar a reversão nos dois segmentos são: a reversão ocorre conjuntamente nos dois segmentos? Como se dá a coordenação no ponto de reversão? Onde está um segmento na sua trajetória de fase quando o outro segmento está em reversão?

Uma vez que a análise das reversões representa um momento dentro do ciclo do andar, foi realizado também uma análise sobre a coordenação entre a perna e a coxa durante todo o ciclo. Para isto foi calculado a fase relativa entre os segmentos perna e coxa subtraindo-se do ângulo de fase da perna o ângulo de fase da coxa. A fase relativa representa, segundo CLARK et al. (1990a), a coordenação contínua ou a história do movimento.

4 - Tratamento Estatístico

As médias e os desvios padrões dos valores dos ângulos de fase, nas reversões de cada segmento foram calculadas para as duas condições experimentais. Este procedimento possibilitou a observação de possíveis variações entre as reversões e as condições experimentais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1 - A Dinâmica do Andar

A identificação da trajetória dos segmentos perna e coxa durante o ciclo do andar foi feita através dos retratos de fase. O retrato de fase constitui-se em uma representação gráfica da dinâmica do sistema. Conforme apresentado na Figura 20 os movimentos dos dois segmentos apresentam a característica de um oscilador de ciclo limite. Apesar da diferença nos gráficos da perna em relação aos da coxa, ambos representam um movimento oscilatório cuja trajetória se caracteriza por ciclos periódicos dentro de uma órbita atrativa.

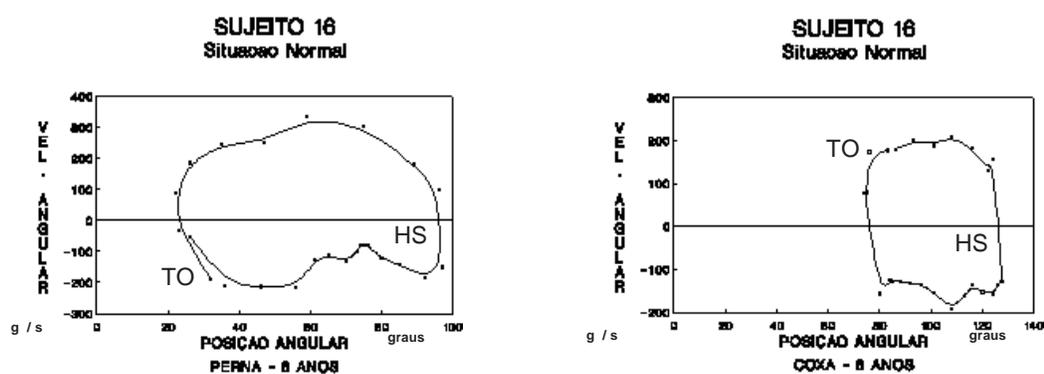


FIGURA 20 - Retratos de fase da perna e da coxa na situação normal

Na Figura 20 estão representados também o momento em que se inicia o ciclo, isto é, quando o pé deixa o solo (TO) e o momento em que o calcanhar toca o solo após a fase aérea do pé (HS).

Os dois gráficos apresentam uma órbita circular, porém com momentos de flutuação ou instabilidade. Esta flutuação ocorre na posição inferior - durante a fase de apoio - isto é, entre o toque do calcanhar (HS) e a retirada do pé (TO). Segundo HAKEN (1983) tais flutuações representam a perda ou o ganho de energia. A dissipação de energia ocorre quando a flutuação é dirigida para dentro do ciclo e o ganho na situação contrária. Na Figura 20 pode-se observar também que a perna apresenta uma maior flutuação do que a coxa, significando uma maior dissipação de energia.

Como neste experimento foi analisado o movimento compreendido entre a saída do pé direito do solo, a fase de deslocamento e a nova saída deste mesmo pé do solo, o gráfico mostra apenas um ciclo completo dos movimentos da coxa e da perna. Para alguns sujeitos o ciclo não foi totalmente fechado. Isto deu-se em função do número de quadros fornecido pelo tipo de filmagem utilizado, o que gerou pequenas diferenças na digitação e também pela análise ter sido realizada com apenas um ciclo completo do membro inferior.

A análise dos retratos de fase da perna e da coxa de todos os sujeitos, apresentados no Anexo 02, nas duas situações experimentais, feita visualmente, mostra-nos que a figura geométrica representando o movimento da coxa é menor do que a da perna. A diferença observada nos retratos de fase indica que os segmentos apresentam comportamentos qualitativamente diferentes, o que significa também uma diferença na dissipação de energia. De acordo com CLARK et al. (1990b) durante o andar a coxa apresenta uma menor variação na posição angular comparado à da perna, o que representa uma maior conservação de energia. Também em termos biomecânicos, os retratos de fase expressam as diferenças entre os segmentos durante o andar. A perna por ser o segmento distal apresenta uma amplitude e velocidade maior do que a da coxa. Pode-se observar ainda que: (1) não existem grandes diferenças entre os sujeitos e entre as idades e (2) a utilização de uma restrição, ou seja, o aumento no comprimento da perna não gerou diferenças significativas na dinâmica da perna e nem na da coxa.

Este estudo vem reforçar os resultados apresentados por CLARK & PHILLIPS (1991a) que encontraram uma organização coordenativa entre a coxa e a perna, semelhante à do adulto, já aos 3 meses do andar independente.

De acordo com a metodologia utilizada nos estudos sobre a coordenação inter e intra-membros que tem como base a Teoria dos Sistemas Dinâmicos, a identificação dos retratos de fase representa o mapeamento das estruturas coordenativas em ação durante o movimento. Portanto, a semelhança dos retratos de fase das pernas com os das coxas, ao longo das idades, mostra-nos que a coordenação intra-membro no andar é governada por princípios dinâmicos semelhantes aos dos Osciladores Acoplados Não-Lineares de Ciclo Li-

mite. Uma outra forma de visualizar o comportamento das estruturas coordenativas é através da trajetória dos ângulos de fase de cada segmento.

2 - Ângulo de Fase

O comportamento dos ângulos de fase dos segmentos perna e coxa nas duas situações experimentais para os sujeitos de 8 e 9 anos de idade (GRUPO 3) são apresentados na Figura 21.

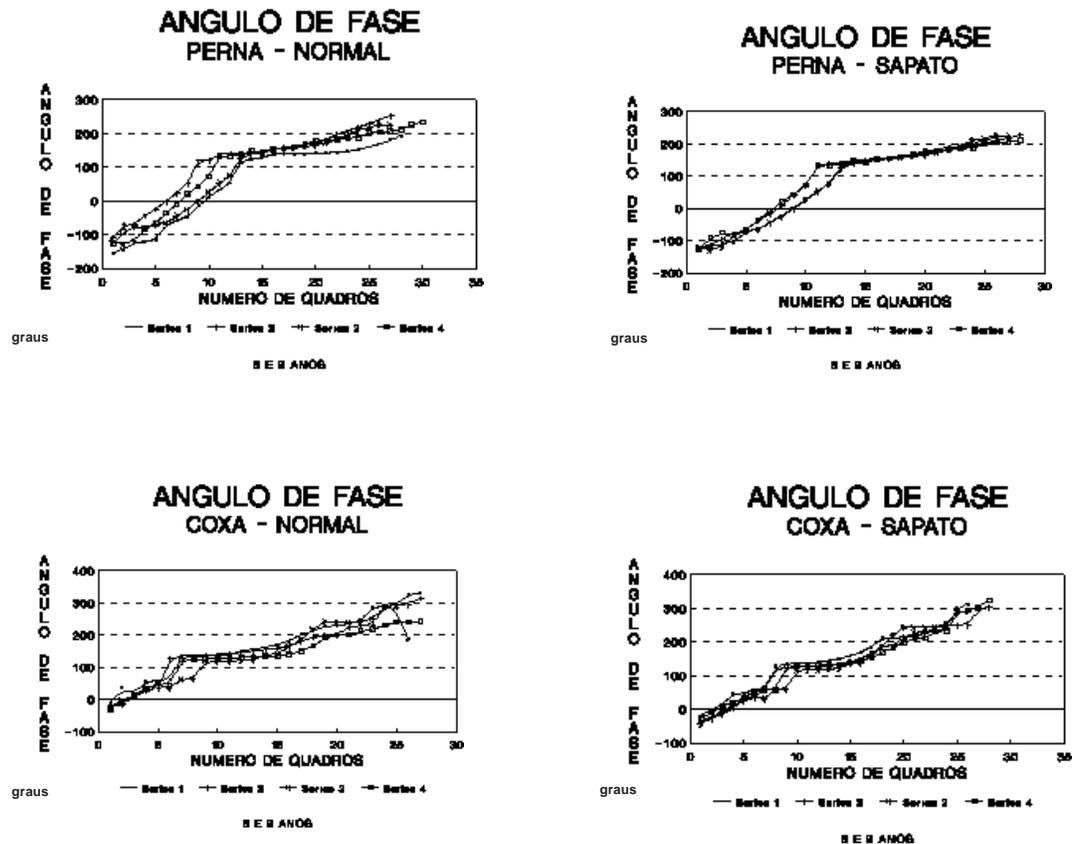


FIGURA 21 - Ângulos de fase da perna e da coxa para os sujeitos de 8 e 9 anos de idade, nas duas situações experimentais

Os ângulos de fase dos demais grupos são apresentado no Anexo 03 divididos por segmento e por situação experimental. A análise dos gráficos da Figura 21 e do Anexo 03 mostra-nos que a trajetória dos segmentos, perna e coxa, na situação sapato, apresenta uma menor variabilidade no ângulo de fase ao longo do ciclo. A tendência de uma maior consistência na coordenação diante uma restrição, observada nesse estudo, vem reforçar a necessida-

de de considerar os fatores ambientais no estudo da coordenação e do controle motor. Segundo NEWELL (1986) as restrições interagem dinamicamente de modo a atingir um objetivo funcional.

Através dos ângulos de fase dos segmentos observa-se que a maior variação ocorre ente os valores -100 e 100 graus. Esta alteração ocorre entre a fase final do apoio do pé no sentido frente-trás, seguido da retirada do mesmo e a fase de deslocamento no sentido trás-frente, antes do toque do calcanhar no chão. De acordo com os gráficos dos ângulos de fase, parece existir momentos onde a coordenação apresenta maior plasticidade e outros onde a variabilidade é bem pequena. Tomando como referência o ponto em que o calcanhar toca o chão, ou seja, quando o ângulo de fase está por volta de 180°, observa-se uma menor variação entre os sujeitos dentro de cada grupo.

A explicação sobre a existência de momentos de maior variação dentro do ciclo coordenativo foi esboçada por CLARK et al. (1991a), referindo-se à necessidade do sistema de se adaptar às diferentes superfícies com as quais nos deparamos.

Uma análise mais detalhada da coordenação, em diferentes idades e situações experimentais, pode ser obtida através dos ângulos de reversão

3 - Reversão

É assumido que o momento em que um dos segmentos muda a direção do seu deslocamento representa também uma mudança na organização neuromotora, representada por alterações nos parâmetros de controle do sistema. Este momento é denominado de reversão. A Tabela 01 apresenta a média e o desvio padrão dos ângulos de fase, nas reversões dos 16 sujeitos para os dois segmentos nas duas situações experimentais. Inicialmente, a reversão será vista em relação a cada segmento, por exemplo, o ângulo de fase da perna no momento em que esta muda o sentido.

Os dados da Tabela 01 mostram-nos que a situação sapato provocou alterações nos valores dos ângulos de fase no momento da reversão. Em termos percentuais tem-se as seguintes variações: 10.1, 0.6, 4.5 e 0.8 respectivamente, primeira reversão da perna, segunda reversão da perna, primeira reversão da coxa e segunda reversão da coxa. As variações nos ângulos de reversão representaram uma tendência bastante interessante. Diante da situação sapato as primeiras reversões apresentaram aumento no ângulo de fase (81.9 - 90.2; 120 - 126,3) enquanto que as segundas reversões apresentaram redução deste (128.2

- 127,4 ; 296,2 - 293,8). Esta relação de complementaridade na variação do ângulo de reversão vem fortalecer a idéia de uma estrutura coordenativa.

Ainda em relação aos dados da Tabela 01, pode-se observar que os valores do desvio-padrão são menores na situação sapato para as quatro reversões. Isto vem reforçar a tendência observada na análise dos ângulos de fase.

TABELA 01 - Média (x) e Desvio Padrão (s) dos ângulos de fase dos segmentos perna e coxa, no momento da reversão nas situações normal e sapato.

REVERSÃO E SITUAÇÃO	ÂNGULO DE FASE (graus)			
	NORMAL		SAPATO	
	X	S	X	S
1ª Rev. Perna	81,865	14,278	90,251	10,964
2ª Rev. Perna	128,177	5,584	127,404	6,488
1ª Rev. Coxa	120,985	15,951	126,293	5,973
2ª Rev. Coxa	296,185	6,71	293,767	5,53

Dentro de cada grupo os valores dos ângulos de fase, no momento da reversão, seguiram a mesma tendência apresentada anteriormente como mostra a Figura 22. Apenas o grupo 1 apresentou um ângulo de fase bem menor que os demais grupos na primeira reversão da perna, na situação normal.

A análise do ângulo de fase no momento da reversão nos fornece dados apenas sobre os segmentos de forma isolada. Para verificar a coordenação entre os segmentos perna e coxa é necessário tomar o ângulo de fase de um segmento no momento da reversão do outro. Isto é , o ângulo de fase da perna no momento da reversão da coxa e vice-versa.

