



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS – RIO CLARO



---

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA MOTRICIDADE  
(ÁREA DE BIODINÂMICA DA MOTRICIDADE HUMANA)

---

## PROCESSOS ADAPTATIVOS NO SISTEMA DE CONTROLE POSTURAL DE BEBÊS, CRIANÇAS E ADULTOS

**PAULA FÁVARO POLASTRI ZAGO**

Tese apresentada ao Instituto de Biociências do Câmpus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências da

**Agosto - 2007**

---

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA MOTRICIDADE  
(ÁREA DE BIODINÂMICA DA MOTRICIDADE HUMANA)

---

## **PROCESSOS ADAPTATIVOS NO SISTEMA DE CONTROLE POSTURAL DE BEBÊS, CRIANÇAS E ADULTOS**

**PAULA FÁVARO POLASTRI ZAGO**

Banca: Prof. Dr. José Angelo Barela (Orientador)  
Prof. Dr. Sérgio Tosi Rodrigues  
Prof. Dr. Ronald D. P. Kive Ranvaud  
Prof. Dr. Renato de Moraes  
Profa. Dra. Dora S. Fix Ventura

Tese apresentada ao Instituto de  
Biociências do Câmpus de Rio  
Claro, Universidade Estadual  
Paulista, como parte dos  
requisitos para obtenção do  
título de Doutor em Ciências da

**Rio Claro**

**Agosto - 2007**

# **D**EDICATÓRIA

Tudo que SOU e CONQUISTEI dedico a duas pessoas que me amam incondicionalmente e não mediram esforços para me ver trilhar mais uma CONQUISTA.

**Aos meus PAIS! AMO VOCÊS!**

Pelo apoio, compreensão e muita paciência, dedico esta vitória, também, ao meu marido. Sem sua PRESENÇA, ela não teria sido completa.

**Ao ANDERSON, com muito AMOR.**

## **A**GRADECIMENTOS

Inicialmente, gostaria de agradecer a Deus por ter me dado força e entusiasmo para desenvolver esta tese. Sua presença constante na minha vida é a LUZ no meu caminho.

À minha FAMÍLIA pela paciência, pelo apoio, amor e compreensão de uma empreitada que já dura muitos anos.

Ao Prof. Dr. José Angelo Barela, pela orientação, pelo profissionalismo e pela amizade. Aprendi valores que carregarei para sempre.

À Aninha, pela amizade e confiança.

À minha FAMILIA leminiana: Adriana, Alaércio, Aline, Aninha, Ana Paula, Arenda, Carol, Dalva, Daniela, Diana I, Diana II, Gisele, Ivan, Josenaldo, Paulo, Priscilla, Maria Solange, Mário, Matheus, Natália e Thátia. Com vocês tive aprendizados diferentes em momentos diferentes da minha vida. Agradeço cada um de vocês a me tornarem uma pessoa melhor. Em especial, agradeço à Natália, Diana, Carol e Dani que me auxiliaram durante a coleta de dados. Valeu a paciência!! Obrigada!!

Ao Prof. Dr. John Jeka, pela co-orientação e por ter me dado a oportunidade de participar do *Cognitive Motor Neuroscience Laboratory – University of Maryland* (College Park-US) para desenvolver parte desta tese.

Aos amigos que fiz durante meu estágio de doutoramento na Universidade de Maryland: Márcio, Mihae, Mel (Champagne!!), Li-chiou, Mark Saffer, Nimish, Jeff, Heloísa, Amarildo, Juliana, Phil, Laura, Qili e Junfeng (Queridos), Yuanfen, Rob, Tim,

Sean, Won-nan, Dr. Jane Clark.. Em especial, gostaria de agradecer ao Márcio pelo acolhimento, amizade e, acima de tudo, muito carinho. Obrigada, querido!!

À CAPES, pelo suporte financeiro – **Processo #3133-05/2** – e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Motricidade pela oportunidade de realização do estágio de doutoramento na Universidade de Maryland – College Park-US.

Ao Departamento de Educação Física/UNESP-Bauru pelo apoio e incentivo durante a realização do doutorado.

À Profa. Luciana do Cemi “Prof. Dr. José de Campos Chagas”, Profa. Lúcia Helena do Cemi Profa. Maria Teixeira Fittipaldi, à Elza, e Ana Luiza do Posto e Saúde de Rio Claro, e a todos os diretores (as) e professores (as) que me auxiliaram na identificação dos participantes (bebês e crianças). Em especial, agradeço à Profa. Sandra Lahr Mendes, diretora do Cemi “Comecinho de Vida”, que não mediu esforços para me ajudar na seleção das crianças.

A todos os participantes e aos pais dos bebês e das crianças que se disponibilizaram a trazer seus filhos para que eu pudesse desenvolver este trabalho. Agradeço pela atenção e apoio durante a coleta de dados.

A todos os meus amigos que me auxiliaram com alguma palavra de apoio e incentivo.

*Muito Obrigada!!*

## RESUMO

Três experimentos foram propostos para investigar os ajustes dinâmicos nos pesos de múltiplas fontes de informação sensorial. O primeiro experimento investigou as respostas posturais de 18 bebês frente às mudanças abruptas na amplitude do estímulo visual. Eles permaneceram sentados dentro de uma sala móvel por 8 tentativas de 60 segundos cada. A sala ficou estacionária na primeira tentativa. Nas sete tentativas seguintes, a sala foi oscilada em 0,2 Hz com amplitude de 1,1 cm, com exceção da quinta tentativa, na qual a sala foi movimentada em amplitude mais alta (3,2 cm). Os resultados mostraram fraco acoplamento entre informação visual e oscilação corporal. Contudo, a variabilidade de oscilação foi maior em bebês experientes no sentar independente. Nós concluímos que bebês não foram capazes de se adaptar às pequenas alterações na amplitude do estímulo visual. O segundo experimento investigou como o controle postural de crianças se adapta às abruptas mudanças no ambiente visual. Trinta crianças de 4, 8 e 12 anos de idade e dez adultos, permaneceram em pé dentro de uma sala móvel. A situação experimental foi similar a do primeiro experimento exceto que a amplitude baixa da sala foi de 0,5 cm e a amplitude alta foi de 3,2 cm. As respostas posturais de crianças mais velhas e adultas diminuíram mais para o estímulo visual do que aquelas de crianças mais novas quando a amplitude da sala foi aumentada. A variabilidade de oscilação diminuiu com a idade e foi maior durante a tentativa de alta amplitude. Crianças tão novas quanto 4 anos de idade já têm desenvolvida a capacidade de rapidamente diminuir a influência do estímulo visual. Contudo, os mais altos valores de ganho e variabilidade residual para crianças de 4 e 8 anos

de idade sugerem que elas não apresentam respostas totalmente calibradas ao nível adulto. O terceiro experimento investigou as respostas posturais frente a duas modalidades simultaneamente. Quinze adultos foram posicionados em pé dentro de uma sala virtual por 13 tentativas. A primeira tentativa foi estacionária. Nas tentativas seguintes, a plataforma foi oscilada em frequência constante de 0,4 Hz e amplitudes de 0,3 e 1,5 graus as quais foram alteradas a partir de duas condições: baixa para alta e alta para baixa amplitude de movimento da plataforma. A cena visual foi oscilada em frequência constante de 0,35 Hz e amplitude de 0,08 graus. Os resultados mostraram que o acoplamento diminuiu rapidamente para o movimento da plataforma, mas aumentou para o estímulo visual quando a amplitude da plataforma foi aumentada, indicando reorganização do peso sensorial nas respostas correspondentes a ambas as modalidades. Quando a amplitude da plataforma foi diminuída não houve mudança nos valores de ganho para o estímulo visual, contudo, aumento nas respostas para a plataforma ocorreu mais lentamente. Menor variabilidade de oscilação foi observada quando a plataforma foi oscilada em baixa amplitude. A reorganização dinâmica entre as modalidades sensoriais é um aspecto crucial para respostas adaptativas em um ambiente que muda constantemente.

Palavras-chave: *reweighting*, informação visual, propriocepção, controle postural, desenvolvimento motor.

## **ABSTRACT**

Three experiments were designed to investigate the dynamic adjustments in the weights of multiple sensory modalities. The first experiment investigated the postural responses of 18 infants to abrupt changes in the amplitude of visual stimulus. They seated inside of a moving room for eight trials of 60 sec apiece. The room was stationary in the first trial. In the following seven trials, the room oscillated at 0.2 Hz with amplitude of 1.1 cm, with the exception of the fifth trial, in which the room moved at higher amplitude (3.2 cm). The results showed weak coupling between visual stimulus and body sway. However, sway variability of experienced sitters was higher in the high-amplitude trial. We concluded that infants were not able to adapt to low range of visual stimulus amplitude. The second experiment investigated how children's postural control adapt to abrupt changes in the surrounding visual environment. Thirty children from 4-, 8- and 12-year olds and ten adults stood upright inside of a moving room. The experimental set-up was similar to the first experiment except that low-amplitude was 0.5 cm and high-amplitude was 3.2 cm. Body sway responses of old children and adults downweight more to the visual stimulus than young children when the amplitude of the room increased. Sway variability decreased with age and was largest during the high-amplitude trial. Children as young as four years of age have already developed the adaptive capability to quickly downweight visual information. However, the higher gain values and residual variability observed for the 4 and 8 year-old children suggest that they have not fully calibrated their response to the adult level. The



third experiment investigated the postural responses of two sensory modalities measured simultaneously. Fifteen adults were placed in a virtual room and stood in a variable-pitch platform for thirteen trials. The first trial was stationary one. In the following trials the platform was rotated at constant frequency of 0.4 Hz and amplitudes of 0.3 and 1.5 degrees which were switched from two conditions: low-to-high and high-to-low amplitude platform motion. The visual stimulus was displayed at constant frequency of 0.35 Hz and amplitude of 0.08 degrees. The results showed that the coupling quickly decreased to the platform motion but increased to the visual stimulus when the platform amplitude was increased, indicating sensory reweighting in the responses of both modalities. When the platform amplitude was decreased there was no change in the gain weights to visual stimulus, however, slower upweighting responses were found to the platform motion. Smaller sway variability was observed when the platform oscillated at low amplitude. The dynamics of inter-modality reweighting are an essential aspect of adaptive estimation in a continuously changing environment.

Key-words: reweighting, visual information, proprioception, postural control, motor development.

# SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA.....</b>	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>iii</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>vii</b>
<b>SUMÁRIO.....</b>	<b>ix</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>xii</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1. OBJETIVO.....	5
1.2. DELINEAMENTO DA TESE .....	6
<b>CAPÍTULO 2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>7</b>
2.1. DESENVOLVIMENTO DO CONTROLE POSTURAL: INFLUÊNCIA DAS INFORMAÇÕES SENSORIAIS.....	7
2.2. CICLO PERCEPÇÃO-AÇÃO.....	14
2.2.1 <i>DETECÇÃO E UTILIZAÇÃO COERENTE DAS INFORMAÇÕES SENSORIAIS AO LONGO                 DO DESENVOLVIMENTO.....</i>	14
2.2.2. <i>RESPOSTAS MOTORAS FRENTE À ALTERAÇÕES NA AMPLITUDE E VELOCIDADE DO                 ESTÍMULO SENSORIAL: PESOS SENSORIAIS.....</i>	22
2.2.3. <i>PROPRIEDADES ADAPTATIVAS DO SISTEMA DE CONTROLE POSTURAL AO LONGO                 DOS ANOS.....</i>	27
<b>CAPÍTULO 3. CONTROLE POSTURAL ADAPTATIVO EM BEBÊS DURANTE A MANUTENÇÃO DA POSIÇÃO SENTADA.....</b>	<b>43</b>
3.1. INTRODUÇÃO.....	44
3.2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	46

3.2.1. PARTICIPANTES.....	46
3.2.2. PROCEDIMENTOS.....	48
3.2.3. TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS.....	52
3.2.4. ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	55
3.3. RESULTADOS.....	56
3.3.1. GANHO E FASE.....	59
3.3.2. VARIABILIDADE DE POSIÇÃO E VELOCIDADE .....	60
3.3.3. AMPLITUDE MÉDIA DE OSCILAÇÃO.....	62
3.4. DISCUSSÃO.....	64
3.4.1. PROCESSOS ADAPTATIVOS NA UTILIZAÇÃO DAS INFORMAÇÕES SENSORIAIS.....	69
<b>CAPÍTULO 4. CONTROLE POSTURAL ADAPTATIVO EM CRIANÇAS</b>	
<b>DURANTE A MANUTENÇÃO DA POSTURA ERETA .....</b>	<b>75</b>
4.1. INTRODUÇÃO.....	76
4.2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	78
4.2.1. PARTICIPANTES.....	78
4.2.2. PROCEDIMENTOS.....	79
4.2.3. TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS.....	83
4.2.4. ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	86
4.3. RESULTADOS.....	87
4.3.1. GANHO E FASE.....	90
4.3.2. VARIABILIDADE DE POSIÇÃO E VELOCIDADE .....	93
4.3.3. AMPLITUDE MÉDIA DE OSCILAÇÃO.....	95
4.4. DISCUSSÃO.....	97
4.4.1. ALTERAÇÕES COMPORTAMENTAIS NO SISTEMA DE CONTROLE POSTURAL .....	98
4.4.2. PROCESSOS ADAPTATIVOS AO LONGO DOS ANOS .....	103
4.4.3. ALTERAÇÕES NO FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE CONTROLE POSTURAL.....	113
<b>CAPÍTULO 5. ADAPTAÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE POSTURAL DE</b>	
<b>ADULTOS FRENTE À MANIPULAÇÃO MULTISENSORIAL.....</b>	<b>118</b>
5.1. INTRODUÇÃO.....	119
5.2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	123

5.2.1. PARTICIPANTES.....	123
5.2.2. PROCEDIMENTOS.....	124
5.2.3. TRATAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS.....	132
5.2.4. ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	135
5.3. RESULTADOS.....	136
5.3.1. GANHO E FASE.....	138
5.3.1.1. Condição de Alta para Baixa amplitude da Plataforma.....	141
5.3.1.2. Condição de Baixa para Alta amplitude da Plataforma.....	142
5.3.1.3. Assimetria Temporal nas Respostas Posturais.....	143
5.3.2. VARIABILIDADE DE POSIÇÃO E VELOCIDADE DO CM.....	143
5.4. DISCUSSÃO.....	145
5.4.1. REWEIGHTING ENTRE DUAS MODALIDADES SENSORIAIS: VISÃO E PROPRIOCEPÇÃO.....	147
5.4.2. FUNCIONALIDADE NO COMPORTAMENTO DO SISTEMA DE CONTROLE POSTURAL: ASSIMETRIA TEMPORAL .....	153
<b>CAPÍTULO 6. SÍNTESE DOS RESULTADOS, IMPLICAÇÕES E CONCLUSÕES.....</b>	<b>158</b>
6.1. COMPORTAMENTOS ADAPTATIVOS FRENTE ÀS ALTERAÇÕES NAS INFORMAÇÕES SENSORIAIS.....	161
6.2. VARIABILIDADE DE OSCILAÇÃO CORPORAL.....	163
6.3. ADAPTAÇÃO FRENTE À MANIPULAÇÃO DE DUAS MODALIDADES SENSORIAIS.....	165
6.4. IMPLICAÇÕES DOS RESULTADOS E DIREÇÕES FUTURAS.....	167
6.5. CONCLUSÕES.....	168
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>170</b>
<b>ANEXO 1. PARECER DE APROVAÇÃO DO CÔMITE DE ÉTICA DO IB/UNESP/RC.....</b>	<b>183</b>
<b>ANEXO 2. TERMOS DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO.....</b>	<b>185</b>

# LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Situação experimental mostrando um bebê sentado sobre a cadeira dentro da sala móvel (a) e um experimentador mostrando brinquedos na abertura localizada na parede frontal desta sala (b)..... 49
- Figura 2.** Exemplos de séries temporais e amplitudes espectrais da oscilação da cabeça de bebês com pouca experiência no sentar - GPE (painéis “a” e “b”) e bebês com experiência no sentar - GE (painéis “c” e “d”) e os deslocamentos da sala móvel na direção ântero-posterior durante uma tentativa de baixa amplitude/velocidade da sala na frequência de 0,2 Hz. A linha clara corresponde ao deslocamento da sala móvel (SMap) e a linha escura corresponde às trajetórias da oscilação da cabeça (OCap)..... 57
- Figura 3.** Exemplos de séries temporais e amplitudes espectrais da oscilação da cabeça de bebês com pouca experiência no sentar - GPE (painéis “a” e “b”) e bebês com experiência no sentar - GE (painéis “c” e “d”) e os deslocamentos da sala móvel na direção ântero-posterior durante uma tentativa de alta amplitude/velocidade da sala na frequência de 0,2 Hz. A linha clara corresponde ao deslocamento da sala móvel (SMap) e a linha escura corresponde às trajetórias da oscilação da cabeça (OCap)..... 57
- Figura 4.** Exemplos de séries temporais e amplitudes espectrais da oscilação da cabeça de um bebê com 38 dias de experiência no sentar independente e os deslocamentos da sala móvel na direção ântero-posterior durante uma tentativa de baixa (painéis “a” e “b”) e alta amplitude/velocidade da sala (painéis “c” e “d”) na frequência de 0,2 Hz. A linha clara corresponde ao deslocamento da sala móvel (SMap) e a linha escura corresponde às trajetórias da oscilação da cabeça (OCap). ..... 58
- Figura 5.** Média dos valores de ganho (a) e fase (b) entre as oscilações da cabeça e o movimento da sala na direção ântero-posterior para os bebês com Pouca Experiência (círculo) e Experientes (estrela) na posição sentada durante as condições de baixa (1,1 cm e 1,2 cm/s) e alta (3,2 cm e 5,0 cm/s) amplitude/velocidade do estímulo visual. .... 59
- Figura 6.** Média dos valores de Variabilidade de Posição (a) e Variabilidade de Velocidade (b) da oscilação da cabeça de ambos os grupos, com pouca experiência (círculo) e experientes (estrela) na posição sentada durante as condições de baixa (1,1 cm e 1,2 cm/s) e alta (3,2 cm e 5,0 cm/s) amplitude/velocidade do estímulo visual ..... 61

- Figura 7.** Média dos valores de Amplitude Média de Oscilação da cabeça de ambos os grupos, com pouca experiência (círculo) e experientes (estrela) na posição sentada durante as condições de baixa (1,1 cm e 1,2 cm/s) e alta (3,2 cm e 5,0 cm/s) amplitude/velocidade do estímulo visual..... 63
- Figura 8.** Média dos valores de Amplitude Média de Oscilação da cabeça nas direções ântero-posterior (AP) e médio-lateral (ML) de ambos os grupos, com pouca experiência e experientes no sentar independente durante a tentativa estacionária da sala móvel..... 64
- Figura 9.** Situação experimental com uma criança de 4 anos de idade na posição em pé olhando para a figura dentro da sala móvel. Os círculos indicam os emissores afixados entre as escápulas do participante (círculo escuro) e na parede frontal da sala móvel (círculo claro)..... 82
- Figura 10.** Exemplares de séries temporais e amplitude espectrais de oscilação corporal de crianças de 4 anos (painéis “a” e “e”), 8 anos (painéis “b” e “f”), 12 anos de idade (painéis “c” e “g”) e adultos jovens (painéis “d” e “h”) e os deslocamentos da sala móvel na direção ântero-posterior (AP) durante uma tentativa de baixa amplitude/velocidade da sala na frequência de 0,2 Hz. A linha clara corresponde ao deslocamento da sala móvel (MSap) e a linha escura corresponde às trajetórias da oscilação corporal (OCap)..... 88
- Figura 11.** Exemplares de séries temporais e amplitude espectrais de oscilação corporal de crianças de 4 anos (painéis “a” e “e”), 8 anos (painéis “b” e “f”), 12 anos de idade (painéis “c” e “g”) e adultos jovens (painéis “d” e “h”) e os deslocamentos da sala móvel na direção ântero-posterior (AP) durante a tentativa de alta amplitude/velocidade da sala na frequência de 0,2 Hz. A linha clara corresponde ao deslocamento da sala móvel (MSap) e a linha escura corresponde às trajetórias da oscilação corporal (OCap)..... 89
- Figura 12.** Média dos valores de ganho (a) e fase (b) entre as oscilações corporais e o movimento da sala na direção antero-posterior para os 4 grupos em todas as tentativas, nas condições de baixa (0,5 cm e 0,6 cm/s) e alta (3,2 cm e 4,1 cm/s) amplitude/velocidade do estímulo visual..... 91
- Figura 13.** Média dos valores de Variabilidade de Posição (a) e Variabilidade de Velocidade (b) da oscilação corporal dos 4 grupos em todas as tentativas, nas condições de baixa (0,5 cm e 0,6 cm/s) e alta (3,2 cm e 4,1 cm/s) amplitude/velocidade do estímulo visual..... 94

- Figura 14.** Média dos valores de Amplitude Média de Oscilação Corporal dos 4 grupos em todas as tentativas, nas condições de baixa (0,5 cm e 0,6 cm/s) e alta (3,2 cm e 4,1 cm/s) amplitude/velocidade do estímulo visual..... 96
- Figura 15.** Média dos valores de Amplitude Média de Oscilação Corporal nas direções ântero-posterior (AP) e médio-lateral (ML) dos 4 grupos durante a tentativa estacionária da sala móvel ..... 97
- Figura 16.** Desenho ilustrativo da situação experimental com um indivíduo sobre a plataforma móvel e os triângulos projetados nas telas frontais e laterais da sala virtual..... 125
- Figura 17.** Foto da situação experimental, vista de cima e anteriormente (a) e posteriormente (b), com um participante posicionado na plataforma, com pés distantes 6,5 cm e maléolos mediais coincidindo com o eixo de rotação da plataforma..... 126
- Figura 18.** Foto de um participante mantendo a posição em pé sobre a plataforma e com exposição da manipulação visual com os emissores infravermelhos e eletrodos de eletromiografia afixados ..... 129
- Figura 19.** Exemplares de séries temporais dos estímulos utilizados para a manipulação dos movimentos da plataforma móvel nas condições de Alta para Baixa Amplitude (painel a) e Baixa para Alta Amplitude (painel b) e para a manipulação dos estímulos visuais apresentados na mesma direção de movimento da plataforma móvel (painel c) e na direção oposta aos movimentos da plataforma (painel d)..... 131
- Figura 20.** Exemplares das séries temporais da trajetória angular do Centro de Massa (linha escura) de um participante e os movimentos da cena visual (linha clara superior) e da plataforma móvel (linha clara inferior) nas condições de Alta para Baixa Amplitude (a) e de Baixa para Alta Amplitude (b)..... 137
- Figura 21.** Ganho (painel superior) e fase (painel do meio) entre o centro de massa e o estímulo visual (círculos) e entre o centro de massa e os movimentos da plataforma móvel (quadrados) ciclo por ciclo (intervalos de 2,5 para o estímulo visual e 2,8 seg para os movimentos da plataforma móvel). A linha vertical tracejada indica o momento de alteração da amplitude de movimento da plataforma móvel de Alta para Baixa Amplitude. Retas de regressão (linha escura) são apresentadas antes e depois da alteração da amplitude da plataforma para ambos os estímulos. O painel inferior apresenta um exemplar de uma série temporal, com o estímulo visual (linha vermelha) e o movimento da plataforma (linha azul) durante toda a tentativa..... 139