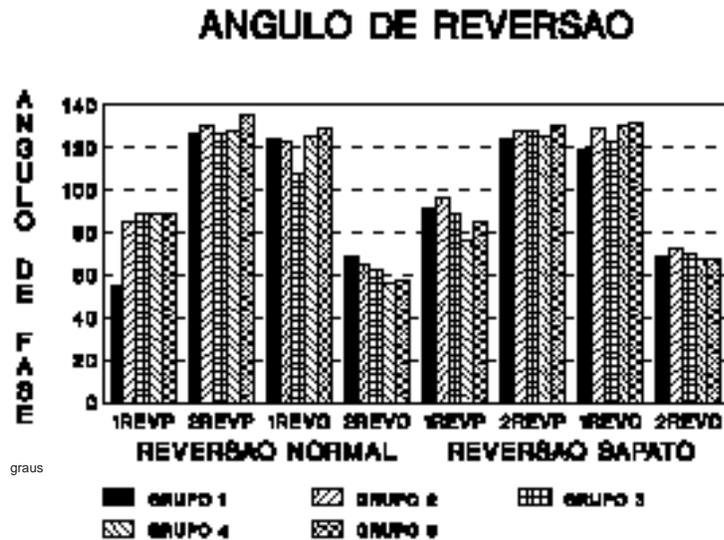


FIGURA 22 - Ângulos de fase no momento da reversão no segmento, nas situações normal e sapato, divididos por reversão (1ª reversão da perna - 1REVP; 2ª reversão da perna - 2REVP; 1ª reversão da coxa - 1REVC e 2ª reversão da coxa - 2REVC) e por grupos.

4 - Ponto de Coordenação

O ângulo de fase de um segmento no momento da reversão do outro, representa o ponto de coordenação. Os dados apresentados na Tabela 02 mostram-nos que o ponto de coordenação é mais variável na primeira reversão da coxa, nas duas situações experimentais.

Uma análise geral, evidencia que a utilização da sandália, não apresentou diferenças consideradas arbitrariamente relevantes na coordenação entre os segmentos. Houve, porém, uma maior consistência na coordenação, na situação sapato, como mostra a redução no desvio padrão na primeira e na segunda reversão da perna e na segunda reversão da coxa. Isto vem demonstrar que a coordenação intra-membros no andar, enquanto um sistema oscilatório de ciclo-limite, é regida pela propriedade “estabilidade estrutural”. Esta propriedade prediz que o sistema coordenativo mantém a sua estabilidade mesmo diante de pequenas alterações nos parâmetros de controle. O aumento no comprimento do membro inferior não foi suficiente para levar o sistema a uma nova organização de fase. Com exceção da primeira

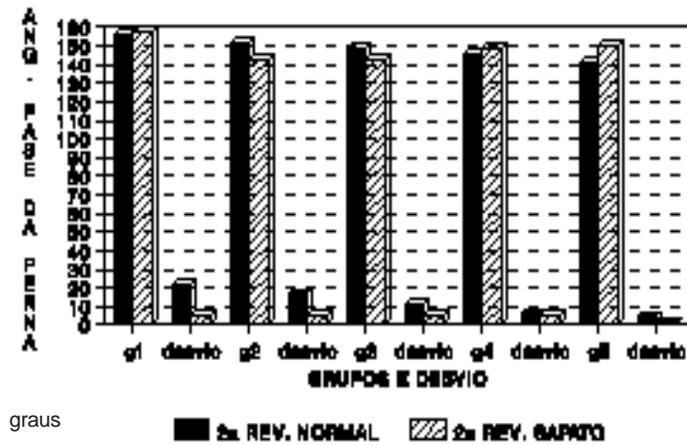
reversão da coxa, pode-se afirmar que o andar torna-se mais rígido quando executado sob uma situação adversa, conforme mostra a tabela 02.

TABELA 02 - Média (\bar{x}) e Desvio Padrão (s) dos ângulos de fase de cada segmento, no momento da reversão do outro segmento, nas situações normal e sapato.

REVERSÃO E SITUAÇÃO	ÂNGULO DE FASE (graus)			
	NORMAL		SAPATO	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s
1ª Rev. Perna	13,745	10,514	11,173	6,445
2ª Rev. Perna	132,889	10,805	130,463	8,565
1ª Rev. Coxa	22,579	16,421	39,036	18,169
2ª Rev. Coxa	148,903	13,628	146,911	6,848

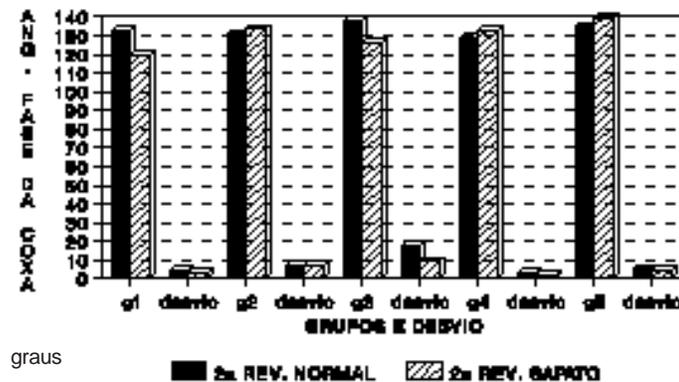
A observação do ponto de coordenação em diferentes idades nos levou a algumas análises importantes. Em primeiro lugar, a segunda reversão, tanto da coxa quanto da perna (Figura 23a, b) apresentaram valores angulares bem próximos, nas duas situações (normal e sapato). Na segunda reversão da coxa, o desvio foi sempre maior na situação normal, porém este seguiu uma tendência de diminuição do grupo 1 para o grupo 5. Na segunda reversão da perna, os grupos apresentaram desvios pequenos, mas sem nenhuma tendência, como na segunda reversão da coxa. Na Figura 24 pode-se visualizar que a alteração do ponto de coordenação na presença de uma restrição foi significativa na primeira reversão da coxa (22,6 - 39,0). A análise entre os grupos mostra que o ponto de coordenação da primeira reversão da coxa é bem maior na situação sapato para os três primeiros grupos (variação de aproximadamente 50, 35 e 20 graus, respectivamente) e com valores próximos nos dois outros grupos (variação de aproximadamente 1 e 2 graus, respectivamente). Parece que a restrição afetou mais aos grupos de menor idade. Ainda em relação à primeira reversão da coxa, na situação normal, pode-se observar um aumento crescente no ângulo de fase da perna, do grupo 1 até o grupo 4, e uma redução no grupo 5.

PONTO DE COORDENACAO 2ª REVERSAO COXA



(A)

PONTO DE COORDENACAO 2ª REVERSAO PERNA



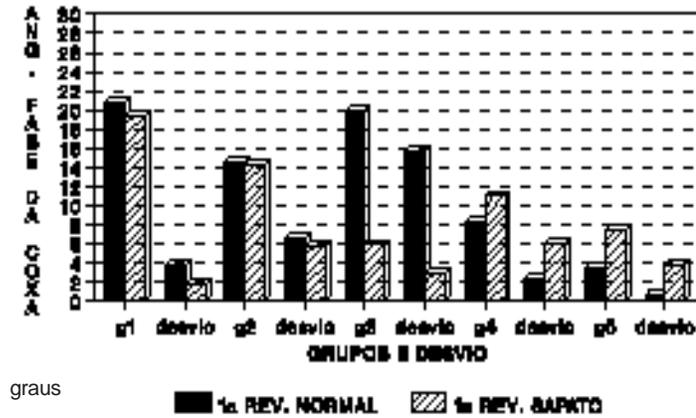
(B)

FIGURA 23 - O ponto de coordenação em função dos grupos (g1, g2, g3 g4 e g5) e das situações normal e sapato. (A) O ângulo de fase da perna no momento da segunda reversão da coxa e (B) o ângulo de fase da coxa no momento da segunda reversão da perna.

O ponto de coordenação na primeira reversão da perna (Figura 24a) também apresentou uma tendência de variação. Com exceção do grupo 3, que teve um comportamento atípico, pode-se observar uma significativa diminuição do valor do ângulo de fase da

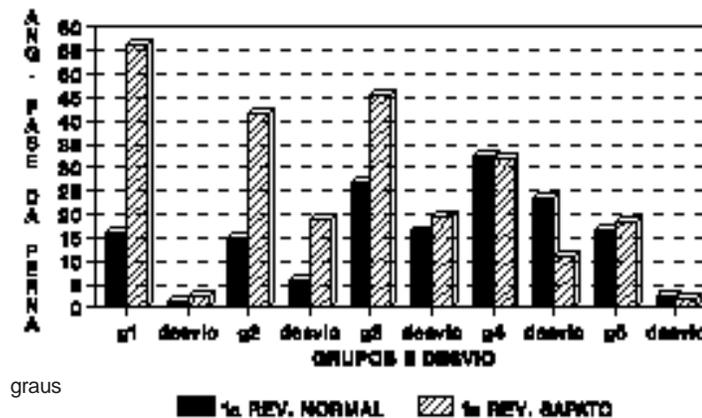
coxa, do grupo 1 ao grupo 5. O comportamento do ponto de coordenação na primeira reversão da perna, na situação normal, pode ser devido aos dados de um sujeito do grupo. Existe uma grande variação nos dados do sujeito dois em relação aos demais do grupo.

PONTO DE COORDENAÇÃO 1ª REVERSAO PERNA



(A)

PONTO DE COORDENAÇÃO 1ª REVERSAO COXA



(B)

FIGURA 24 - O ponto de coordenação em função dos grupos (g1, g2, g3, g4, e g5) e das situações normal e sapato. (A) o ângulo de fase da coxa no momento da primeira reversão da perna, e, (B) o ângulo de fase da perna no momento da primeira reversão da coxa.

Esta diminuição foi maior e mais consistente para a situação normal. Isto pode evidenciar um processo de desenvolvimento. Para a situação sapato, observou-se uma diminuição até o grupo 3 e um aumento nos grupos 4 e 5, ficando estes com valores acima da situação normal.

A melhor visualização da coordenação entre os segmentos perna e coxa durante todo o ciclo do andar é obtida através da fase relativa ou da “história do movimento”.

4 - Fase Relativa

A fase relativa expressa as relações coordenativas entre os segmentos perna e coxa ao longo do ciclo do andar. Através da fase relativa pode-se observar qual o segmento está à frente do outro e como estes se comportam em diferentes idades e situações ambientais.

A fase relativa foi calculada para todos os grupos nas duas situações experimentais (Anexo IV). A Figura 25 apresenta a fase relativa média de todos os sujeitos nas situações normal e sapato.

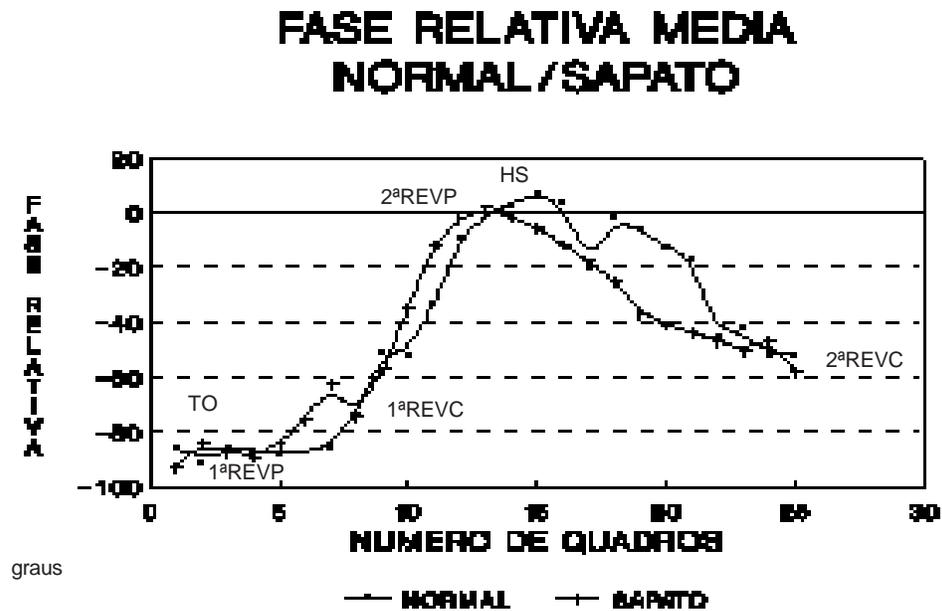


FIGURA 25 - A fase relativa média de todos os sujeitos nas situações normal e sapato.

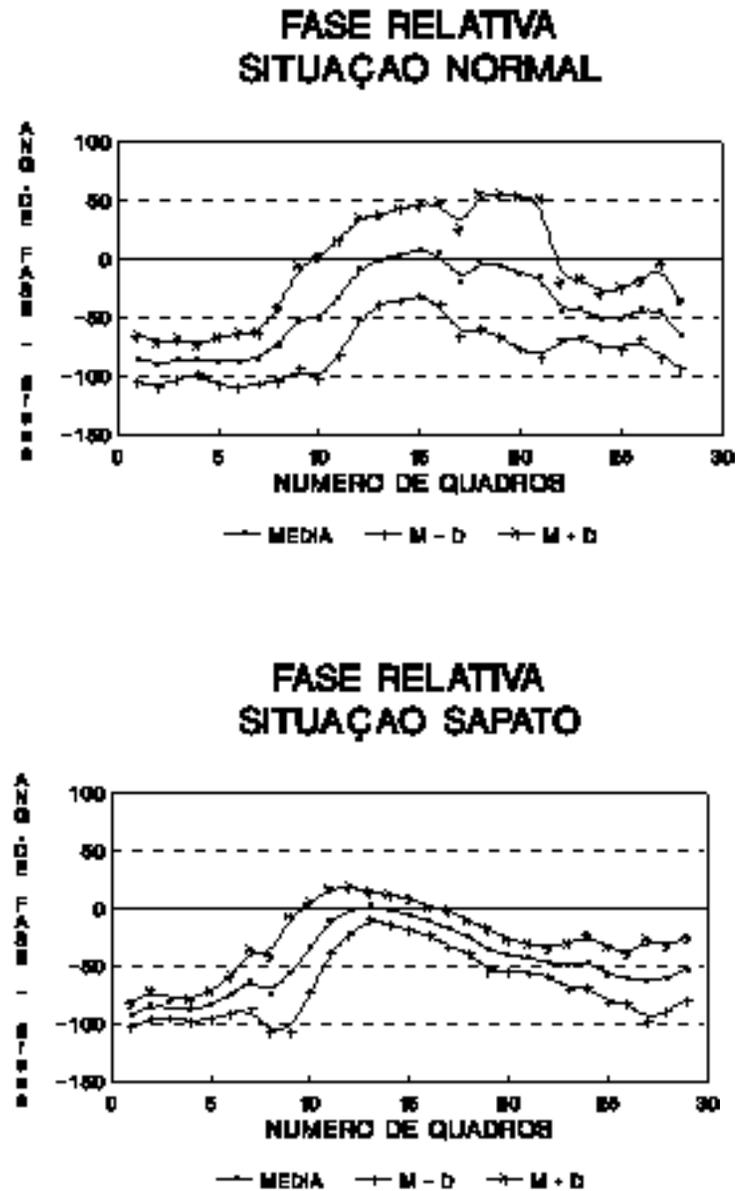


FIGURA 26 - A média (M) e o desvio padrão (M-D e M+D) da fase relativa de todos os sujeitos nas situações normal e sapato.