**Figura 22.** Ganho (painel superior) e fase (painel do meio) entre o centro de massa e o estímulo visual (círculos) e entre o centro de massa e os movimentos da plataforma móvel (quadrados) ciclo por ciclo (intervalos de 2,5 para o estímulo visual e 2,8 seg para os movimentos da plataforma móvel). A linha vertical tracejada indica o momento de alteração da amplitude de movimento da plataforma móvel de Baixa para Alta Amplitude. Retas de regressão (linha escura) são apresentadas antes e depois da alteração da amplitude da plataforma para ambos os estímulos. O painel inferior apresenta um exemplar de uma série temporal, com o estímulo visual (linha vermelha) e o movimento da plataforma (linha azul) durante toda a tentativa..... 140

**Figura 23.** Variabilidade de Posição e Velocidade do Centro de Massa antes e após a alteração da amplitude da plataforma móvel na condição de Alta para Baixa Amplitude (“a” e “c”, asteriscos) e na condição de Baixa para Alta Amplitude (“b” e “d”, círculos). A linha vertical tracejada indica o momento de alteração da amplitude de movimento da plataforma móvel..... 144



## CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

O controle postural é parte integrante do sistema de controle motor, produzindo estabilidade e substrato para o movimento voluntário. De forma geral, controle postural pode ser definido como a habilidade de assumir e manter a posição desejada durante uma atividade, seja ela estática ou dinâmica (CUPPS, 1997), tendo a todo momento que controlar o corpo frente às perturbações e mudanças de orientação em busca do equilíbrio desejado (HORAK; MACPHERSON, 1996). Essas perturbações podem ser provocadas por forças internas e externas, como as forças da gravidade ou forças reativas da superfície de apoio dos pés (LATASH, 1998) ou internas, provenientes da realização de movimentos voluntários do próprio corpo ou partes dele (por exemplo, movimentos dos braços) (CORDO; NASHNER, 1982).

As contrações musculares apropriadas, necessárias para a manutenção de uma orientação corporal desejada, são alcançadas com base em informações sensoriais relevantes que possam indicar o relacionamento entre as partes do corpo e do próprio corpo

---

com o meio ambiente (HORAK; MACPHERSON, 1996). As principais informações são provenientes de três sistemas sensoriais: o visual, o vestibular e o somatossensorial (NASHNER, 1981), que necessitam ser captadas e integradas de forma a fornecer informação precisa ao sistema de controle postural. Este intrincado relacionamento entre informação sensorial e ação motora está presente mesmo em tarefas consideradas simples, como manter a posição ereta estática. Nesta posição, as forças internas e externas que atuam sobre os segmentos corporais não são constantes, fazendo com que esses segmentos não permaneçam em orientações constantes por tempo prolongado. Em consequência disto, crianças e adultos, na posição em pé ereta, apresentam oscilação corporal ao redor de 0,2 Hz (BARELA; POLASTRI; GODOI, 2000; SOAMES; ATHA, 1982).

Desta forma, para manter uma orientação postural, na qual as forças constantemente agem sobre o corpo, é necessário um relacionamento coerente e dinâmico entre informações sensoriais e atividade motora. Neste relacionamento, as informações dos sistemas sensoriais influenciam a realização da atividade motora da mesma forma que a realização desta ação auxilia na obtenção das informações sensoriais (BARELA, 2000). Uma vez que este relacionamento, em uma determinada situação, é mantido, forma-se um ciclo entre o que é percebido e a ação que é realizada, ou seja, um ciclo percepção-ação.

Ao longo do desenvolvimento, o relacionamento entre informação sensorial e atividade motora é alterado. Com base em uma proposta dinâmica de desenvolvimento motor, mudanças desenvolvimentais são decorrentes de mudanças neste relacionamento, ou seja, mudanças no ciclo percepção-ação (BARELA, 1997) e podem ser entendidas através do processo exploração-seleção (THELEN, 1995; ANGULO-KINZLER; HORN, 2001). Este processo implica que novos comportamentos motores são adquiridos a partir da descoberta

---

de novas relações entre as informações que o bebê e a criança percebem no ambiente, em consequência de suas ações, e as configurações corporais necessárias para a realização das tarefas motoras.

A aquisição do ficar em pé independente, por exemplo, depende da exploração das novas relações entre os segmentos corporais e as forças internas necessárias para manter todos os segmentos alinhados na postura ereta sobre uma pequena base de suporte (pés) frente às demandas do ambiente (por exemplo, força da gravidade). Esta exploração envolve, implicitamente, que a criança encontre e selecione soluções motoras que sejam funcionais para a realização da nova tarefa, utilizando as informações sensoriais (visuais, vestibulares e somatossensoriais) mais relevantes para a mesma. Na medida em que estas soluções motoras são continuamente repetidas, um relacionamento mais estável entre informação sensorial e atividade motora é alcançado, gerando um novo relacionamento entre percepção e ação para a realização da tarefa desejada.

Neste processo, a obtenção e adequada utilização das informações sensoriais, são de fundamental importância para a aquisição e refinamento de novas habilidades motoras. Entretanto, ainda não está claro, como que esta habilidade de detectar e integrar as informações sensoriais, provenientes de diversas fontes, se altera ao longo dos anos. Alguns estudos têm indicado que bebês de muito pouca idade já apresentam respostas aos estímulos visuais (JOUEN ET AL., 2000), contudo, somente quando adquirem experiência em determinadas posições corporais apresentam acoplamentos estáveis entre informação sensorial e ação motora (BERTENTHAL; BAI, 1989; HIGGINS; CAMPOS; KERMOIAN, 1996; BARELA ET AL., 2000; 2003).

---

Diversos estudos têm observado diferenças no desempenho do sistema de controle postural de crianças quando comparado ao de adultos (RIACH; HAYES, 1987; RIACH; STARKES, 1989; FIGURA ET AL., 1991; RIACH; STARKES, 1994; BARELA, 1997). Ainda, Woollacott e colaboradores (SHUMWAY-COOK; WOOLLACOTT, 1985; WOOLLACOTT; DEBÚ; MOWATT, 1987; WOOLLACOTT, 1988; WOOLLACOTT; SHUMWAY-COOK, 1990; FOSTER; SVESTRUP; WOOLLACOTT, 1996) observaram que crianças nos primeiros anos de vida demonstram dificuldades para organizar e utilizar adequadamente as diversas fontes de informações sensoriais em situações de conflito sensorial (FOSTER; SVEISTRUP; WOOLLACOTT, 1996). Em adição, recentemente, tem sido evidenciado que crianças até os 10 anos não são capazes de alterar os parâmetros do sistema de controle postural para se adaptar às alterações dos estímulos sensoriais decorrentes de mudanças nas demandas do ambiente, assim como fazem os adultos (GODOI, 2004; GODOI; BARELA, SUBMETIDO).

Particularmente, adaptar-se às contínuas mudanças que ocorrem nas informações sensoriais disponíveis no ambiente, modificando o acoplamento entre informação sensorial e oscilação corporal, pode refletir a flexibilidade no funcionamento do sistema de controle postural. Em decorrência das constantes alterações, o sistema deve ser capaz de identificar e selecionar dentre as fontes sensoriais disponíveis aquelas que fornecem as informações mais confiáveis para detectar a posição e velocidade corporal (LEE & LISHMAN, 1975; DIJKSTRA; SCHONER; GIELEN, 1994; POLASTRI; BARELA; BARELA, 2001; OIE; KIEMEL; JEKA, 2002; JEKA ET AL., 2006; ALLISON; KIEMEL; JEKA, 2006). Em geral, o que ocorre é uma dinâmica atribuição de pesos entre as informações sensoriais, aumentando e diminuindo a importância das diversas informações para a realização de uma dada ação motora (CARVER ET AL., 2005; CARVER; KIEMEL; JEKA, 2006).

---

Recentemente, Jeka e colegas (OIE; KIEMEL; JEKA, 2002; JEKA ET AL., 2006; ALLISON; KIEMEL; JEKA, 2006; OIE ET AL., 2005; CARVER; KIEMEL; JEKA, 2006; BARELA ET AL., EM PREPARAÇÃO) têm buscado investigar, sistematicamente, estes processos adaptativos, denominando-os de *reweighting*, no sistema e controle postural de adultos. Contudo, pouco se sabe, sobre a natureza das propriedades dinâmicas destes processos e como eles ocorreriam em bebês e crianças.

Com base nestes resultados, várias perguntas surgem com relação a utilização da informação sensorial, especialmente, com relação aos processos adaptativos envolvidos no controle da postura tanto em bebês, como em crianças e adultos. 1) Será que o sistema de controle postural de crianças apresentaria adequadas adaptações às alterações nos estímulos visuais para manter a postura em pé? 2) Será que bebês já teriam a capacidade de apresentar as mesmas adaptações? Ainda, tendo em vista, que ocorre uma reorganização dinâmica entre as informações sensoriais, 3) será que estes processos adaptativos poderiam ser demonstrados simultaneamente em duas modalidades sensoriais?

A partir destes questionamentos é fundamental compreender a natureza dos processos adaptativos no funcionamento do sistema de controle postural ao longo dos anos, para, então, entender suas implicações para a aquisição e refinamento das habilidades motoras.

### **1.1. OBJETIVO**

O objetivo geral da tese foi verificar processos adaptativos no relacionamento entre informação sensorial e controle postural de bebês, crianças e adultos frente às alterações nas informações sensoriais.

## **1.2. DELINEAMENTO DA TESE**

Para atingir o objetivo proposto, esta tese foi delineada em seis capítulos. O Capítulo 1 apresenta uma introdução sobre o sistema de controle postural como um meio para se investigar o relacionamento entre informação sensorial e ação motora, os principais questionamentos sobre o tema pesquisado e o objetivo proposto para investigá-los. O Capítulo 2 apresenta uma revisão de literatura que aborda as principais mudanças no funcionamento do sistema de controle postural e os aspectos relacionados a estas mudanças ao longo do desenvolvimento, enfatizando as propriedades adaptativas deste sistema. Os Capítulos 3, 4 e 5 foram estruturados em forma de artigo científico contendo introdução, objetivos específicos, materiais e métodos, resultados e discussão. Especificamente, o Capítulo 3 trata dos aspectos relacionados à adaptação das respostas motoras de bebês frente a alterações no ambiente visual, discutindo o papel da experiência no sentar independente. O Capítulo 4 apresenta os processos adaptativos no funcionamento do sistema de controle postural de crianças e adultos frente a mudanças abruptas no ambiente visual. O Capítulo 5 enfoca os aspectos envolvidos na adaptação multisensorial do sistema de controle postural de adultos, demonstrando adaptações simultâneas entre duas modalidades sensoriais. Finalmente, o Capítulo 6 discute os resultados apresentados nos Capítulos 3, 4 e 5, indica as implicações destes resultados e apresenta as conclusões da tese.

## **CAPÍTULO 2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. DESENVOLVIMENTO DO CONTROLE POSTURAL: INFLUÊNCIA DAS INFORMAÇÕES SENSORIAIS**

A aquisição e o refinamento das habilidades motoras parecem estar relacionados à aquisição e refinamento de um relacionamento dinâmico entre as informações sensoriais e atividade motora, sendo a experiência nestas habilidades, o ponto chave para a identificação e fortalecimento deste relacionamento (BUTTERWORTH; HICKS, 1977; DELORME; FRIGON; LAGACÉ, 1989; HIGGINS; CAMPOS; KERMOIAN, 1996, BERTENHAL; ROSE; BAI, 1997).