As maiores variações observadas entre os gráficos da Figura 25 ocorrem entre a reversão dos segmentos. Observa-se que próximo às reversões existe pouca diferença entre a fase relativa da situação normal em relação à situação sapato. Isto sugere que o bloqueio de fase ocorre no momento em que os segmentos mudam sua direção no deslocamento. Segundo CLARK et al. (1991a) a variabilidade assume uma função importante na

adaptação ao meio ambiente. Os gráficos mostram ainda que existe uma diferença de, aproximadamente, 90 graus no ângulo de fase da perna em relação ao da coxa. Este resultado também encontrado por CLARK & PHILLIPS (1991a) indica que no momento em que o pé sai do chão a coxa está 90 graus à frente da perna. Esta diferença vai diminuindo na medida em que o pé se desloca até próximo ao toque do calcanhar no chão. Em seguida os dois segmentos atingem ângulos semelhantes, chegando a um momento onde a perna apresenta um ângulo de fase maior do que a coxa e retornam a um valor negativo, com a coxa assumindo a supremacia em relação à perna. A diferença na fase relativa média explicita que tal coordenação não apresenta uma relação constante ao longo do ciclo, isto é, ela é não-linear. A média (M) e o desvio padrão (D) da fase relativa média para as situações normal e sapato são apresentados na Figura 26.

Semelhante aos dados apresentado por CLARK & PHILLIPS (1991a) a situação onde existe uma restrição, isto é como peso ou com uma sandália apresenta um desvio padrão menor do que a situação normal. Pode-se ainda observar que existem pontos ou momentos onde o desvio padrão é menor nas duas situações experimentais. Isto ocorre entre a retirada do pé até próximo a primeira reversão da coxa (fase de deslocamento).

Capítulo IX

CONCLUSÃO

Apesar do andar se constituir em um movimento aparentemente simples e de rápido desenvolvimento, este apresenta, muitas possibilidades para o entendimento da coordenação e do controle motor.

A partir do referencial teórico da Teoria dos Sistemas Dinâmicos, o primeiro passo no estudo da coordenação e do controle motor é a identificação da variável coletiva, ou estrutura coordenativa. Isto foi feito através de posição e velocidade angulares.

A estrutura coordenativa intra-membros durante o andar, caracterizada pelos atratores da perna e da coxa, mostrou-nos que: (1) a coordenação entre os segmentos perna e coxa é regida por princípios dinâmicos; (2) os movimentos dos segmentos apresentam trajetórias distintas, significando diferente dissipação de energia; (3) ao longo das idades não existe diferença na trajetória dos segmentos; e (4) a situação sapato não foi suficiente para produzir alterações na dinâmica dos movimentos da perna e da coxa. Portanto, o atrator parece ser uma excelente ferramenta para o estudo da coordenação e do controle, por apresentar uma descrição de baixa dimensionalidade de um fenômeno complexo como movimento humano.

Através dos ângulos de fase observou-se uma íntima ligação entre restrição e coordenação dos movimentos. Em todos os grupos observou-se uma maior proximidade nos valores dos ângulos de fase quando na presença da restrição sapato. Tal resultado merece maiores estudos, pois levanta indícios sobre a influência do meio ambiente na coordenação e no controle dos movimentos.

Um dos objetivos dos estudos atuais sobre a coordenação inter e intra-membros é identificar relações invariantes. A análise da estrutura coordenativa intra-membros no

andar, para os segmentos perna e coxa mostrou-nos a existência de uma relação invariante independente da idade e da situação ambiental. A invariância foi observada nos valores dos ângulos de fase no momento da reversão no segmento.

Apesar da situação sapato ter provocado alterações nos valores dos ângulos de reversão observou-se que as alterações seguiram uma relação de complementaridade, sendo a segunda reversão o momento do "ajuste" da estrutura coordenativa. Também pode-se visualizar, através dos dados da reversão, a influência da restrição na diminuição da variabilidade do comportamento. Uma outra forma de observar as relações entre os segmentos é através do ponto de coordenação. Através deste foi possível observar algumas evidências sobre a existência de relações invariantes ao longo das idades, e de relações com tendência desenvolvimental. Tanto na segunda reversão da coxa quanto da perna, verificou-se uma mesma tendência em todos os grupos e situações experimentais. Estes resultados podem contribuir para a identificação de um parâmetro de ordem na organização entre os segmentos perna e coxa no andar.

O ponto de coordenação analisado na primeira reversão da perna, na situação normal, indica uma diminuição ao longo das idades. Este dado representa uma tendência que pode ser entendida como uma melhor organização entre os segmentos com o passar do tempo. Também através da diminuição do desvio-padrão do ponto de coordenação na segunda reversão da coxa, pode-se levantar de uma melhor organização ao longo das idades. Apesar da necessidade de maiores estudos, os resultados já mostram a adoção da REVER-SÃO como critério de estudo da coordenação e do controle dos movimentos.

A descrição da dinâmica do sistema coordenativo perna e coxa, realizada neste estudo, apresentou as propriedades dos osciladores não-lineares de ciclo limite. Os retratos de fase dos segmentos perna e coxa apresentaram, separadamente, dois tipos de comportamento. Para cada segmento existe uma relação específica e estável de tempo e amplitude caracterizando a propriedade bloqueio de fase ou a convergência de pontos de coordenação. Uma outra propriedade, o treinamento mútuo, foi identificada através da fase relativa entre os segmentos perna e coxa nas diferentes faixas etárias. Por último, a estabilidade estrutural foi analisada através da restrição caracterizada pela situação sapato.

A Teoria dos Sistemas Dinâmicos, utilizada como referencial teórico neste trabalho, tem-se mostrado eficaz para o estudo do movimento humano, oferecendo novos caminhos para responder a velhas questões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, J.A. (1971). A closed-loop theory of motor learning. **Journal of Motor Behavior**, 3, 12, 111-149.
- ARUTYUNYAN, G.H., GURFIENKEL, V.S. & MIRSKY, M.L. (1969). Investigation of aiming at a target. **Biophysics**, 13, 536-538.
- ASATRYAN, D.G. & FELDMAN, A.G. (1965). Functional tuning of the nervous systems with control of movements or maintenance of a steady posture - I. Mechanographic analysis on the work of the joint on execution of a postural task. **Biophysics**, 10, 925-935.
- BARAC-CIKOYA, D. & TURVEY, M.T. (1991). Perceiving aperture size by striking. **Journal of Experimental Psychology**, 17, 2, 330-346.
- BAYLEY, N. & DAVIS, F.C. (1935). Growth changes in bodily size and proportions during the first three years: A developmental study of sixty-one-children by repeated measurements. **Biometrika**, 27, 26-87.
- BERNSTEIN, N.A. (1967). **The co-ordination and regulation of movements**. London: Pergamon Press.
- BERTENTHAL, V. I. & BAI, D.L. (1989). Infants' sensitivity to optical flow for controlling posture. **Developmental Psychology**, 25, 6, 936-945.
- BRANDA, C. HAUNBENSTRICKER, J. & SEEFELDT, V. (1984). Age changes in motor skills during childhood and adolescence. In R. TERJUNG (Ed.), **Exercise and sport sciences reviews** . Lexington, MA: Collamote Press.

- BRONFENBRENNER, U. (1977). Toward an experimental ecology of human development. **American Psychologist**, 32, 7, 513-531.
- BURILLO, F.J. & ARAGONÉS, J.I. (1986). **Introducción a la psicología ambiental**. Madrid: Alianza.
- CANNON, W.B. (1929). Organization for physiological homeostasis. **Physiologic Review**, 9:399-431.
- CLARK, J. E. (1987). Age related differences in programming and movement. In J.E. CLARK & J. H. HUMPHREY (Eds.), **Advances in Motor development research**. (Vol. 1). New York: AMS Press.
- CLARK, J.E. (1990). On viewing atypical and normal development as dynamical systems. **Paper presented at the International Conference on Infant Studies**, Montreal, Canada.
- CLARK, J.E. & PHILLIPS, S.J. (1991a). A longitudinal study of intralimb coordination in the first year of independent walking: A dynamical systems analysis. **Paper presented in Annual Conference of the North American Society for the Psychology of Sport and Physical Activity**, Asilomar, CA, June.
- CLARK, J.E. ; PHILLIPS & PETERSEN (1989). Developmental stability in jumping. **Developmental Psychology**, 25, 6, 929-935.
- CLARK, J.E.; TRULY, T.L. & PHILLIPS, S.J. (1990a). On the development of walking as a limit cycle system. In E. THELEN & L. SMITH (Ed.), **Dynamical Systems in Development Application**. Cambridge: M.A. Press.
- CLARK, J.E.; TRULY, T.L. & PHILLIPS, S.J. (1990b). A dynamical systems approach to understanding the development of lower limb coordination in locomotion. In H. BLOCH & B.I. BERTENTHAL (Ed.), **Sensory-motor organization and developmentt in infancy and early childhood**. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- CLARK, J. E. & WHITALL, J. (1989a). What is motor development? The lessons of history. **Quest**, 41, 183-202.
- CLARK, J. E. & WHITALL, J. (1989b). Changing Patterns of locomotion: from walking to skipping. In M.H. WOOLLACOTT & A. SHUMWAY-COOK (Eds.), **Development of posture and gait across the life span**. Columbia, SC: University of South Carolina Press.

- CLARK, J.E.; WHITALL, J. & PHILLIPS, S.J. (1988). Human interlimb coordination: the first 6 months of independent walking. **Developmental Psychology**, 21, 445-456.
- CONNOLLY, K.J. (1986). A perspective on motor development. In M.G. WADE & H.T.A. WHITING (Ed.), **Motor Development in Children: aspects of coordination and control**. Dordrecht: Martinus Nijhoff.
- CONNOLLY, K. & DALGLEISH, M. (1989). The emergence of a tool-using skill in infancy. **Developmental Psychology**, 21, 6, 894-912.
- DAVIDS, K. (1988). Ecological validity in understanding sport performance: some problems of definition. **Quest**, 40, 126-136.
- EASTON, T.A. (1972). On the Normal use of reflexes. **American Scientist**, 60, 591-599.
- FELDMAN, A.G. (1966a). Functional tuning of the nervous system with control of movement or maintenance of a steady posture II. Controllable parameters of the muscles. **Biophysics**, 11, 565-578.
- FELDMAN, A. G. (1966b). Functional tuning of the nervous systems with control of movement or maintenance of a steady posture III. Mechanographic analysis of execution by man of the simplest motor task. **Biophysics**, 11, 765-775.
- FITCH, H. & TURVEY, M. (1978). On the control of activity: some remarks from an ecological point of view. In D.M. LANDERS & R.W. CRISTINA (Eds.), **Psychology of Motor Behavior and Sport - 1978**. Champaign, IL: Human Kinetics.
- FITTS, P.M. & POSNER, M. I. (1967). **Human performance**. Belmont, CA: Brooks/Cole.
- FORRESTER, L.W.; PHILLIPS, S.J. & CLARK, J.E. (in press). Locomotion coordination in infancy: the transition from walking to running. In G. SALVELSBERG (Ed.), **The development of coordination in infancy**. Amsterdam: Elsevier.
- FORRSBERG, H. (1985). Ontogeny of human locomotion control. I. Infant stepping, supported locomotion and transition to independent locomotion. **Experimental Brain Research**, 57, 480-493.
- GESELL, A. & THOMPSON, H. (1929). Learning and growth in identical infant twins: an experimental study by the method of co-twin control. **Genetic Psychology Monographs**, 6, 1-124.

- GETCHELL, N. & ROBERTON, M.A. (1989). Whole body stiffness as a function of developmental level in children's hopping. **Developmental Psychology** 1, 525, 16, 920-928.
- GIBSON, J.J. (1966). **The senses considered as perceptual systems**. Boston: Houghton Mifflin.
- GIBSON, J. J. (1979). **The ecological approach to visual perception**. Boston: Houghton Mifflin.
- GOLDFIELD, E.C. (1989). Transition from rocking to crawling: Postural constraints on infant movement. **Developmental Psychology**, 25, 6, 913-919.
- HAKEN, H. (1983). **Synergetics: an introduction** . 3rd ed.. Heidelberg: Springer-Verlag.
- HALVERSON, H.M. (1931). An experimental study of prehension in infants by means of systematic cinema records. **Genetic Psychology Monographs**, 10, 107-286.
- IBERAL, A.S. (1977). A field and circuit thermodynamics for integrative physiology: I. Introduction general notion. **American Journal of Physiology/ Reg., Integrative Comp. Physiology**, 2, R171-R180.
- IBERAL, A.S. (1978). A field and circuit thermodynamics for integrative physiology III. Keeping the books - a general experimental method. **American Journal of Physiology/ Reg., Integrative Comp. Physiology**, 3, R85-R87.
- ILLICH, I. D. (1976). **Sociedades sem escolas**. 3 ed. , Petrópolis: Vozes.
- JENSEN, R. K. (1981). The effect of a 12-month growth period on the body moments of inertia of children. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, 13, 238-242.
- KELSO, J.A.S. (1977). Motor control mechanisms underlying human movement reproduction. **Journal of Experimental Psychology**, 2, 4, 529-543.
- KELSO, J.A.S., HOLT, K.G., RUBIN, P. & KUGLER, P.N. (1981). Patterns of human interlimb coordination emerge from the properties of nonlinear limit cycle oscillatory processes: Theory and data. **Jornal of Motor Behavior** 1, 513, 226-261.
- KUGLER, P. N.; KELSO, J. A. S. & TURVEY, M. T. (1980). On the concept of coordination structures as dissipative structures: I. Theoretical lines of convergence. In G. E.

- STELMACH & J. REQUIN (Ed.), **Tutorial in motor behavior**. New York: North-holland.
- KUGLER, P. N.; KELSO, J. A. S. & TURVEY, M.T. (1982). On The control and co-ordination of naturally developing systems. In J. A. S. KELSO & J. E. CLARK (Ed.), **The Development of Movement Control and co-ordination**. New York: Jonh Wiley & Sons ,
- KUHN, T. S. (1989). **A estrutura das Revoluções científicas**. São Paulo: Ed. Perspectiva.
- MARTENIUUK, R.G. (1976). **Information processing in motor skills**. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Mc GRAW, R.B. (1935). **Growth: a study of Johnny and Jimmy**. New York: Appleton-Centure-Crofts.
- MICHAELS, C.F. & CARELLO (1981). **Direct Perception**. Englewood Clifts, N.J.: Prentice-Hall.
- MOROWITZ, H.J. (1970). **Entropy for biologists. an introduction to thermodynamics**. New york: Academic Press.
- NEWELL, K.M. (1986). Constranints on the development of coordination. In M. G. WADE & H. T. A. WHITING (EDS.), **Motor Development in children: aspects of coordination and control**. Dordrecht: Martinus Nijhoff.
- NEWELL, K. M.; SCULLY, D. M.; TENENBAUM, F. & HADIMAN, S. (1989). Body scale and the development of prehension. **Developmental Psychology**, 22, 1, 13.
- NICOLLS, G. & PRIGOGINE, I. (1977). **Self-organization in nonequilibrium systems: from dissipative structures to order through flutuations**. New York: Wiley.
- PALMER, C. F. (1989). The discriminating nature of infants exploratory actions. **Developmental Psychology**, 25, 6, 885-893.
- PATTEE, H. H. (1977). Dynamic and linguistic modes of complex systems. **International Journal of General Systems**, 3, 259-266.
- PRIGOGINE, I. & NICOLS, G. (1971). Biological order, structure and intabilities,. **Quarterly Reviews of Biophysics**, 4, 107-148.
- RARICK, G. L. (1982). Discriptive research and process-oriented explanations of the motor development of children. In J. A. S. KELSO & J. E. CLARK (EDS.), **The**

Development of Movement Control and Coordination. Chichester: John Wiley & Sons.

- ROBERTON, M. A. (1977). A stability of stage categorizations across trials: implications for the “stage theory” of overarm throw development. **Journal of Human Movement Studies**, 3, 49-59.
- ROBERTON, M. A. (1978). Longitudinal evidence for developmental stages in the forceful overarm throw. **Journal of Human Movement Studies**, 4, 167-175.
- ROSEN, R. (1970). **Dynamical system theory in Biology. Volume I: Stability Theory and its application.** New York: Wiley.
- SALVESBERG, G.J.P.; WHITING, H. T. A. & BOOTSMA, R. J. (1991). Grasping Tau. **Journal of Experimental Psychology**, 17, 2, 315-322.
- SANTOS, L.C. (1988). Controle Motor: do processamento de informações à abordagem ecológica. **Monografia**, UNESP, Rio Claro.
- SCHONNER, G. & KELSO, J. A. S. (1988). Dynamic pattern generation in behavioral and neural systems. **Science**, 239, 1513-1520.
- SCHMIDT, R.A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. **Psychological Review** 1, 582, 14, 225-260.
- SHIRLEY, M. M. (1931). **The first two years: A study of twenty-five babies. Postural and locomotor development.** (vol. 1) Minneapolis, MN. University of Minnesota Press.
- SOMMER, R.. (1974). **Espacio y comportamiento individual.** Madrid: Instituto de Estudios de Administración Local.
- THELEN, E. (1986). Development of coordinated movement: implications for early human development. In M.G. WADE & H.T.A. WHITING (Eds.), **Motor development in children: aspects of coordination and control**, Dordrecht: Martinus Nijhoff.
- THELEN, E. (1989). The (re)discovery of motor development: learning new things from an old field. **Developmental Psychology**, 25, 6, 946-949.
- THELEN, E. & FISHER, D.M. (1982). Newborn stepping: an explanation for a “disappearing” reflex. **Developmental Psychology**, 18, 15, 760-775.
- THELEN, E., KELSO, J.A.S. & FOGEL, A. (1987). Self-organizing systems in infant motor development. **Developmental Review**, 139-65.

- THELEN, E., KELSO, J.A.S. & SKALA, K.D. (1987). The dynamic nature of early coordination: evidence from bilateral leg movement in young infants. **Developmental Psychology** 1, 523 2, 179-186.
- TURVEY, M.T. (1977). Preliminaries to a theory of action with reference to vision. In R.E. SHAW & J. BRANSFORD (Eds.), **Perceiving, acting and knowing**. Hillsdale, NJ: LEA.
- TURVEY, M.T. (1990). Coordination. **American Psychologist**, 45, 8, 938-952.
- TURVEY, M. T., & KUGLER, P. N. (1984). An ecological approach to perception and action. In H.T.A. Whiting (Ed.), **Human motor action: Bernstein reassessed**. Amsterdam: North - Holland.
- TURVEY, M.T., FITCH, H.L. & TULLER, B. (1982). The Bernstein Perspective: I. The Problemas of degrees of freedom and context-conditioned variability. In J.A.S. KELSO (Ed.), **Human Motor Behavior: An introduction**. Hillsdale, N.J.: LEA.
- TURVEY, M.T., SHAW, R.E. & MACE, W. (1978). Issues in the theory of action: degrees of freedom, co-ordinative structures and coalitions. In J. REQUIN (Ed.), **Attention and Performance VII** . Hillsdale, N.J.: LEA.
- ULRICH, B.D. (1989). Development of stepping patterns in human infants: a dynamical systems perspective. **Jornal of Motor Behavior** 1, 52, 14, 392-408.
- VON HOFSTEN, C. (1989). Motor development as the development of systems: comments on the special section. **Developmental Psychology**, 25, 16, 950-953.
- WHITALL, J. (1989). A developmental study of the interlimb coordination in running and galloping. **Jornal of Motor Behavior** , 521, 14, 409-428.
- YATES, F.E. (1982). The 10 J.A.F. Stevenson memorial lecture outline of a physical theory of physiological systems. **Canadian Journal Pharmacology**, 60, 217-248.
- ZANONE, P. G. & KELSO, J.A.S. (1992). Evolution of behavioral attractors with learning: nonequilibrium phase transitions. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, 18, 2, 403-421.
- ZELAZO, P.R. (1983). The developmet of walking: New findings and old assumptions. **Journal of Motor Behavior**, 15, 99-137.

Anexo I

DADOS DOS SUJEITOS

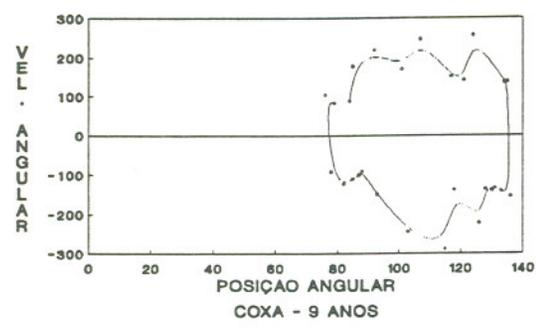
SUJEITOS	GRUPO / IDADE (anos)	ESTATURA (cm)	COMP. MEMBRO INFERIOR (cm)	ALTURA SANDÁLIA (cm)
1	3/9	133	66	3,3
2	3/8	128,5	64,5	3,2
3	2/7	127	62	3,1
4	3/9	148	73	3,7
5	3/8	129	60,5	3,1
6	2/7	126	58	2,9
7	2/6	119	56	2,8
8	1/4	97	42	2,1
9	1/5	104	46,5	2,3
10	5/20	162,5	78,5	3,9
11	5/20	161	77	3,9
12	4/11	142,5	71	3,6
13	4/11	141,5	71,5	3,6
14	4/10	147,5	73,5	3,7
15	4/10	139,5	67	3,4
16	2/6	117	58,5	3,0

Anexo II

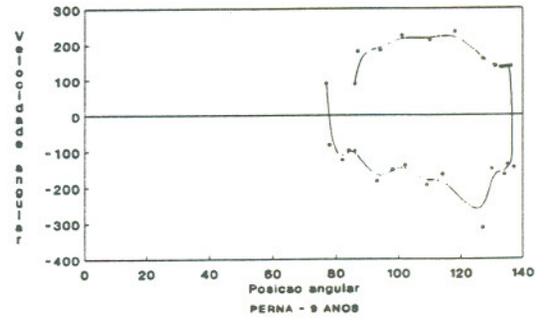
RETRATOS DE FASE DOS SEGMENTOS PERNA E COXA DURANTE O ANDAR NAS SITUAÇÕES NORMAL E SAPATO (Posição angular em graus e velocidade angular em graus por segundo)