De modo geral, as crianças quando são comparadas aos adultos apresentam diferentes características no controle postural, como maior oscilação corporal (RIACH; HAYES, 1987, FIGURA ET AL., 1991; USUI; MAEKAWA; HIRASAWA, 1995), maior área e velocidade de oscilação (TAGUICHI; TADA, 1988, RIVAL; CEYTE; OLIVIER, 2005) e maior frequência de oscilação corporal (CHERNG; LEE; SU, 2003). Alguns estudos têm apontado

que essas oscilações vão diminuindo ao longo dos anos, alcançando nível similar a dos adultos por volta dos dez anos (ZERNICK; GREGOR; CRATTY, 1982; FIGURA ET AL., 1991, GODOI, 2004), ou até por volta dos 12 anos, como foi verificado, recentemente, por Godoi (2004) em situações de conflito sensorial, embora Hirabayashi e Iwasaki (1995) tenham verificado esta semelhança somente por volta dos 15 anos nestas situações.

O uso da informação sensorial no funcionamento do sistema de controle postural tem despertado o interesse de vários estudiosos (por exemplo, SHUMWAY-COOK; WOOLLACOTT, 1985; ASHMEAD; MCCARTY, 1991; PORTFORS-YELMANS; RIACH, 1995; BARELA; POLASTRI; GODOI, 2000; BARELA; JEKA; CLARK, 2003). De maneira especial, vários autores têm sugerido uma predominância na utilização da informação visual no controle postural nos primeiros anos de vida sobre os demais canais sensoriais (vestibular e somatossensorial) (WOLFF ET AL., 1998; WOOLLACOTT, 1988, RIACH; HAYES, 1987; WOOLLACOTT; DEBÚ; MOWATT, 1987, RIVAL; CEYTE; OLIVIER, 2005). Entretanto, outros não têm verificado qualquer diferença na oscilação corporal de crianças com idades entre 2 e 6 anos quando os olhos estavam abertos ou fechados (TAGUCHI; TADA, 1988; BARELA; POLASTRI; GODOI, 2000). Estes resultados divergentes retratam a necessidade de um entendimento maior a respeito do funcionamento e das contribuições das informações sensoriais no controle postural ao longo do desenvolvimento.

Particularmente, com relação ao sistema visual, vários estudos têm identificado a influência da visão no controle postural de adultos (LEE; LISHMAN, 1975; DIJKSTRA; SCHÖNER; GIELEN, 1994) e idosos (POLASTRI; BARELA; BARELA, 2001) e uma influência ainda mais forte no controle postural de bebês (BERTENTHAL; BAI, 1989; HIGGINS; CAMPOS;



---

KERMOIAN, 1996; BARELA ET AL., 2000; BARELA ET AL., 2003) e crianças (LEE; ARONSON, 1974; FOSTER; SVEISTRUP; WOOLLACOTT, 1996; BARELA ET AL., 2001).

Lishman e Lee (1973) realizaram um estudo pioneiro quando demonstraram a influência da visão no controle postural através da manipulação da informação visual. Neste estudo, indivíduos na posição em pé, foram colocados dentro de uma sala especial, denominada de "sala móvel", cujas paredes se moviam para frente e para trás independentemente do piso que permaneceu fixo, através de movimentos discretos, realizados manualmente por um experimentador. Os movimentos dessa sala produziram deslocamentos das imagens na retina do observador (PAULUS; STRAUBE; BRANDT, 1984), que induziram à percepção de movimentos ilusórios do corpo na direção oposta aos movimentos das paredes da sala. Quando as paredes da sala eram movimentadas para frente se afastando do participante, a imagem na retina do indivíduo era reduzida, provocando a ilusão de deslocamento do corpo para trás. Da mesma forma, quando as paredes da sala eram movimentadas para trás se aproximando do participante, a imagem na retina do indivíduo era aumentada, provocando a ilusão de deslocamento do corpo para frente. Então, para minimizar e compensar essas situações ilusórias, os indivíduos oscilavam na mesma direção do estímulo visual. Com base nesses resultados, Lee e Lishman (1975) sugeriram que a visão atua como fonte integrante do sistema de controle postural e que, ainda, domina os outros canais sensoriais (vestibular e somatossensorial).

O mesmo efeito foi mais recentemente observado através de uma sala móvel virtual (DIJKSTRA ET AL., 1994; DIJKSTRA; SCHÖNER; GIELEN, 1994) utilizando pontos virtuais projetados em uma tela à frente do indivíduo em diferentes frequências de movimento do estímulo visual. Mais importante que constatar que as oscilações corporais foram induzidas

---

por este estímulo visual, estes autores identificaram que o sistema de controle postural acopla-se à informação visual utilizando o parâmetro da velocidade deste estímulo.

Lee e Aronson (1974) mostraram, ainda, que crianças com idade entre 13 e 16 meses, que recém haviam adquirido a manutenção da posição em pé, também, apresentavam suas oscilações corporais induzidas por movimentos da sala móvel, sendo esta influência mais forte do que a observada em adultos. Mais tarde, Bertenthal e colaboradores (BERTENTHAL; BAI, 1989; BERTENTHAL; ROSE; BAI, 1997) verificaram diferenças desenvolvimentais na influência da sala móvel na oscilação corporal de bebês, com idade entre 5 e 9 meses, durante a manutenção da posição sentada. De forma geral, os resultados indicaram que, com o aumento da idade, o efeito da oscilação da sala móvel foi maior na oscilação corporal dos bebês.

Recentemente, Barela e colaboradores (BARELA, 1997; BARELA; JEKA; CLARK, 1999; BARELA ET AL., 2000; BARELA ET AL., 2001; BARELA ET AL, 2003; BARELA; JEKA; CLARK, 2003) têm sugerido que diferenças desenvolvimentais observadas no controle postural seriam decorrentes de mudanças no acoplamento entre a informação sensorial e a ação motora. Mais ainda, que estas mudanças seriam impulsionadas pelas experiências nas quais este relacionamento entre informação sensorial e ação motora seria vivenciado e repetido (POLASTRI; BARELA, 2002).

Esta proposta é consistente com os resultados obtidos em estudos realizados anteriormente. Por exemplo, no caso de Bertenthal e colaboradores (BERTENTHAL; BAI, 1989; BERTENTHAL; ROSE; BAI, 1997), bebês de cinco meses de idade ainda não apresentaram um relacionamento coerente e dinâmico entre a informação visual e o sistema de controle postural. Por outro lado, bebês de nove meses já teriam tido experiência

---

suficiente para ter fortalecido o relacionamento entre informação visual e a ação motora para manter o tronco na posição sentada e se acoplar às manipulações da informação visual produzida pela sala móvel. Resultados similares foram obtidos quando crianças foram expostas à situação da sala móvel, durante a manutenção da posição em pé com apoio (DELORME, FRIGON & LAGACÉ, 1989). Assim, os diferentes níveis de experiência dos bebês no sentar independente parecem ter influenciado suas respostas posturais frente à oscilação da sala móvel.

Resultados similares aos observados com o paradigma da sala móvel também foram observados quando a informação somatossensorial foi manipulada. Lackner e colaboradores (HOLDEN; VENTURA; LACKNER, 1994) criaram um paradigma similar ao da sala móvel e identificaram, também, uma forte influência da informação somatossensorial no controle postural de adultos (JEKA; LACKNER, 1994; 1995; JEKA ET AL., 1998). Neste paradigma, os indivíduos posicionam levemente o dedo indicador em uma barra de toque, que foi mantida estacionária ou oscilada continuamente. Este toque suave sobre a barra minimizou qualquer suporte mecânico que pudesse vir a ocorrer. No caso da situação em que a barra é mantida sem movimento, o contato do dedo na barra possibilita a obtenção de informações sobre a posição do corpo (por exemplo, a relação entre o posicionamento do braço com o tronco) em relação ao ambiente. Uma vez que esta relação entre os segmentos é modificada, ocorrem mudanças na aplicação das forças na ponta do dedo que são utilizadas como informação sensorial, possibilitando ao sistema de controle postural ativar a musculatura apropriada para atenuar a oscilação corporal (JEKA; LACKNER, 1994; 1995).

A utilização deste paradigma para verificar o uso da informação somatossensorial no controle postural também foi investigada em crianças (BARELA; JEKA; CLARK, 1999).

---

Barela, Jeka e Clark (1999) verificaram que durante a aquisição do ficar em pé independente e início do andar, crianças apresentaram diferenças com relação à utilização da informação somatossensorial para manter a postura. Em um primeiro momento, as crianças que não conseguiam ficar em pé independentemente, utilizaram o toque na superfície como suporte mecânico.

Entretanto, conforme estas crianças foram tendo mais experiência no ficar em pé e andar independente, elas deixaram de usar a superfície de contato com suporte mecânico e passaram a utilizá-la como fonte de informação sensorial. Mais importante ainda, quando isso aconteceu, a oscilação corporal diminuiu significativamente, indicando uma melhora na execução da tarefa (BARELA; JEKA; CLARK, 1999). Novamente, como já havia sido demonstrado por Bertenthal e Bai (1989), experiência em realizar uma tarefa parece desempenhar papel importante na forma como as crianças obtêm e utilizam as informações sensoriais para controlar sua postura.

Quando a barra de toque foi oscilada, uma situação ilusória similar àquela produzida pela sala móvel visual, foi criada e adultos apresentaram oscilação corporal correspondente ao movimento da barra (JEKA ET AL., 1997; JEKA ET AL., 1998). Este efeito ocorre, pois os movimentos da barra em direção ao indivíduo provocam a ilusão de oscilação corporal em direção à barra e movimentos da barra em direção oposta ao indivíduo provocam a ilusão de oscilação corporal em direção oposta à barra. Então, para minimizar e compensar esses deslocamentos ilusórios, os indivíduos oscilam na mesma direção do estímulo somatossensorial. Além de demonstrarem que oscilações corporais de adultos jovens podem ser induzidas pelos deslocamentos de uma barra de toque, Jeka e colaboradores

---

observaram que o sistema de controle postural é sensível aos parâmetros de posição e velocidade do estímulo somatossensorial (JEKA ET AL., 1998).

Recentemente, este relacionamento entre informação somatossensorial e controle postural também foi investigado em crianças (BARELA; JEKA; CLARK, 2003). Da mesma forma que nos adultos, oscilações corporais nas frequências de 0,2, 0,5 e 0,8 Hz de crianças de 4, 6 e 8 anos foram induzidas pela oscilação do estímulo somatossensorial, proveniente dos deslocamentos de uma barra de toque. Contudo, o relacionamento entre informação somatossensorial e a oscilação corporal em crianças foi mais fraco e mais variável do que o observado em adultos. Segundo os autores, o relacionamento entre informação sensorial e ação motora mais fraco indica que as crianças não apresentaram um acoplamento tão coerente e estável como os adultos entre a informação obtida pelo contato com o dedo na superfície e a ação motora necessária para manter a referida posição corporal. Ainda, a maior variabilidade pode ser decorrente de um nível mais acentuado de ruído inerente ao sistema de controle postural das crianças proveniente tanto dos comandos enviados à musculatura quanto da dificuldade das crianças em estimar a posição e velocidade corporal. Finalmente, com base nestes resultados, Barela, Jeka e Clark (2003) sugeriram que esta variabilidade pode refletir a dificuldade das crianças em selecionar as informações sensoriais mais importantes de diferentes fontes para gerar uma estimativa interna de orientação corporal.