Sujeito 1

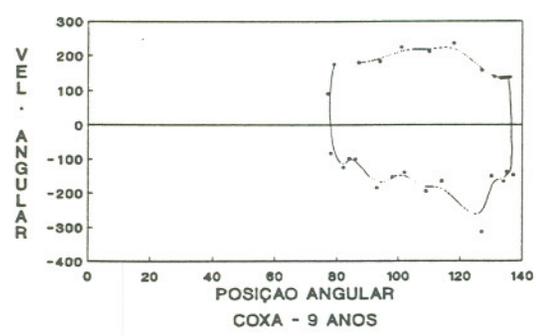
SUJEITO 01
Situacao Normal



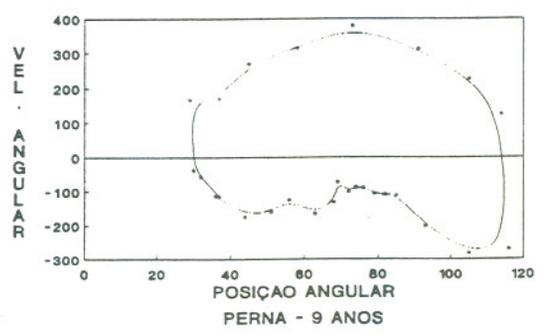
SUJEITO 01
Situacao Normal



SUJEITO 01
Situacao Sapato

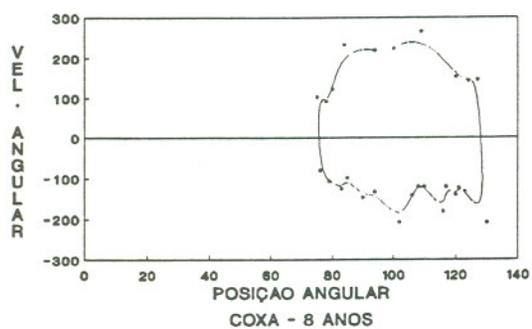


SUJEITO 01
Situacao Sapato

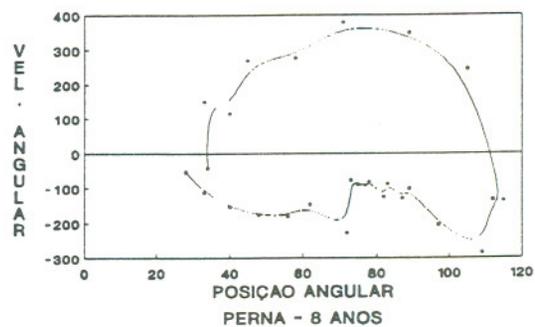


Sujeito 2

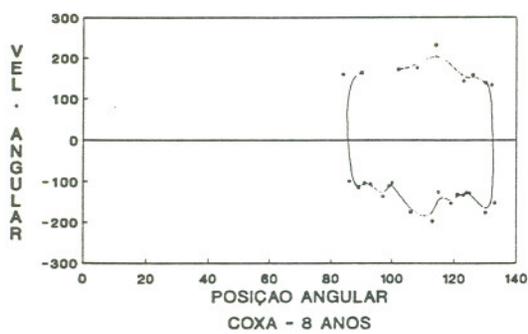
SUJEITO 02
Situacao Normal



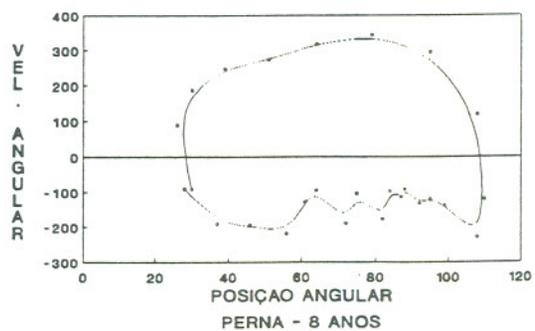
SUJEITO 02
Situacao Normal



SUJEITO 02
Situacao Sapato

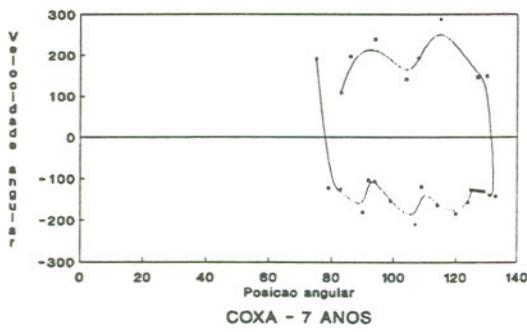


SUJEITO 02
Situacao Sapato

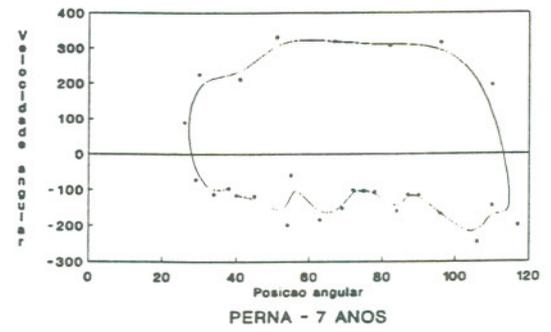


Sujeito 3

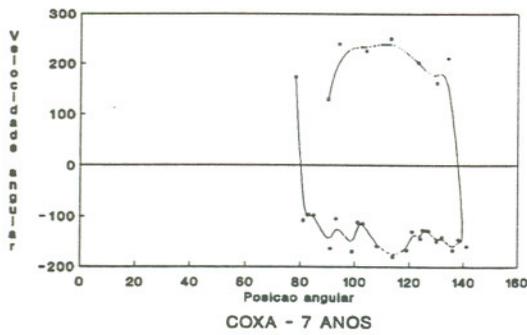
SUJEITO 03
Situacao Normal



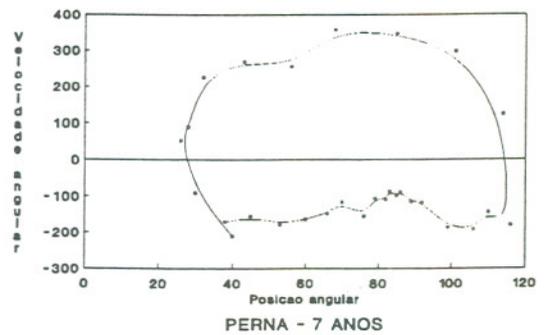
SUJEITO 03
Situacao Normal



SUJEITO 03
Situacao Sapato

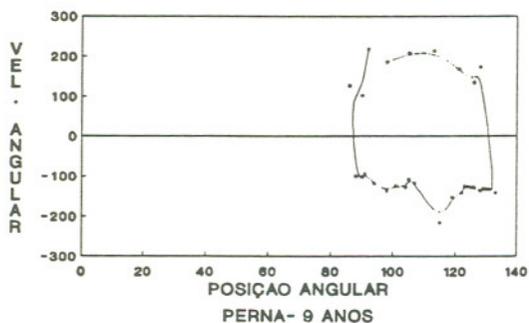


SUJEITO 03
Situacao Sapato

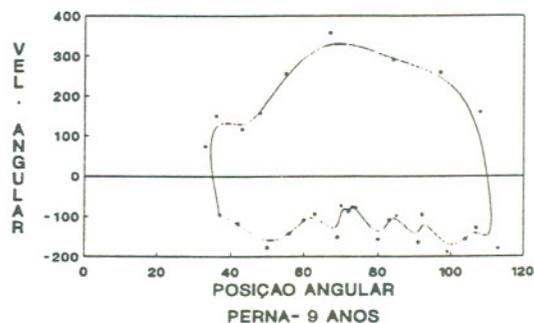


Sujeito 4

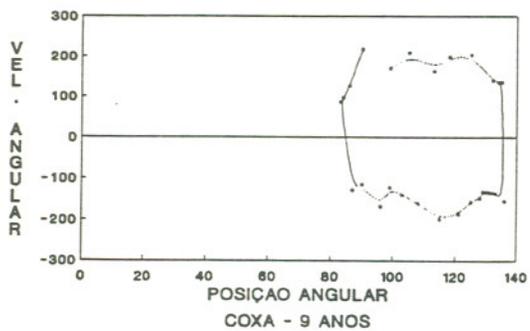
SUJEITO 04
Situacao Normal



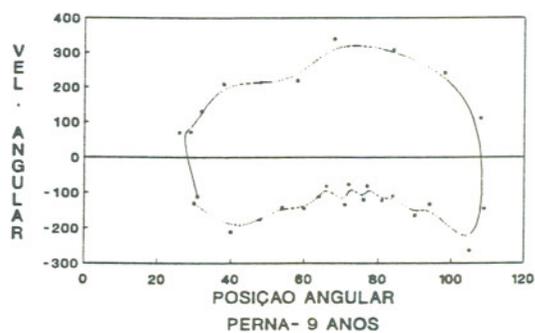
SUJEITO 04
Situacao Normal



SUJEITO 04
Situacao Sapato

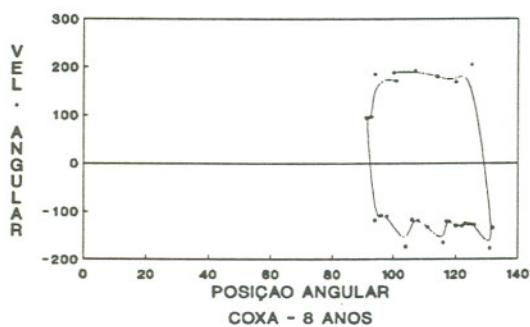


SUJEITO 04
Situacao Sapato

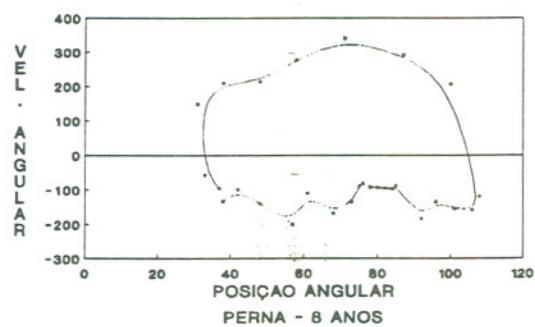


Sujeito 5

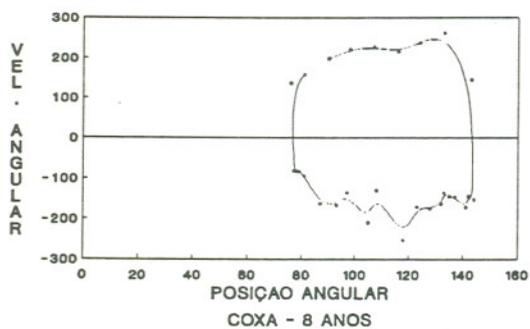
SUJEITO 05
Situacao Normal



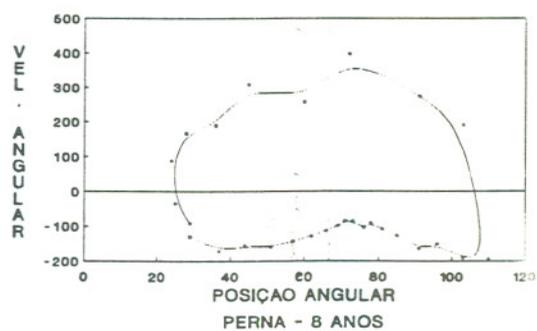
SUJEITO 05
Situacao Normal



SUJEITO 05
Situacao Sapato

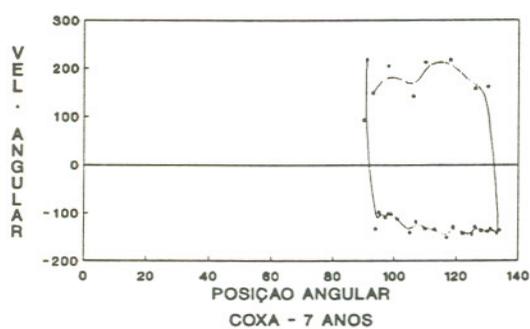


SUJEITO 05
Situacao Sapato

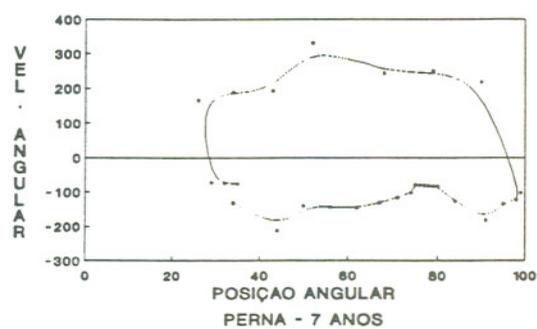


Sujeito 6

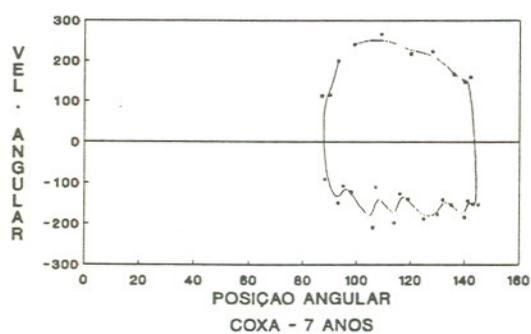
SUJEITO 06
Situacao Normal



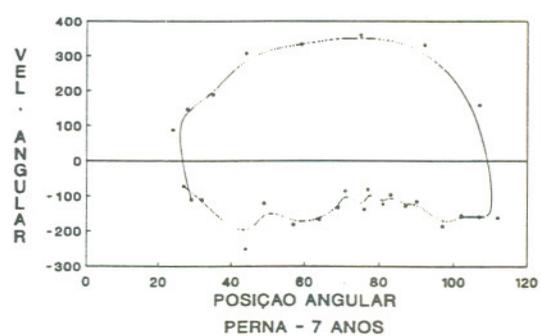
SUJEITO 06