Em síntese, os resultados dos estudos apresentados chamam a atenção para o fato de que o relacionamento entre informação sensorial e ação motora é alterado ao longo do desenvolvimento. As alterações neste relacionamento parecem ocorrer tanto quando informações visuais quanto informações somatossensoriais são manipuladas e influenciam

---

na manutenção ou alcance de uma determinada posição corporal. Ainda, experiência em realizar a tarefa parece interferir neste relacionamento, provocando um fortalecimento do relacionamento entre informação sensorial e ação motora.

## **2.2. CICLO PERCEÇÃO-AÇÃO**

### **2.2.1. Detecção e utilização coerente das informações sensoriais ao longo do desenvolvimento**

A detecção e utilização das informações sensoriais, especialmente as visuais parecem estar presentes desde os primeiros dias e meses de vida. Jouen (1988) observou que bebês de apenas três dias apresentaram reações apropriadas da cabeça frente à movimentação de um conjunto de luzes. Os resultados deste estudo mostraram que as respostas produzidas pelos músculos responsáveis pela movimentação da cabeça dos bebês foram moduladas pela aceleração e desaceleração (velocidade) do estímulo visual fornecido. Em adição, Jouen, Lepecq, Gapenne e Bertenthal (2000) observaram que bebês desta mesma idade apresentaram movimentos da cabeça em resposta a diferentes velocidades do estímulo visual, sendo que a magnitude das respostas destes bebês aumentou na medida em que a velocidade do estímulo visual também aumentou.

Estes e outros estudos que investigaram as respostas posturais de bebês a diferentes estímulos sensoriais, especialmente os visuais (BERTENTHAL; BAI, 1989; BERTENTHAL; ROSE; BAI, 1997; DELORME; FRIGON; LAGACÉ, 1989; BARELA ET AL., 2000; BARELA ET AL.,

2003) trazem algumas evidências de que bebês, desde o nascimento já são capazes de responder aos estímulos visuais que simulem movimento de objetos em direção à face ou movimentos ilusórios do próprio corpo para frente ou para trás, como é o caso quando os bebês são submetidos à sala móvel visual. Mais interessante, ainda, é observar que nestes estudos, bebês com poucos dias ou meses de vida foram capazes de produzir respostas musculares correspondentes às alterações nas informações visuais disponíveis no ambiente, conseguindo produzir ação muscular e/ou controlar, por exemplo, os movimentos da cabeça em resposta aos estímulos visuais.

Recentemente, Gilmore, Baker e Grobman (2004) examinaram a habilidade de bebês de 3 a 6 meses de idade em discriminar padrões de fluxo óptico que simulavam diferentes direções de auto-movimento. Estes autores buscaram investigar se os bebês desenvolviam a sensibilidade de direção da locomoção (*heading*) anterior a aquisição de uma atividade locomotora, neste caso, o início do engatinhar e, também, se as informações visuais contidas em diferentes padrões de fluxo óptico seriam suficientes para esta discriminação. De acordo com os autores, informações contidas no fluxo óptico influenciam as oscilações corporais dos bebês desde muito cedo e a detecção deste tipo de informação visual é crítica para a realização de uma variedade de habilidades locomotoras adquiridas ao longo do desenvolvimento como engatinhar, andar.

Em três experimentos, Gilmore, Baker e Grobman (2004) posicionaram os bebês em uma cadeira, em frente a uma tela que simulou diferentes direções de locomoção. A simulação foi criada por uma série de pontos (experimentos 1 e 2) e por um ambiente complexo tridimensional virtual composto por barras verticais (experimento 3). Os resultados dos experimentos 1 e 2 demonstraram que bebês de 3 e 5 meses de idade foram

---

similarmente capazes de discriminar os padrões de direção da locomoção, embora, tenham sido sensíveis apenas quando submetidos a grandes mudanças nos ângulos de orientação do olhar. Os autores sugeriram, então, que bebês com poucos meses apresentam sensibilidade ao fluxo óptico que especifica diferentes direções de auto-movimento, contudo, mudanças desenvolvimentais consideráveis nesta sensibilidade devem ocorrer somente após o quinto mês de idade. Já os resultados do experimento 3 demonstraram que bebês de 6 meses conseguiram extrair informações de profundidade contidas no padrão tridimensional do fluxo óptico mesmo quando informações sobre a superfície do ambiente não estavam presentes. Os autores sugeriram que bebês são capazes de especificar direção de auto-movimento com poucas dicas do estímulo visual (GILMORE; BAKER; GROBMAN, 2004).

Em adição aos estudos anteriores, Hedberg, Forsberg e Hadders-Algra (2004) verificaram que bebês de apenas um mês de vida apresentavam ativações musculares apropriadas quando submetidos a perturbações do corpo para frente e para trás por meio de uma plataforma, móvel. Estes autores demonstraram que mesmo quando os bebês sofriam perturbações rápidas (entre 180 e 220 mm/s) ou lentas (entre 120 e 180 mm/s) desta plataforma, ativavam, freqüentemente, os músculos agonistas dorsais em resposta a perturbações para trás e os músculos agonistas ventrais em resposta a perturbações para frente. Entretanto, uma grande variabilidade nos padrões de ativação muscular destes bebês foi observada. Com base nestes resultados, Hedberg, Fossberg e Hadders-Algra (2004) sugeriram que as ativações musculares adequadas à direção da perturbação fazem parte de um funcionamento básico do sistema de controle postural e têm origem inata.

Pode-se observar que vários estudos apontam que bebês de muito pouca idade parecem apresentar um funcionamento inerente de alguns subsistemas perceptivos (JOUEN,



---

1988; JOUEN ET AL., 2000; GILMORE; BAKER; GROBMAN, 2004) e motores (HEDBERG; FORSSBER; HADDERS-ALGRA, 2004) mesmo antes deles serem capazes de se movimentar com precisão. Além disto, parece que estas possibilidades rudimentares de interação com o ambiente permitem que os bebês sejam capazes de responder às demandas do ambiente com base na informação sensorial disponível. No entanto, é importante acrescentar que eles apresentam grande variabilidade nestas respostas demonstrando não haver ainda uma forte sintonização entre o que ele consegue detectar e as ativações musculares necessárias para responder ao meio e, conseqüentemente, buscar novas informações sensoriais para controlar as ações motoras. Neste sentido, o controle da cabeça demonstrado por bebês de poucos dias ou meses em respostas aos estímulos visuais (JOUEN, 1988; JOUEN ET AL., 2000), parece ter sido possível não somente porque os bebês conseguiram detectar uma informação sensorial útil para o sistema de controle postural, mas também, porque este comportamento envolveu poucas estruturas corporais (os olhos e a cabeça) e restrições biomecânicas, bem como necessitou de reduzida força muscular para ser realizado (BERTENTHAL; CLIFTON, 1997).

Em síntese, um dos pontos mais intrigantes que pode ser destacado nestes e em outros estudos é que os bebês não apenas detectam, mas já utilizam diversas fontes de informações sensoriais, (visual, somatossensorial e vestibular) na tentativa de controlar o corpo apropriadamente frente às demandas do ambiente. Entretanto, vários estudos têm demonstrado que um relacionamento dinâmico entre percepção e ação somente é observado na medida em que o bebê adquire experiência em realizar determinadas tarefas motoras e é desafiado a responder a um número maior de situações (por exemplo, BERTENTHAL; BAI,

---

1989; ROSE; BERTENTHAL, 1995, HIGGINS; CAMPOS; KERMOIAN, 1996; BARELA, 1997, BARELA ET AL., 2003).

Sendo assim, embora os bebês consigam responder a uma série de estímulos sensoriais e apresentem funcionamento básico do sistema de controle postural desde o nascimento, a utilização precisa das informações sensoriais que resultará em ações musculares adequadas à situação ambiental parece se desenvolver mais tarde com experiência ativa em ciclos repetitivos de percepção-ação vivenciados durante a realização das tarefas motoras (THELEN; BRADLEY, 1988, GILMORE; BAKER; GROBMAN, 2004). Gilmore, Baker e Grobman (2004) destacam que no caso dos bebês pré-locomotores, ou seja, aqueles que ainda não adquiriram as habilidades locomotoras, o mínimo de sensibilidade de direção de auto-movimento, que parece haver nestes bebês, se desenvolve amplamente com a experiência nas próprias habilidades locomotoras.

Os resultados obtidos por Delorme, Frigon e Lagacé (1989) que investigaram as reações posturais de bebês com diferentes experiências no ficar em pé com suporte corroboram esta idéia. Cinco grupos de bebês foram divididos de acordo com sua experiência no ficar em pé, sendo: 1) bebês capazes de ficar em pé com suporte; 2) bebês capazes de ficar em pé sem suporte, mas incapazes de andar sem ajuda, 3) bebês capazes de dar poucos passos; 4) bebês que andavam e 5) bebês que andavam, mas com melhor qualidade de locomoção.

Estes bebês foram submetidos à situação experimental da sala móvel, permanecendo em pé apoiados em uma estrutura que servia para medir os ajustes posturais dos bebês a partir de uma plataforma de força. Os resultados mostraram que a frequência de oscilação corporal dos bebês foi correspondente à frequência de oscilação da sala (0,52 Hz), exceto

---

para o grupo de bebês que era capaz apenas de ficar em pé com apoio. Ainda, a relação entre a oscilação corporal dos bebês e o movimento da sala foi alta para os bebês que já tinham alguma experiência no ficar em pé em comparação com os bebês que apenas eram capazes de ficar em pé com apoio.

O efeito da experiência ao longo do desenvolvimento foi também observado no estudo realizado por Rose e Bertenthal (1995) que investigaram as respostas posturais individuais de bebês com idades de 16 até 36 semanas, com diferentes experiências no sentar independente. Durante 20 semanas, estes bebês foram submetidos à situação da sala móvel visual, com intervalos de 4 semanas entre um teste e outro. Os autores observaram que bebês que tinham maior experiência no início do sentar independente demonstraram um aumento no relacionamento entre oscilação corporal e o movimento da sala, representado por frequências de oscilação corporal similares ao estímulo visual proveniente da sala.

Entretanto, no decorrer das semanas, com o aumento na experiência de sentar independente, estes bebês demonstraram uma diminuição neste relacionamento, apresentando um padrão de relacionamento na forma de um U invertido. Contrariamente, bebês que tinham menos experiência nesta posição mostraram um fortalecimento no relacionamento entre oscilação corporal e o movimento da sala, demonstrando frequências de oscilação corporal cada vez mais similares ao estímulo visual da sala no decorrer das semanas. A partir destes resultados, Rose e Bertenthal (1995) sugeriram que a informação visual desempenhava um papel dominante na tarefa dos bebês permanecerem sentados, contudo, na medida em que eles adquiriam experiência nesta posição eram capazes de

---

integrar as informações sensoriais de outros canais (vestibulares e somatossensoriais) e confiar menos na informação visual para controlar a postura.

Recentemente, o paradigma da sala móvel visual foi utilizado experimentalmente por Barela, Freitas Júnior, Godoi e Polastri (2000) para examinar o acoplamento entre informação sensorial e ação motora em bebês de seis a nove meses de idade, com níveis diferenciados na experiência de sentar independente. Esses autores verificaram que as oscilações corporais de bebês de diferentes idades foram igualmente induzidas pelo movimento da sala, entretanto, nenhuma diferença desenvolvimental no acoplamento foi verificada. Em outra situação, na qual bebês de sete meses de idade foram expostos a um período de prática, Barela e colaboradores (BARELA ET AL., 2003) observaram que as oscilações corporais dos bebês continuaram a ser induzidas pelo movimento da sala, mantendo a mesma estabilidade temporal, contudo, houve um enfraquecimento no relacionamento entre informação visual e oscilação corporal desses bebês ao longo da prática. Esses autores sugeriram que, com a prática, os bebês poderiam ter conseguido discriminar as informações sensoriais (visual, vestibular e somatossensorial) conflitantes dentro da sala móvel e, desta forma, diminuir a influência da informação visual sobre a oscilação corporal.

Embora, os resultados destes dois estudos possam parecer contraditórios uma vez que nenhuma diferença foi encontrada com relação a experiência dos bebês no sentar independente, Barela e colaboradores (BARELA ET AL., 2000; BARELA ET AL., 2003) atribuíram os resultados do primeiro estudo, ao fato de que os bebês foram expostos à situação ilusória da sala uma única vez, o que pode não ter permitido que bebês de nove meses, por exemplo, discriminassem as informações sensoriais incoerentes e não

---

acoplassem suas respostas posturais à informação visual. Os resultados encontrados no estudo de Rose e Bertenthal (1995) corroboram esta sugestão, tendo em vista que, neste caso, os bebês foram submetidos, periodicamente, à situação de teste na sala móvel e demonstraram um aumento no relacionamento entre as oscilações corporais e o movimento da sala e um posterior enfraquecimento deste relacionamento no decorrer das semanas.

Explicação similar foi sugerida por Barela, Jeka e Clark (2003) quando a informação somatossensorial foi manipulada e crianças foram mais variáveis no relacionamento entre informação somatossensorial e oscilação corporal. Como no caso dos bebês, as crianças podem não ter conseguido retirar da situação ilusória a informação sensorial mais importante ou útil para controlar sua postura, dando maior credibilidade para a informação somatossensorial incorreta em detrimento dos outros canais sensoriais (visual e vestibular). Mais tarde, na medida em que a criança explora diversas situações e adquire experiência na postura (por exemplo, ficar em pé), ela consegue ignorar as informações incoerentes e selecionar as informações mais relevantes para a realização da tarefa.

Levando em consideração os resultados destes estudos, a experiência em realizar ações é fundamental para se obter um relacionamento dinâmico entre as informações sensoriais e atividade motora uma vez que proporciona aos bebês e crianças uma importante possibilidade de ativamente selecionar, dentre diversas fontes de informações sensoriais aquelas que terão maior funcionalidade para a realização da tarefa desejada (sentar, ficar em pé, etc). É preciso levar em consideração, no entanto, que a utilização de informações sensoriais relevantes é dependente do contexto no qual a ação está sendo realizada (BARELA, 1997; BARELA; JEKA; CLARK, 2003; POLASTRI; BONFIM; BARELA, 2005; BONFIM; POLASTRI; BARELA, 2006). Em situações de conflito sensorial como, por exemplo,

---

aquelas vivenciadas dentro da sala móvel visual e somatossensorial, o papel da experiência torna-se, ainda, mais evidente. Vivenciar a ação diversas vezes permite que o sistema de controle postural discrimine e se ajuste às demandas conflitantes do ambiente e, desta forma, diminua a importância das informações sensoriais que não são relevantes para a ação.

Além destas constatações, estes comportamentos observados em bebês (BARELA ET AL., 2000; BARELA ET AL., 2003) crianças e adultos (BARELA; JEKA; CLARK, 2003; POLASTRI; BONFIM; BARELA, 2005; BONFIM; POLASTRI; BARELA, 2006) apontam para outro aspecto muito importante do funcionamento do sistema de controle postural. Detectar e utilizar as informações sensoriais disponíveis implica que este sistema seja capaz de acoplar-se a parâmetros específicos do estímulo sensorial. Parâmetros de velocidade (DIJKSTRA ET AL., 1994; JEKA ET AL., 1997) e velocidade e posição (JEKA ET AL., 1998; BARELA ET AL., 2000) dos estímulos têm sido indicados como determinantes para gerar alterações no funcionamento do sistema de controle postural (GODOI, 2004). Contudo, a natureza e utilização dos parâmetros dos estímulos sensoriais e as alterações provocadas pelos mesmos no funcionamento do sistema de controle postural ao longo do ciclo vital permanecem como questões que ainda necessitam se respondidas.

### 2.2.2. Respostas motoras frente às alterações na amplitude e velocidade do estímulo sensorial: pesos sensoriais

Em condições normais, os sistemas sensoriais fornecem informações em abundância que em muitos casos são redundantes. Sendo assim, durante a realização de uma

---

determinada tarefa, todas as informações sensoriais disponíveis especificam as características dinâmicas e o contexto no qual esta tarefa será realizada. Por exemplo, o sistema de controle postural de um adulto mostra-se sensível a parâmetros de velocidade do estímulo visual (DIJKSTRA ET AL., 1994), velocidade e posição do estímulo somatossensorial (JEKA ET AL., 1997; JEKA ET AL., 1998), e velocidade e aceleração dos movimentos da cabeça com relação ao estímulo vestibular (KELLY, 1991), informações que podem auxiliá-lo na manutenção da postura em pé.

No caso de situações em que ocorram conflitos sensoriais, pode não haver redundância entre um ou mais canais sendo que um sistema sensorial pode fornecer determinados tipos de informações que outros não podem e que serão mais eficientes para responder às demandas do ambiente, seja pela especificidade de seus canais ou pela relevância deste tipo de informação para a tarefa. Uma vez que estas informações são integradas umas com as outras, supõe-se que todas as informações sensoriais disponíveis estão sendo utilizadas, entretanto, assume-se que ocorre uma dinâmica reorganização da importância destas informações (HORAK; MACPHERSON, 1996) para a realização eficiente da tarefa, principalmente, em situações de conflito sensorial.

Jeka, Oie e Kiemel (2000) propuseram um modelo teórico para explicar como o sistema de controle postural utiliza e integra os sistemas sensoriais em uma única referência de orientação corporal, dada a natureza distinta de suas informações. Este modelo foi testado experimentalmente (OIE; KIEMEL; JEKA, 2002) predizendo que mudanças nas respostas posturais frente à manipulação sensorial seriam decorrentes de mudanças nos “pesos sensoriais”, ou seja, na importância de um determinado canal sensorial para o sistema de controle postural. Mas como seria a atribuição destes pesos?

---

Em determinadas situações, alguns estímulos podem ser percebidos e especificados por alguns canais sensoriais e, no entanto, não serem compartilhados por outros. Quando isto acontece, o sistema de controle postural maximiza as respostas posturais para as informações dos sistemas sensoriais mais confiáveis e minimiza para os outros. Basicamente, o que ocorre é o aumento do peso (confiança) em certas informações sensoriais simultaneamente a diminuição do peso em outras menos precisas e confiáveis, possibilitando responder dinamicamente às demandas do ambiente (OIE; KIEMEL; JEKA, 2002).

Desta forma, crianças de 4 anos submetidas aos movimentos da barra de toque (BARELA; JEKA; CLARK, 2003) parecem não ter conseguido aumentar o peso dado à informação somatossensorial, apresentando acoplamento mais fraco do que os adultos jovens para a realização da tarefa. Por outro lado, bebês de 7 meses submetidos à exposição prolongada à situação da sala móvel visual (BARELA ET AL., 2003) conseguiram discriminar a oscilação corporal induzida pela informação visual e diminuir o peso dado à informação visual que estava incoerente com as informações fornecidas pelos sistemas somatossensorial e vestibular.

Recentemente, Polastri, Bonfim e Barela (2005) e Bonfim, Polastri e Barela (2006) buscaram investigar o efeito do toque suave no acoplamento entre informação visual e oscilação corporal de crianças e adultos. Nestes estudos, os participantes permaneceram em pé dentro de uma sala móvel, em frente a uma barra de toque e realizaram seis condições experimentais que combinavam: olhos abertos e olhos fechados, com e sem o movimento de uma sala móvel e com e sem o toque suave em uma barra estacionária. Os resultados destes estudos mostraram que o toque suave reduziu a oscilação corporal tanto de adultos



---

quanto de crianças em todas as condições visuais (olhos fechados, olhos abertos e informação visual conflitante proveniente das oscilações da sala), contudo as crianças apresentaram oscilações corporais maiores do que as observadas nos adultos, em todas as condições experimentais.

A partir destes resultados, os autores sugeriram que a informação somatossensorial adicional parece sobrepor as informações visuais ilusórias, provenientes da sala móvel, reduzindo a influência deste estímulo sobre a oscilação corporal. No entanto, diferentemente dos adultos, as crianças parecem não ter conseguido ignorar ou diminuir o peso sobre a informação sensorial conflitante na mesma magnitude que adultos e, assim, resolver de maneira mais eficiente o conflito sensorial provocado pela sala, o que refletiu em oscilações corporais maiores do que as dos adultos. É importante ressaltar que nem adultos e nem as crianças verbalizaram ter conhecimento sobre o movimento da sala móvel.

Levando em consideração esta proposta teórica de pesos sensoriais, a maneira como as informações são extraídas e percebidas no ambiente parece ser um fator importante para a obtenção de um relacionamento dinâmico entre as informações sensoriais e a atividade motora. Polastri, Godoi e Barela (2002) encontraram resultados interessantes quando submeteram adultos jovens à exposição prolongada da sala móvel. Estes autores verificaram que o acoplamento entre informação visual e oscilação corporal de adultos jovens, durante a manutenção da posição em pé, foi similar ao longo de 7 dias de exposição ao estímulo visual. Uma vez que os bebês de 7 meses apresentaram enfraquecimento neste acoplamento com a prática, qual a razão para que adultos não fizessem o mesmo? Uma das explicações para estes resultados é que tendo em vista que os adultos jovens relataram não perceber o movimento da sala, parece que eles não conseguiram detectar que a informação

---

visual era ilusória e não diminuíram o peso desta no sistema de controle postural. Por outro lado, no caso dos bebês, a amplitude e a velocidade de oscilação da sala foram maiores o que pode ter possibilitado que os mesmos discriminassem a situação ilusória da sala móvel. Entretanto, esta é apenas uma suposição, tendo em vista que não foi possível controlar este aspecto no estudo que envolveu os bebês e necessita ser verificada com mais cuidado.

Freitas Júnior e Barela (2004) submeteram dois grupos de adultos jovens à situação da sala: os que sabiam dos movimentos da sala móvel e os que não sabiam que a sala se movimentava. Estes autores verificaram que o grupo que sabia do movimento da sala foi menos influenciado por estes movimentos do que aquele que não sabia e sugeriram que o sistema de controle postural atua em dois modos diferentes dependendo do conhecimento prévio sobre a situação da sala. Sendo assim, parece que exposição ao estímulo sensorial apenas pode levar o sistema a atuar em modos diferentes, se as informações relevantes para a tarefa puderem ser detectadas pelo sistema de controle postural (POLASTRI; GODOI; BARELA, 2002). Quando isto acontece, os estímulos sensoriais que estão especificando movimento do objeto ao invés de auto-movimento são reorganizados de tal forma que o peso sensorial deste aumenta (OIE; KIEMEL; JEKA, 2002), diminuindo a influência do movimento da sala sobre a oscilação corporal, o que parece ter acontecido no caso dos bebês de 7 meses (BARELA ET AL., 2003).