Situacao Normal



SUJEITO 06
Situacao Sapato

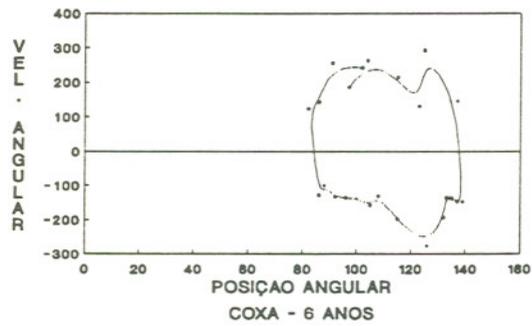


SUJEITO 06
Situacao Sapato

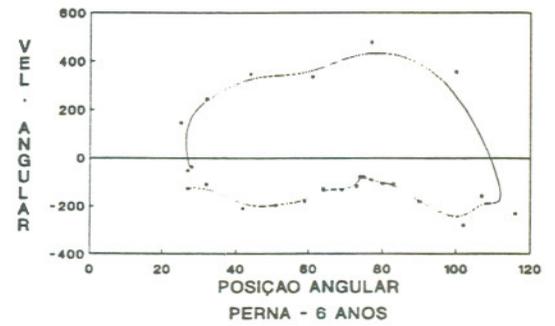


Sujeito 7

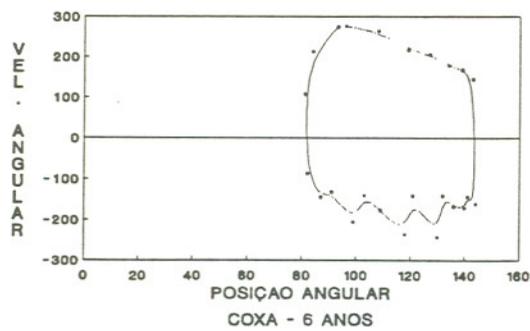
SUJEITO 07
Situacao Normal



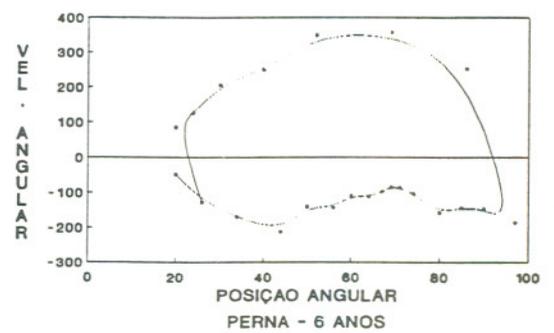
SUJEITO 07
Situacao Normal



SUJEITO 07
Situacao Sapato

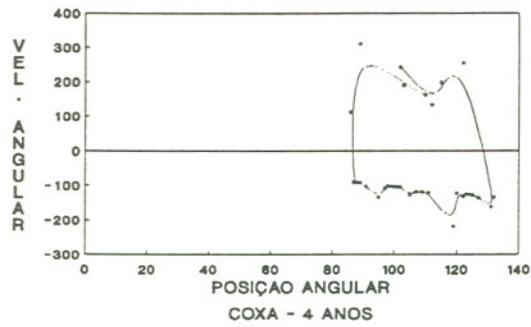


SUJEITO 07
Situacao Sapato

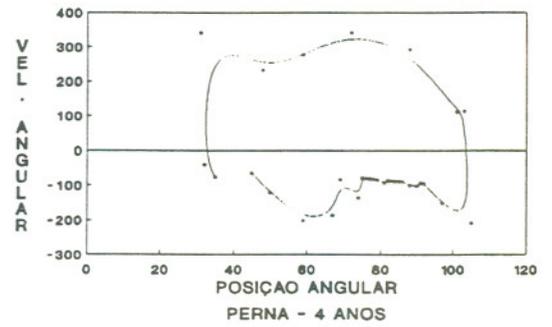


Sujeito 8

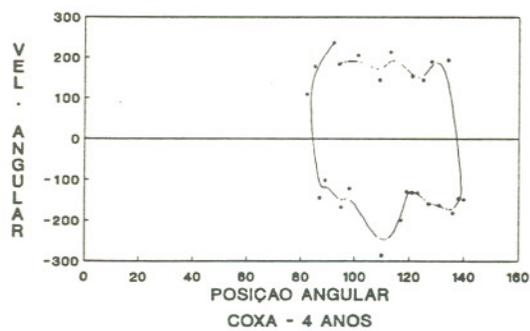
SUJEITO 08
Situacao Normal



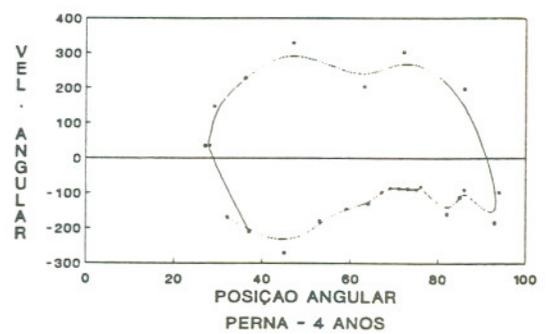
SUJEITO 08
Situacao Normal



SUJEITO 08
Situacao Sapato

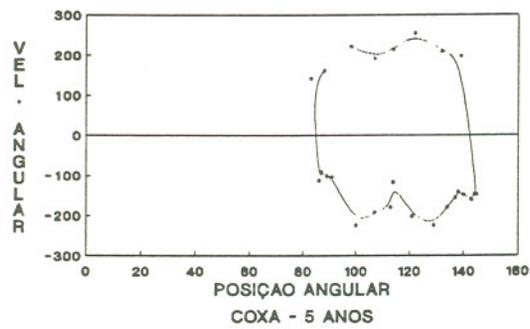


SUJEITO 08
Situacao Sapato

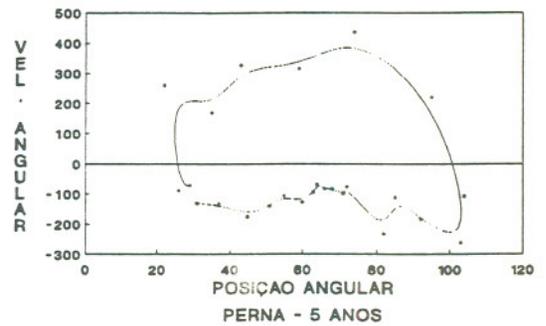


Sujeito 9

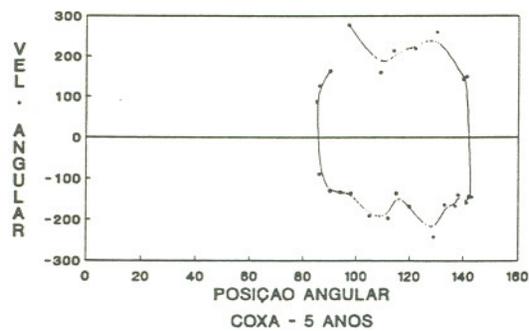
SUJEITO 09
Situacao Normal



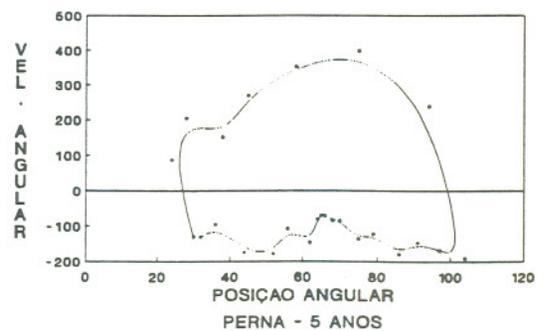
SUJEITO 09
Situacao Normal



SUJEITO 09
Situacao Sapato

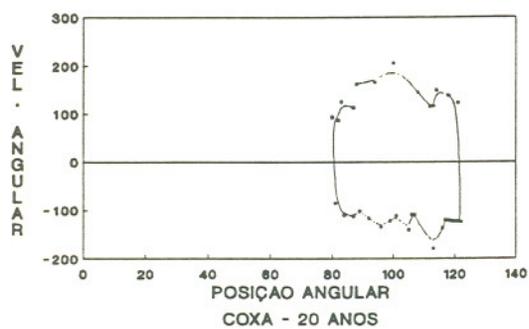


SUJEITO 09
Situacao Sapato

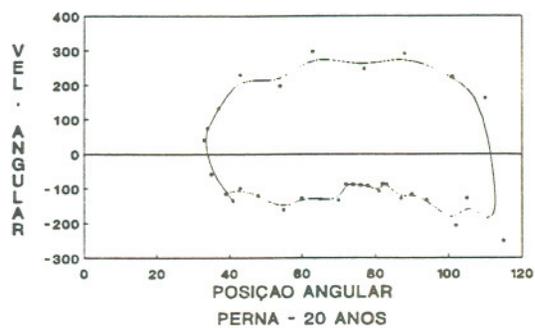


Sujeito 10

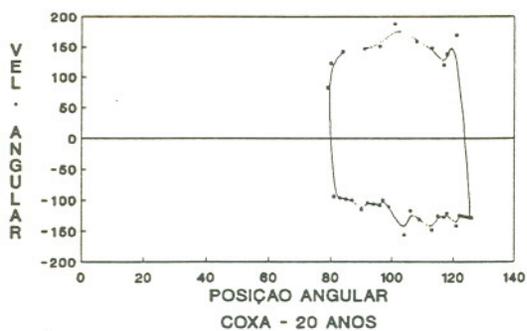
SUJEITO 10
Situacao Normal



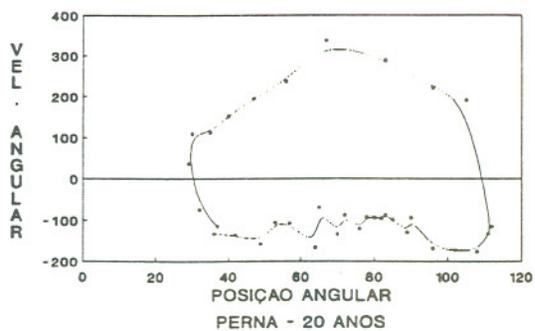
SUJEITO 10
Situacao Normal



SUJEITO 10
Situacao Sapato

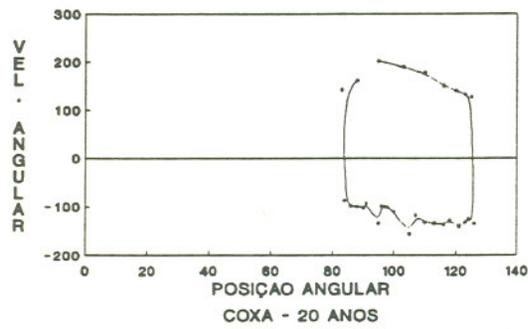


SUJEITO 10
Situacao Sapato

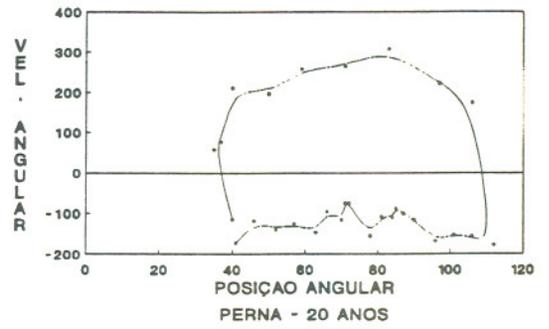


Sujeito 11

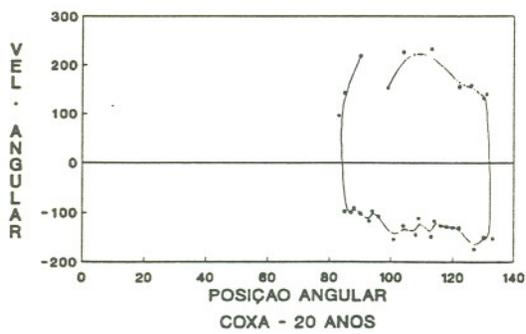
SUJEITO 11
Situacao Normal



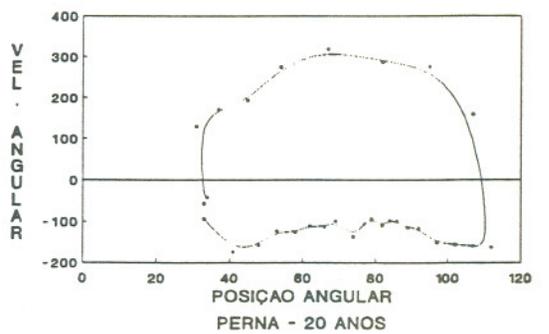
SUJEITO 11
Situacao Normal



SUJEITO 11
Situacao Sapato

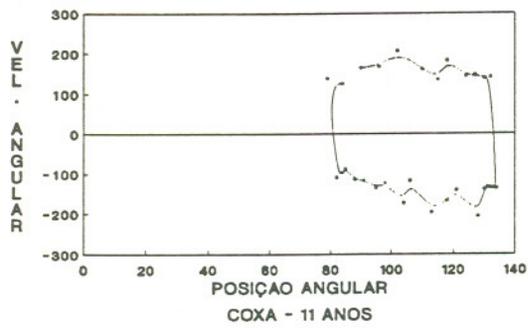


SUJEITO 11
Situacao Sapato