Sendo assim, parece que a obtenção de relacionamentos dinâmicos com o ambiente está relacionada à utilização de informações sensoriais relevantes para a tarefa a ser realizada. Bebês, crianças e adultos parecem conseguir atribuir diferentes pesos aos estímulos sensoriais em função da maior utilidade desta informação para a ação. Entretanto, os resultados dos estudos acima apontam características comportamentais diferentes no

---

funcionamento do sistema de controle postural entre estas faixas etárias. Tendo em vista que estas diferenças podem estar relacionadas à maneira como estes indivíduos se adaptam às alterações dos estímulos sensoriais no ambiente, evidências de processos adaptativos no sistema de controle postural ao longo dos anos são abordadas mais detalhadamente a seguir.

### 2.2.3. Propriedades adaptativas do sistema de controle postural ao longo dos anos

Mudanças significativas no funcionamento do sistema de controle postural decorrentes da tentativa do sistema de obter relacionamentos flexíveis e estáveis com as propriedades do ambiente parecem ocorrer ao longo do ciclo vital (SCHÖNER; DIJKSTRA; JEKA, 1998; PETERKA, 2002; BARDY ET AL., 2002; BARELA ET AL., 2003; PETERKA; LOUGHLIN, 2004; GODOI, 2004, BONFIM; POLASTRI; BARELA, 2006). Entretanto, vários estudos têm indicado que a ocorrência destas mudanças na dinâmica intrínseca deste sistema parece ser influenciada por vários fatores, desde a detecção de diferentes propriedades dos estímulos sensoriais (DIJKSTRA ET AL., 1994; DIJKSTRA; SCHÖNER; GIELEN, 1994; JEKA ET AL., 1997; JEKA ET AL., 1998) até discriminação e processamento cognitivo sobre as informações sensoriais disponíveis (GUERRAZ ET AL., 2001; POLASTRI; BARELA; BARELA, 2001; FREITAS JÚNIOR; BARELA, 2004; PEROTTI JÚNIOR ET AL., 2004; PEROTTI JÚNIOR ET AL., 2004). Recentemente, a magnitude do estímulo sensorial tem sido identificada como um importante fator para gerar mudanças no funcionamento do sistema de controle postural de adultos (SCHÖNER; DIJKSTRA; JEKA, 1998; BARELA ET AL., EM PREPARAÇÃO) em situações nas quais o indivíduo percebe implicitamente grandes alterações nas informações sensoriais disponíveis.

---

Estes estudos deixam clara, a preocupação e a necessidade de entender e identificar os processos adaptativos que levam às transformações na dinâmica intrínseca do sistema de controle postural. Apesar disto, questões relacionadas à como este sistema se adapta às diversas alterações nos parâmetros dos estímulos sensoriais e qual a natureza desta informação sensorial para que sejam observadas mudanças desenvolvimentais na dinâmica intrínseca deste sistema, ainda, permanecem em discussão.

É importante ressaltar que o conceito de dinâmica intrínseca do sistema de controle postural vem sendo utilizado como uma forma de descrever os comportamentos preferenciais de funcionamento deste sistema (SCHÖNER; KELSO, 1988A; SCHÖNER; KELSO, 1988B; SCHÖNER; KELSO, 1988C; SCHÖNER, 1991). Informações comportamentais, como por exemplo, alterações nas diversas fontes de informações sensoriais disponíveis no ambiente, intenção, fornecimento de informações verbais sobre a ação, entre outras, parecem ser algumas das características responsáveis por provocar alterações na dinâmica intrínseca do sistema.

Sendo assim, embora esta atuação preferencial aconteça, o sistema é capaz de modificá-la a qualquer momento para se ajustar às informações comportamentais, o que possibilita a manifestação de outros comportamentos que sejam mais adequados às exigências do ambiente e da tarefa. Tendo em vista estas alterações, vários modelos matemáticos têm sido sugeridos para descrever a influência das informações sensoriais no funcionamento do sistema de controle postural (SCHÖNER, 1991; VAN DER KOOIJ ET AL., 1999; OIE KIEMEL; JEKA, 2001; OIE, KIEMEL; JEKA, 2002; PETERKA, 2002; VAN DER KOOIJ ET AL., 2001) e têm contribuído para um melhor entendimento dos processos adaptativos deste sistema.

---

De maneira geral, o termo adaptação ou processo adaptativo refere-se às alterações observadas, por exemplo, no funcionamento do sistema de controle postural que ocorrem a fim de compensar as mudanças nas condições ambientais, ou seja, adaptações são alterações na dinâmica intrínseca do sistema. Estas alterações, então, implicam no aparecimento de formas mais complexas de interação com o ambiente, que são diferentes daquelas já existentes (TANI, 2005; CORRÊA; TANI, 2005) e deixam explícito o relacionamento dinâmico entre o indivíduo e o meio em que ele vive. Além disto, adaptação parece ser um processo que ocorre ao longo dos anos e está inserido dentro do desenvolvimento motor na medida em que novas formas de comportamento vão sendo adquiridas (MANOEL, 2005). No entanto, identificar e explicar os processos adaptativos no funcionamento do sistema de controle postural não é uma tarefa tão simples assim, tendo em vista a alta quantidade de fatores que podem estar envolvidos.

Apenas alguns estudos têm conseguido testar e demonstrar claramente alterações estáveis na dinâmica intrínseca do sistema de controle postural de adultos (DIJKSTRA ET AL., 1994; DIJKSTRA; SCHÖNER; GIELEN, 1994; JEKA ET AL., 1997; JEKA ET AL., 1998; FREITAS JÚNIOR; BARELA, 2004) e muito poucos têm investigado estas alterações em crianças (SCHMUCKLER, 1997; GODOI, 2004) e bebês (ANGULO-KINZLER; HORN, 2001; BARELA ET AL., 2000; BERTENTHAL; BOKER; XU, 2000; BARELA ET AL., 2003).

Demonstrações de processos adaptativos no sistema de controle postural de adultos frente às alterações nas informações visuais foram realizadas por Dijkstra e colaboradores (DIJKSTRA ET AL., 1994; DIJKSTRA; SCHÖNER; GIELEN, 1994). Estes autores identificaram que o sistema de controle postural de adultos dinamicamente modifica seus parâmetros de funcionamento tanto para se ajustar às alterações nos estímulos visuais disponíveis no

---

ambiente (DIJKSTRA; SCHÖNER; GIELEN, 1994) quanto para se ajustar às variações na frequência e amplitude deste estímulo (DIJKSTRA ET AL., 1994).

É importante mencionar que os estudos realizados por Dijkstra e colaboradores (DIJKSTRA ET AL., 1994; DIJKSTRA; SCHÖNER; GIELEN, 1994) buscaram examinar experimentalmente o modelo teórico de Schöner (1991) no qual ele sugeriu que a força de acoplamento entre a informação sensorial e oscilação corporal em situações de manipulação do estímulo visual, como as provenientes da sala móvel, poderia ser inferida a partir da estabilidade do relacionamento entre ambas. Neste caso, Schöner (1991) define estabilidade como a habilidade de retornar ao padrão de coordenação após uma perturbação e/ou sustentar este padrão frente às demandas do ambiente. Desta forma, um fraco acoplamento entre informação visual e ação motora seria caracterizado por um relacionamento com alta instabilidade, enquanto que um forte acoplamento seria caracterizado por um relacionamento estável.

Dijkstra, Schöner e Gielen (1994) submeteram adultos a uma situação de sala móvel virtual, na qual pontos projetados em uma tela provocavam ilusões de que os participantes estavam a diferentes distâncias (25, 50, 100 e 200 cm) desta tela, embora eles permanecessem fisicamente a uma distância de 50 cm da mesma. Além de criar a ilusão de diferentes distâncias, estes pontos geravam a situação ilusória de movimento corporal nos participantes para frente e para trás, sendo que quando a imagem dos pontos se expandia na retina, os participantes tinham a ilusão de oscilação corporal em direção à tela e quando esta imagem diminuía, os participantes tinham a ilusão de oscilações corporais que os afastavam da tela. Os resultados mostraram que as oscilações corporais dos participantes foram induzidas pelo estímulo visual proveniente do movimento dos pontos

---

independentemente da distância ilusória dos mesmos. No entanto, a força do acoplamento entre as oscilações corporais dos participantes e o movimento dos pontos virtuais diminuiu com o aumento da distância sendo este acoplamento mais forte em distâncias menores.

Resultados ainda mais interessantes foram apresentados por Dijkstra, Schöner, Giese e Gielen (1994) que variaram as frequências e as amplitudes de apresentação dos pontos virtuais (0,05, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 e 0,5 Hz e 10, 5, 2,5, 1,67, 1,25 e 1 cm, respectivamente) mantendo o pico de velocidade deste estímulo visual e a distância do participante à tela (50 cm) constantes para todas as tentativas. Os resultados apontaram que a frequência de oscilação corporal dos participantes foi correspondente às frequências do estímulo. O relacionamento temporal entre a oscilação corporal e o estímulo visual indicou que as oscilações corporais dos participantes se antecipavam ao estímulo visual com frequências abaixo de 0,2 Hz, eram temporalmente correspondentes em frequências próximas de 0,2 Hz e se atrasavam em frequências mais altas. Entretanto, os resultados mostraram que a variabilidade deste relacionamento temporal foi dependente da frequência do estímulo sendo que o acoplamento entre as oscilações corporais dos participantes e o estímulo visual foi mais estável nas frequências de 0,2 e 0,3 Hz do que nas demais frequências.

A partir destes resultados, Dijkstra e colaboradores (DIJKSTRA ET AL., 1994; DIJKSTRA; SCHÖNER; GIELEN, 1994) sugeriram que o sistema de controle postural de adultos é capaz de modificar sua dinâmica intrínseca para utilizar ativamente os parâmetros do estímulo visual, o que pode ser indicado pelo fato das oscilações corporais terem sido induzidas por este estímulo mesmo em distâncias maiores (DIJKSTRA; SCHÖNER; GIELEN, 1994). Os autores, também, sugeriram que o sistema de controle postural acopla-se ao

---

componente de velocidade do estímulo visual (DIJKSTRA ET AL., 1994), no entanto, não apresenta oscilações corporais passivamente dirigidas pelas alterações na frequência, pelo contrário, este sistema modifica os seus próprios parâmetros de funcionamento para gerar oscilações corporais que sejam correspondentes aos estímulos.

Mudanças no funcionamento do sistema de controle postural de adultos não são observadas exclusivamente sobre a influência de alterações nos estímulos visuais. Jeka e colaboradores (JEKA ET AL., 1997; JEKA ET AL., 1998; JEKA; OIE; KIEMEL, 2000; OIE; KIEMEL; JEKA, 2002) utilizando o paradigma da sala móvel somatossensorial, também, identificaram alterações no funcionamento do sistema de controle postural de adultos. Informação somatossensorial, neste caso, foi fornecida pelo contato da ponta do dedo do participante em uma barra de toque que foi movimentada em várias frequências com diferentes parâmetros do estímulo sensorial (posição e velocidade). De modo geral, todos estes estudos indicaram que as oscilações corporais dos participantes foram induzidas pelo movimento da superfície de contato em quase todas as frequências, contudo, estas alterações foram dependentes das propriedades do estímulo somatossensorial (posição e velocidade).

Por exemplo, Jeka, Schöner, Dijkstra, Ribeiro e Lackner (1997) examinaram o relacionamento entre informação somatossensorial e oscilação corporal de adultos durante a manutenção da postura em pé. Os participantes foram solicitados a permanecerem com o dedo indicador em contato com a barra de toque que foi movimentada nas frequências de 0,1, 0,2, 0,3, 0,4 e 0,5 Hz, mantendo a amplitude constante por volta de 3 mm, o que implicou em uma variação no pico de velocidade deste estímulo. Os resultados mostraram que tanto as oscilações da cabeça quanto do corpo variaram de acordo com as frequências



---

de movimentação da barra. Além disto, a influência do movimento da barra de toque sobre as oscilações corporais foi maior na medida em que as frequências aumentaram. Com base nestes resultados, os autores sugeriram que o sistema de controle postural de adultos modifica seus parâmetros de funcionamento para acoplar-se aos parâmetros de velocidade do estímulo somatossensorial a fim de compensar suas alterações.