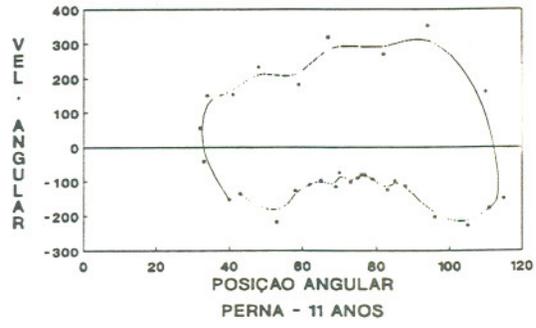


Sujeito 12

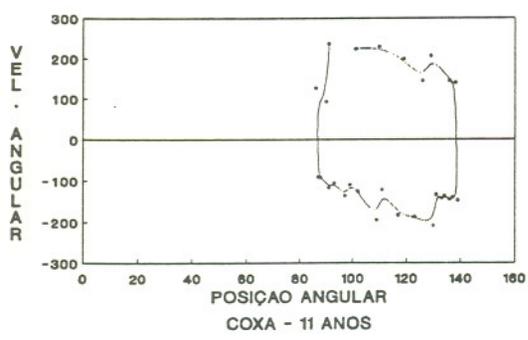
SUJEITO 12
Situacao Normal



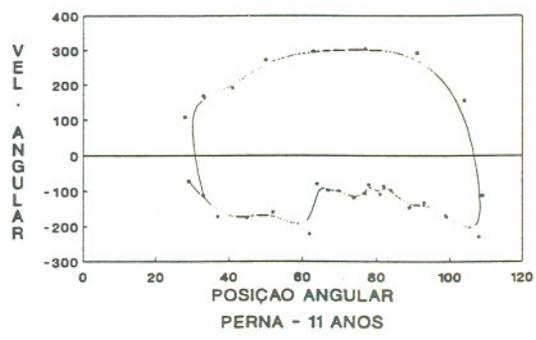
SUJEITO 12
Situacao Normal



SUJEITO 12
Situacao Sapato

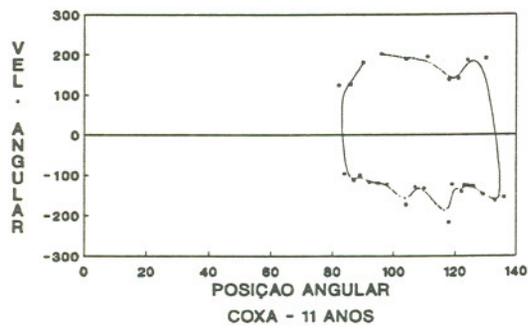


SUJEITO 12
Situacao Sapato

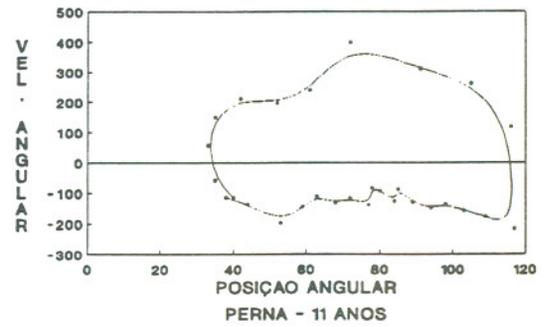


Sujeito 13

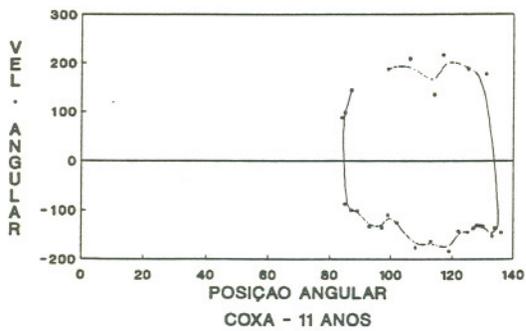
SUJEITO 13
Situacao Normal



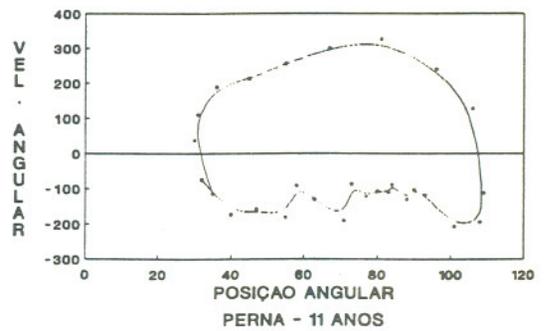
SUJEITO 13
Situacao Normal



SUJEITO 13
Situacao Sapato

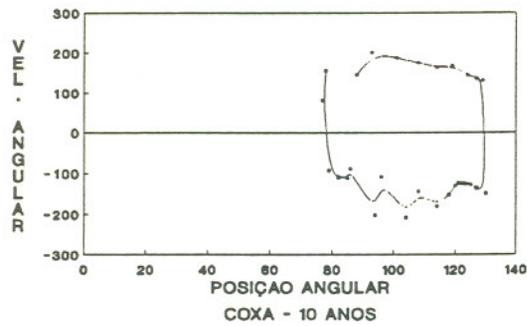


SUJEITO 13
Situacao Sapato

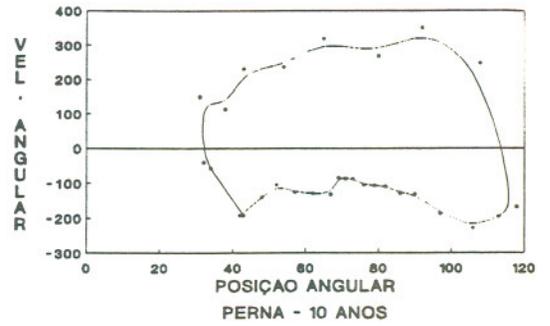


Sujeito 14

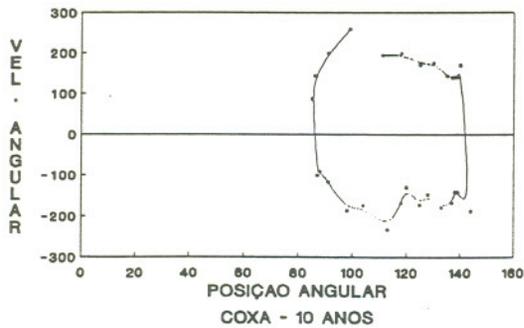
SUJEITO 14
Situacao Normal



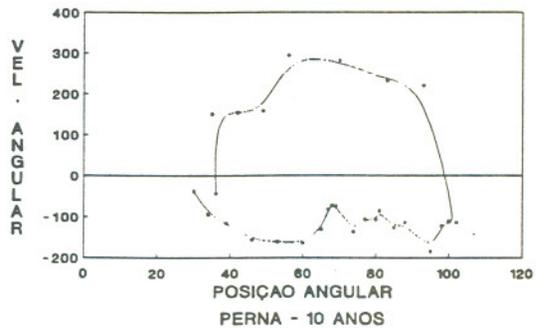
SUJEITO 14
Situacao Normal



SUJEITO 14
Situacao Sapato

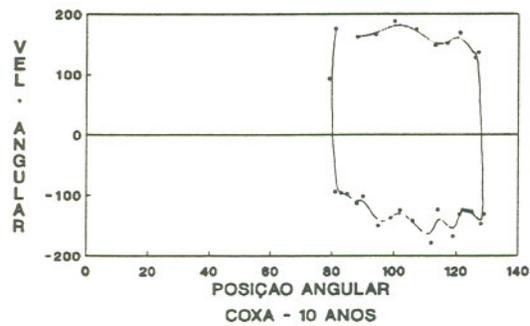


SUJEITO 14
Situacao Sapato

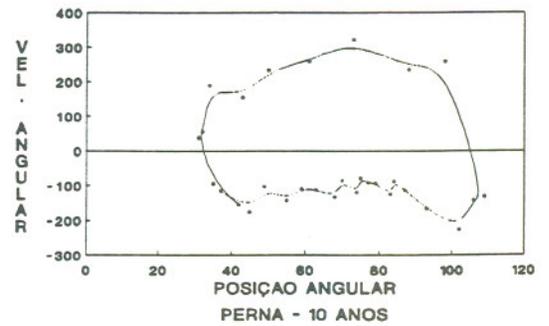


Sujeito 15

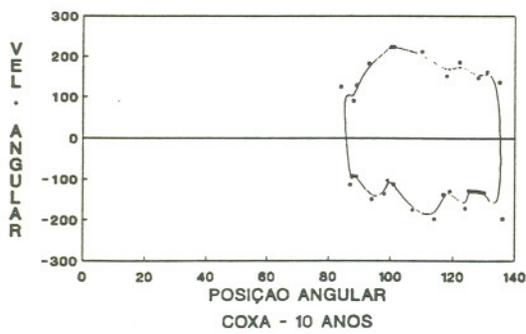
SUJEITO 15
Situacao Normal



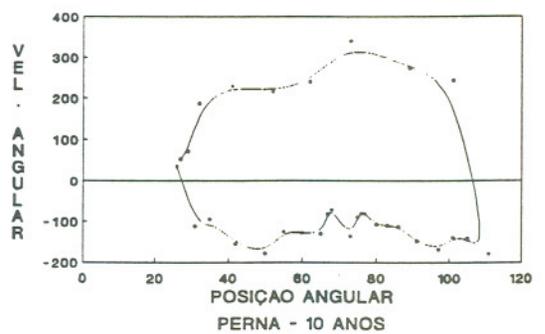
SUJEITO 15
Situacao Normal



SUJEITO 15
Situacao Sapato

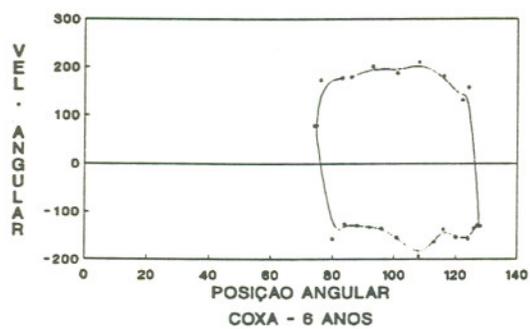


SUJEITO 15
Situacao Sapato

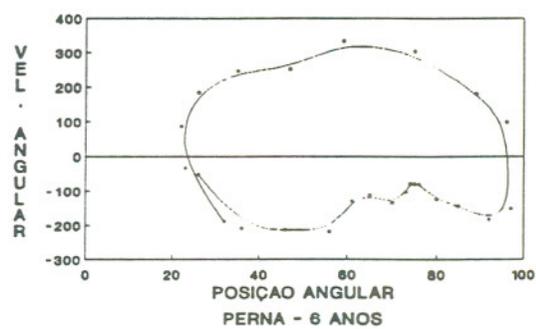


Sujeito 16

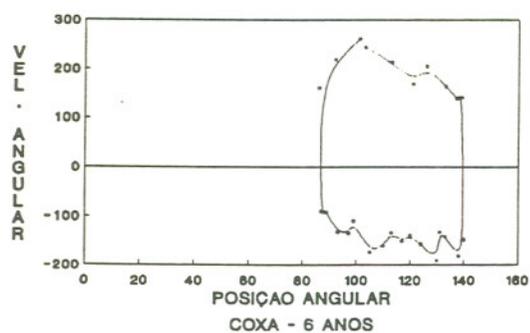
SUJEITO 16
Situacao Normal



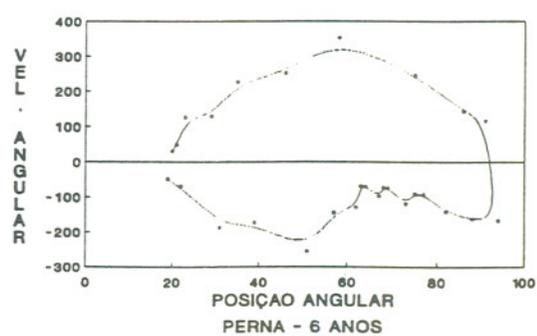
SUJEITO 16
Situacao Normal



SUJEITO 16
Situacao Sapato



SUJEITO 16
Situacao Sapato

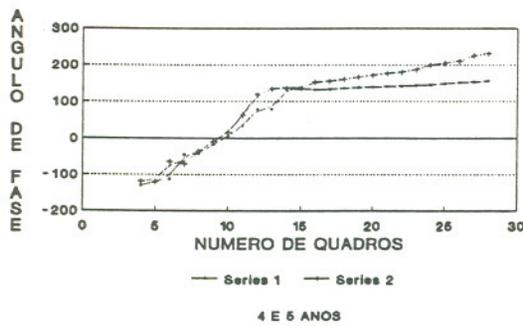


Anexo III

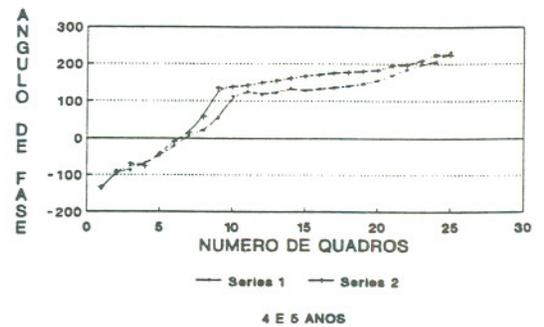
**ÂNGULOS DE FASE (em graus) DOS
SEGMENTOS PERNA E COXA NAS SITUAÇÕES
NORMAL E SAPATO.**

Grupo 1

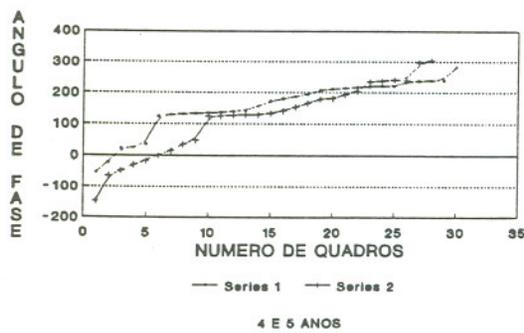
ANGULO DE FASE
PERNA - NORMAL



ANGULO DE FASE
PERNA - SAPATO



ANGULO DE FASE
COXA - NORMAL

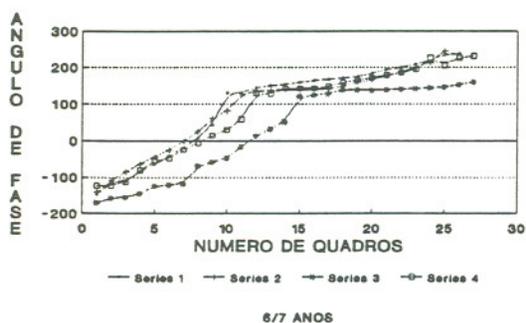


ANGULO DE FASE
COXA - SAPATO

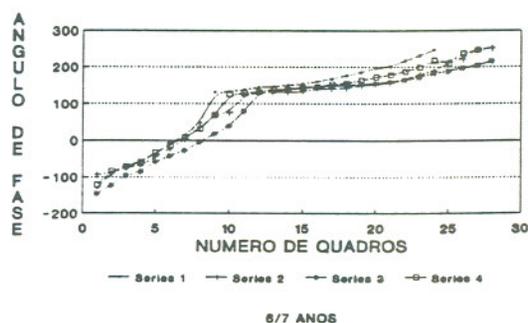


Grupo 2

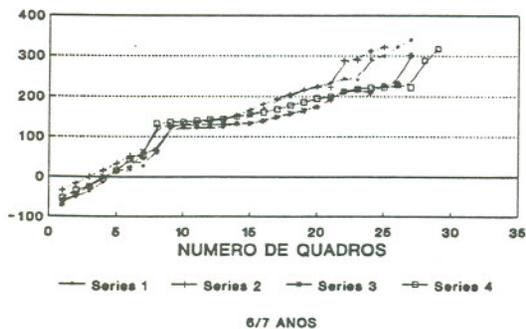
ANGULO DE FASE PERNA - NORMAL



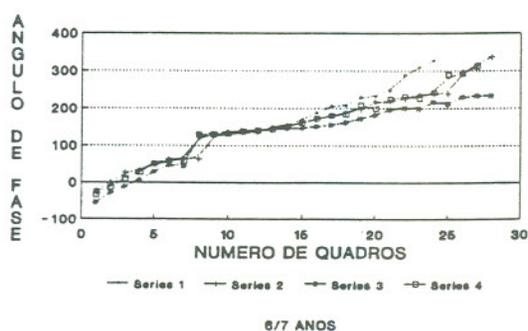
ANGULO DE FASE PERNA - SAPATO



ANGULO DE FASE COXA - NORMAL

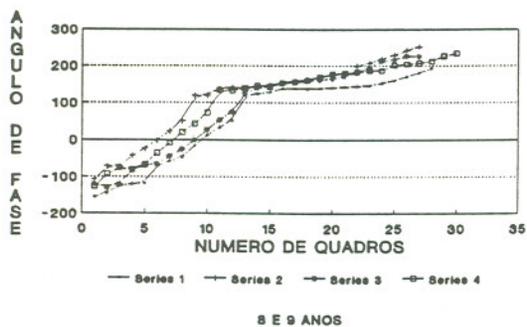


ANGULO DE FASE COXA - SAPATO

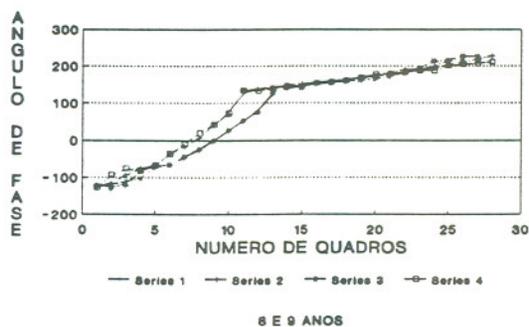


Grupo 3

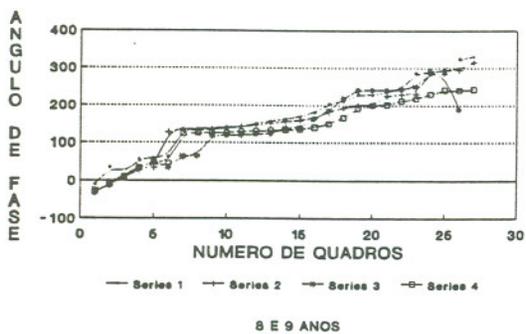
ANGULO DE FASE
PERNA - NORMAL



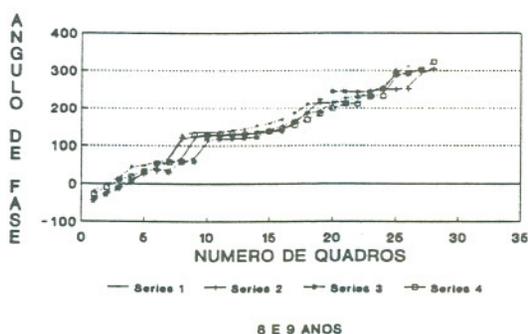
ANGULO DE FASE
PERNA - SAPATO



ANGULO DE FASE
COXA - NORMAL

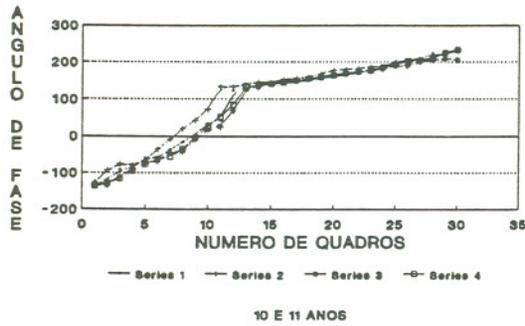


ANGULO DE FASE
COXA - SAPATO

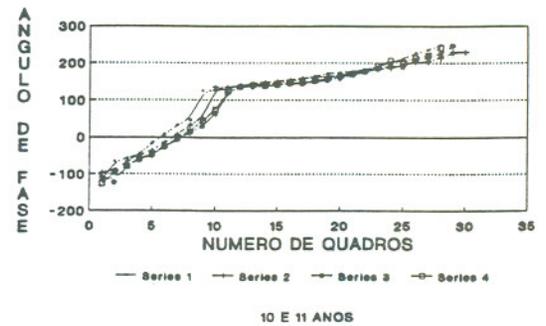


Grupo 4

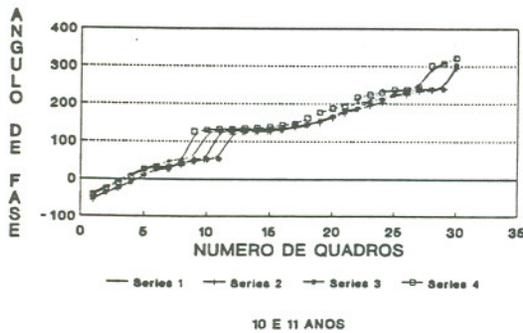
ANGULO DE FASE PERNA - NORMAL



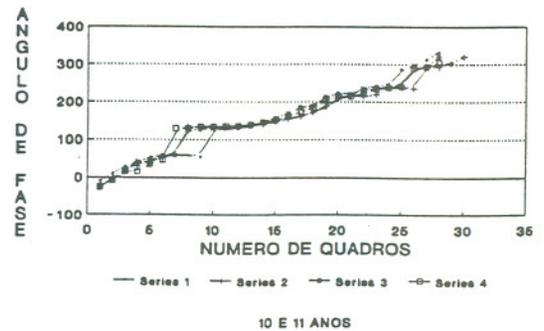
ANGULO DE FASE PERNA - SAPATO



ANGULO DE FASE COXA - NORMAL



ANGULO DE FASE COXA - SAPATO

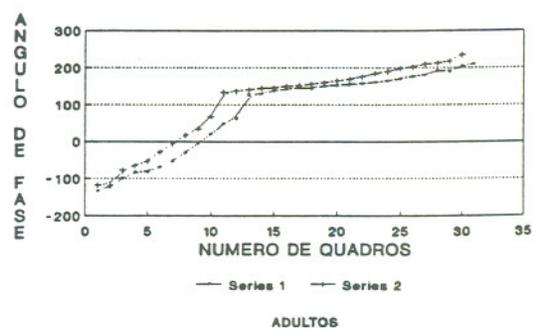


Grupo 5

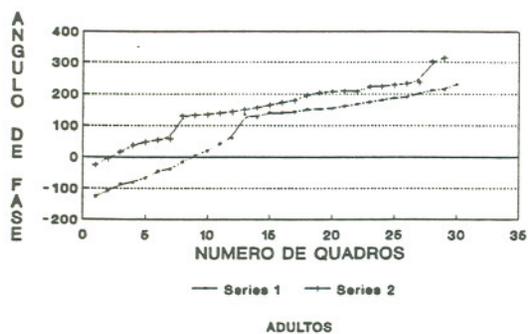
ANGULO DE FASE
PERNA - NORMAL



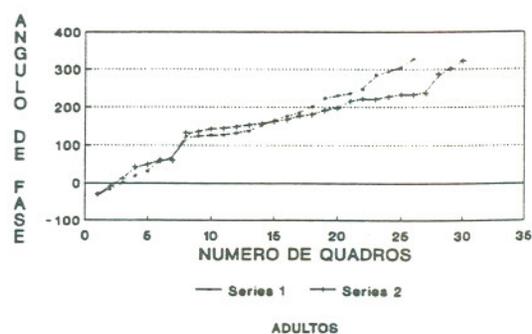
ANGULO DE FASE
PERNA - SAPATO



ANGULO DE FASE
COXA - NORMAL



ANGULO DE FASE
COXA - SAPATO

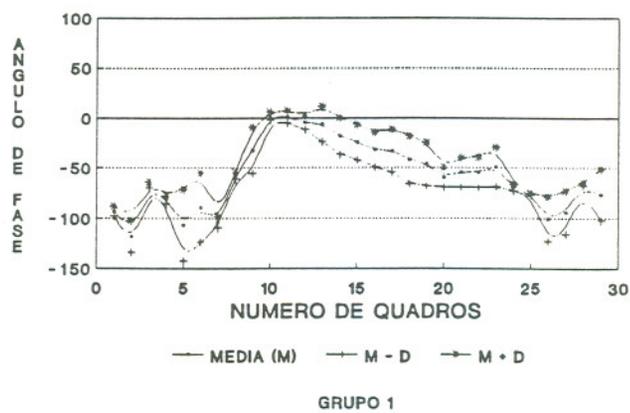


Anexo IV

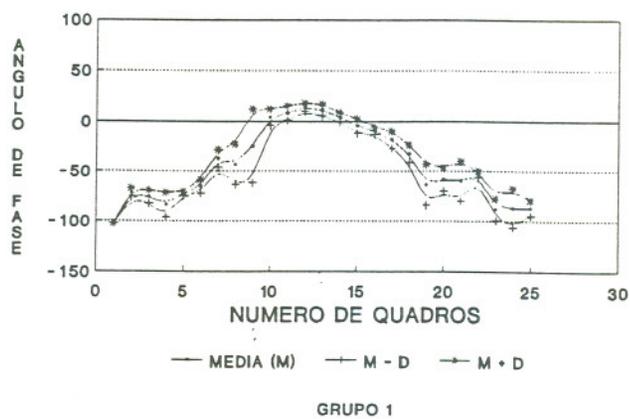
***FASE RELATIVA (em graus) DOS SEGMENTOS
PERNA E COXA NAS SITUAÇÕES NORMAL E
SAPATO.***

Grupo 1

FASE RELATIVA SITUAÇÃO NORMAL

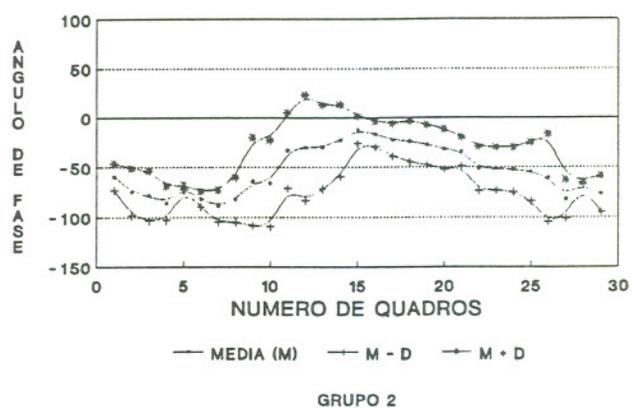


FASE RELATIVA SITUAÇÃO SAPATO

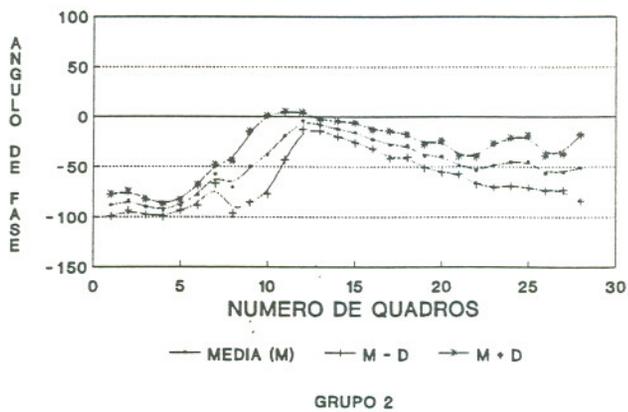


Grupo 2

FASE RELATIVA SITUAÇÃO NORMAL

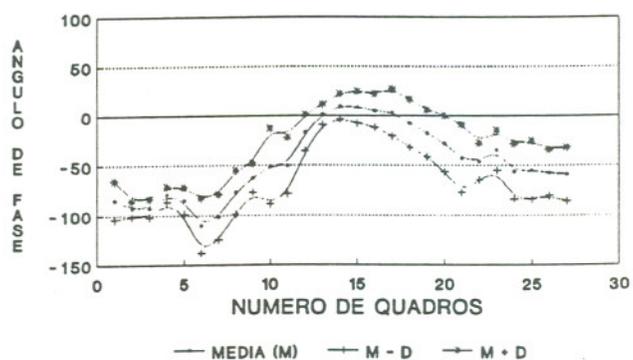


FASE RELATIVA SITUAÇÃO SAPATO



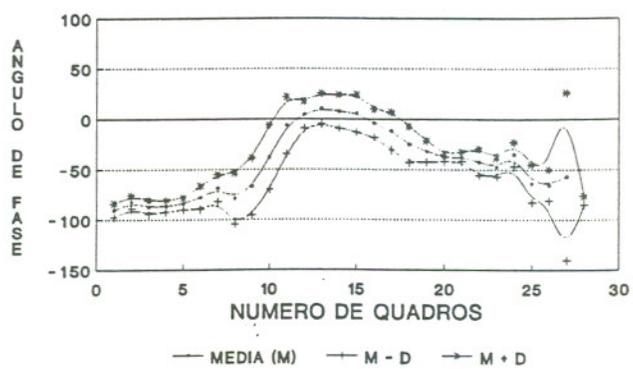
Grupo 3

FASE RELATIVA SITUAÇÃO NORMAL



GRUPO 3

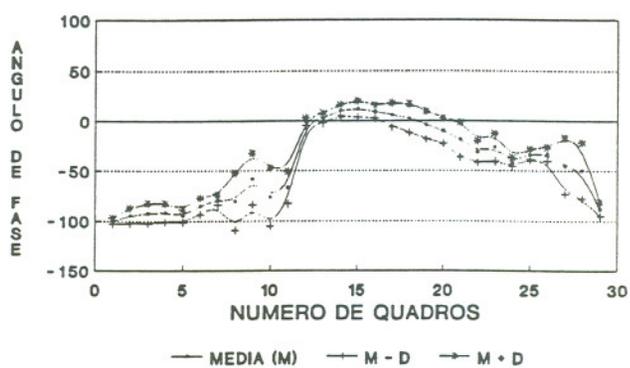
FASE RELATIVA SITUAÇÃO SAPATO



GRUPO 3

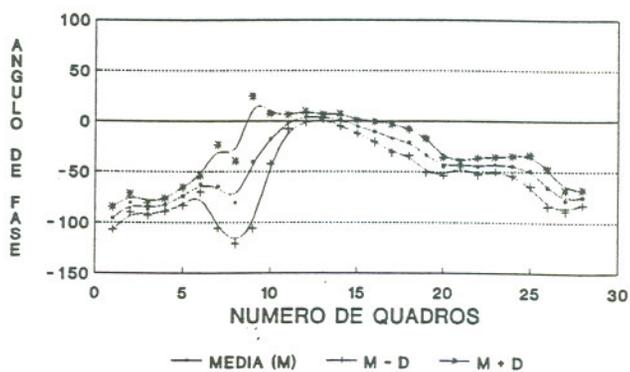
Grupo 4

FASE RELATIVA SITUAÇÃO NORMAL



GRUPO 4

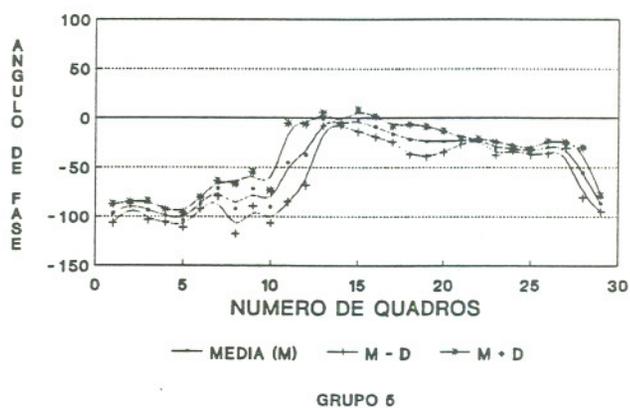
FASE RELATIVA SITUAÇÃO SAPATO



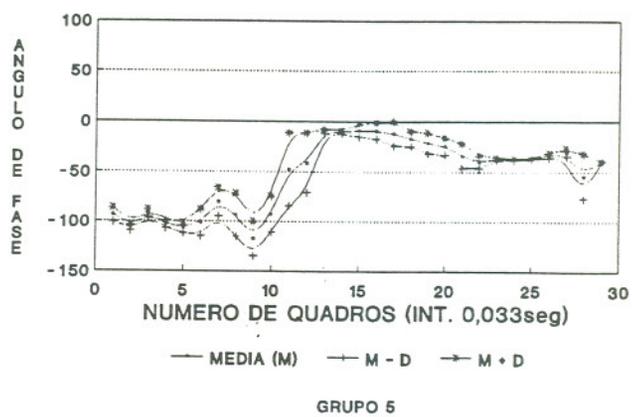
GRUPO 4

Grupo 5

FASE RELATIVA SITUAÇÃO NORMAL



FASE RELATIVA SITUAÇÃO SAPATO



Apêndice I

VALORES DOS ÂNGULOS DE FASE DOS SUJEITOS NO PONTO DE COORDENAÇÃO, NAS SITUAÇÕES NORMAL E SAPATO

SITUAÇÃO	NORMAL				SAPATO			
	PERNA		COXA		PERNA		COXA	
REVERSÃO	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª
SUJEITO								
1	13,6279	117,3103	53,2789	131,993	6,2304	111,339	76,5396	135,788
2	46,6248	166,713	23,7958	152,556	1,5835	135,941	37,806	139,606
3	23,236	129,3651	14,1293	128,267	11,112	142,759	17,9341	139,535
4	11,3515	129,1439	8,5313	149,176	10,0654	130,287	23,907	151,466
5	7,94	140,2269	21,2879	161,668	5,8051	126,362	43,849	142,904
6	5,3684	138,821	12,56935	153,133	13,5714	129,961	31,074	151,4
7	12,2735	120,7582	8,13071	151,246	8,5193	124,366	48,52	143,161
8	24,4884	136,8188	17,5911	178,323	21,3721	116,421	53,698	162,184
9	17,0366	128,2396	15,0194	134,862	17,5215	122,094	58,665	152,144
10	2,72651	129,4027	19,2451	145,425	3,6525	134,458	20,4148	150,889
11	4,27611	139,8947	13,86204	136,68	11,3108	144,617	16,524	148,186
12	9,2939	124,2614	68,85609	152,914	5,5637	128,965	30,191	144,095
13	4,40384	133,9682	4,08591	150,918	9,0596	135,344	16,2335	145,086
14	10,95	126,6717	21,9164	138,794	8,39412	134,675	47,65	148,838
15	9,0904	130,6624	34,0942	141,898	21,039	133,219	33,172	156,407
16	17,2324	133,9651	24,8808	174,68	23,9642	136,605	68,411	138,9