Resultados adicionais aos encontrados no estudo anterior foram verificados por Jeka, Oie, Schöner, Dijkstra e Henson (1998). Neste estudo, a barra de toque foi movimentada nas frequências de 0,1, 0,2, 0,4, 0,6 e 0,8 Hz e o pico de velocidade mantido constante em 0,65 cm/s implicando em uma variação na amplitude deste estímulo. Os resultados mostraram que o sistema de controle postural acopla-se fortemente ao estímulo somatossensorial em frequências abaixo de 0,6 Hz, apresentando oscilações da cabeça e do corpo correspondentes a estas frequências. Ainda, os resultados referentes ao relacionamento temporal entre o movimento da barra e as oscilações corporais indicaram que quando a barra foi movimentada na frequência de 0,1 Hz, as oscilações corporais dos participantes se anteciparam ao estímulo. Por outro lado, quando a barra foi movimentada em frequências mais altas (0,6 e 0,8 Hz) estas oscilações ficaram atrasadas com relação ao estímulo somatossensorial. Além disto, a variabilidade deste relacionamento temporal foi maior na frequência de 0,8 Hz do que nas demais frequências. Relacionamentos temporais similares foram verificados quando as frequências do estímulo visual foram variadas (DIJKSTRA ET AL., 1994; GODOI, 2004). A partir destes resultados, os autores sugeriram que além da velocidade do estímulo somatossensorial (JEKA ET AL., 1997A), o sistema de controle postural acopla-se aos parâmetros de posição deste estímulo utilizando esta informação como referência para orientação do corpo no ambiente.

---

Desta forma, pode-se observar que o funcionamento do sistema de controle postural de adultos parece se adaptar às demandas do ambiente, seja por alterações nas informações visuais ou alterações nas informações somatossensoriais disponíveis. Apesar disto, ainda não está claro como e quando estes processos adaptativos são desencadeados pelos diferentes parâmetros dos estímulos sensoriais e, mais importante, quando estes processos adaptativos são adquiridos e utilizados ao longo do ciclo vital.

No que diz respeito ao funcionamento do sistema de controle postural de crianças, apenas poucos estudos conseguiram evidenciar claramente processos adaptativos ao longo dos anos e alterações consistentes na dinâmica intrínseca deste sistema (SCHMUCKLER, 1997; GODOI, 2004). Schmuckler (1997) examinou respostas posturais de crianças de 3 a 5 anos de idade frente a alterações no estímulo visual. Para isto, submeteu estas crianças aos movimentos de uma sala móvel para frente e para trás em frequências de 0,2, 0,4, 0,6 e 0,8 Hz, mantendo a amplitude aproximadamente constante entre 10 e 12 cm. É importante mencionar que neste estudo, os movimentos da sala foram realizados manualmente pelo experimentador, que ajustava as diferentes velocidades por meio de estímulos sonoros provenientes de um fone de ouvido. As crianças realizaram dois blocos de cinco tentativas com duração de 15 segundos cada, uma em cada frequência de movimento da sala e uma sem a ocorrência do movimento da sala. Os resultados apontaram que a frequência de oscilação das crianças foi correspondente à frequência de movimento da sala indicando que as respostas posturais das crianças foram influenciadas pelo estímulo visual. Contudo, Schmuckler (1997) apontou um resultado ainda mais interessante quando constatou que as crianças apresentaram amplitudes de oscilação corporal menores do primeiro para o segundo bloco de tentativas. Uma das explicações sugeridas pelo autor para estes resultados

é que as alterações nas respostas das crianças indicam algum tipo de adaptação postural que parece ter sido provocada pelo fato das mesmas terem sido expostas muitas vezes ao estímulo visual proveniente dos movimentos da sala.

Em um segundo experimento, Schmuckler (1997) investigou a modulação das respostas posturais de crianças na faixa etária de 3 a 6 anos de idade, utilizando os mesmos parâmetros de frequência do estímulo visual descritos anteriormente. Contudo, estas crianças foram submetidas a duas frequências diferentes em uma mesma tentativa, que durou 20 segundos (10 segundos para cada frequência). Os resultados apontaram que as crianças foram capazes de modular suas respostas posturais em função de mudanças no estímulo visual, contudo, elas apresentaram maior amplitude de oscilação corporal quando submetidas à segunda frequência de movimento da sala em comparação com a frequência inicial da mesma tentativa. Ainda, os resultados indicaram que a frequência de oscilação corporal das crianças foi dependente da magnitude do estímulo visual, sendo que quando a frequência de oscilação da sala diminuiu no meio da tentativa (por exemplo, de 0,6 Hz para 0,4 Hz), as crianças apresentaram frequências de oscilação corporal maiores do que a frequência de movimento da sala, o que não aconteceu quando a frequência de oscilação da sala aumentou durante a tentativa (por exemplo, de 0,2 Hz para 0,4 Hz). Neste caso, as crianças apresentaram frequências de oscilação corporal menores do que a frequência da sala. Desta forma, Schmuckler (1997) sugeriu que os resultados deste experimento implicam que as crianças de 3 a 6 anos são capazes de modular sua oscilação corporal para responder às mudanças no ambiente.

Recentemente, Godoi (2004) investigou o acoplamento entre informação visual e oscilação corporal de crianças e adolescentes de 4 a 14 anos e adultos frente a alterações do

---

estímulo visual provenientes de uma sala móvel. Neste estudo, as frequências de oscilação da sala foram de 0,1, 0,2, 0,5 e 0,8 Hz e a velocidade de pico do estímulo visual foi mantida constante em 0,6 cm/s. Os participantes permaneceram em pé e foram posicionados a 25, 50, 100 e 150 cm de distância da parede do fundo da sala sendo que em cada uma destas distâncias foram submetidas às frequências de movimento da sala mencionadas acima. Os resultados revelaram que as oscilações corporais de todos os participantes foram induzidas pelo movimento da sala, apresentando frequências correspondentes às frequências do estímulo visual. Além disto, a influência dos movimentos da sala sobre a oscilação corporal dos participantes diminuiu com o aumento da idade. Entretanto, resultados muito interessantes foram encontrados para as crianças até os 10 anos de idade em função das alterações na frequência de movimento da sala e na distância entre elas e a parede do fundo da sala.

Neste estudo, crianças entre os 4 e 10 anos de idade quando posicionadas nas distâncias de 100 e 150 cm da parede do fundo da sala apresentaram um acoplamento entre informação visual e oscilação corporal mais fraco e com maior variabilidade do que crianças de 12 anos de idade, que por sua vez, apresentaram comportamentos similares àqueles verificados em adultos. Com relação às frequências de movimento da sala, até os 10 anos de idade, as crianças apresentaram fraco acoplamento entre os movimentos da sala e suas oscilações corporais quando submetidos à frequência de 0,1 Hz. A partir destes resultados, Godoi (2004) sugeriu que mudanças no acoplamento entre informação visual e oscilação corporal parecem estar relacionadas diretamente aos processos adaptativos necessários para adequar o sistema de controle postural às demandas do ambiente e que, embora todas as respostas dos participantes parecem ter se acoplado aos parâmetros de

---

posição e velocidade do estímulo visual, crianças até os 10 anos de idade não são capazes de alterar a dinâmica intrínseca do sistema de controle postural para se ajustar adequadamente às alterações do ambiente.

Portanto, tanto o estudo de Schmuckler (1997) quanto o de Godoi (2004) apresentam indicativos de que crianças mostram processos adaptativos no funcionamento do sistema de controle postural, decorrentes das manipulações no estímulo visual. Contudo, pelo menos até os 10 anos de idade (GODOI, 2004), estas crianças parecem apresentar diferenças na utilização das informações visuais, sendo o relacionamento entre informação sensorial e ação motora mais fraco e variável. Uma possível explicação para este comportamento observado nas crianças pode estar relacionada ao fato de que elas parecem apresentar diferenças nos próprios processos adaptativos, que não se ajustam precisamente às demandas dos estímulos do ambiente. Comportamento similar foi observado quando crianças foram submetidas à sala móvel somatossensorial (BARELA; JEKA; CLARK, 2003) e tiveram que lidar com as alterações decorrentes da manipulação deste estímulo sensorial. Barela, Jeka e Clark (2003) demonstraram que, embora crianças de 4, 6 e 8 anos de idade acoplassem suas respostas aos parâmetros de posição e velocidade do estímulo somatossensorial, elas apresentaram um relacionamento mais fraco e variável entre informação somatossensorial e suas oscilações corporais quando comparado ao dos adultos.

Em síntese, crianças parecem apresentar processos adaptativos quando alterações nos parâmetros sensoriais (visuais e somatossensoriais) do ambiente demandam alterações nos parâmetros de funcionamento do sistema de controle postural. No entanto, estes processos adaptativos são diferentes quando comparados aos de adultos, sendo que parece que crianças não alteram adequadamente os parâmetros de funcionamento do seu sistema a

---

partir de informações sensoriais relevantes para a realização apropriada das tarefas motoras (SCHMUCKLER, 1997; GODOI, 2004). Estes resultados indicam que mudanças desenvolvimentais ocorrem nos processos adaptativos ao longo dos anos, com relação à utilização de informação sensorial para a realização de uma dada ação motora.

Finalmente, os resultados recentes obtidos por Angulo-Kinzler e Horn (2001), Barela e colaboradores (BARELA ET AL., 2000; BARELA ET AL., 2003) e Bertenthal, Boker e Xu (2000) podem ser utilizados como indicativos de alterações na dinâmica intrínseca e processos adaptativos no funcionamento do sistema de controle postural também em bebês. Angulo-Kinzler e Horn (2001) observaram bebês de três meses de idade, na posição supina, que tiveram os movimentos de suas pernas monitorados e indiretamente acoplados a um móbile. Embora os bebês apresentassem, preferencialmente, movimentos de pernas amplos (dinâmica intrínseca), eles aprenderam que flexionando a perna em uma determinada posição, movimentos e sons no móbile vinham a ocorrer. Sendo assim, estimulados por esta tarefa que provocava movimentações no móbile, os bebês alteraram o movimento preferencial de suas pernas passando a apresentar amplitudes menores de movimento das mesmas a fim de responder às demandas do ambiente e da tarefa. Ainda, é interessante notar neste estudo que, quando estes bebês foram submetidos a sessões de prática e retenção, eles continuaram a movimentar suas pernas a fim de produzir movimentos no móbile. Contudo, eles demonstraram movimentos menores do que aqueles preferidos inicialmente, o que parece indicar que alterações na dinâmica intrínseca destes bebês persistem mesmo após algum tempo da experiência ter ocorrido.

Barela e colaboradores (BARELA ET AL., 2000; BARELA ET AL., 2003) verificaram que bebês com idade de 6 a 9 meses, colocados na posição sentada independentemente,

---

apresentaram acoplamentos diferentes entre informação visual e oscilação corporal quando submetidos a duas frequências de movimentação da sala móvel visual (0,2 e 0,5 Hz). Embora eles tenham demonstrado oscilações corporais correspondentes às frequências de movimento da sala, os resultados apontaram que estes bebês acoplaram suas oscilações corporais mais fortemente ao estímulo visual quando a sala foi movimentada na frequência de 0,5 Hz do que na frequência de 0,2 Hz. Da mesma forma, Bertenthal, Boker e Xu (2000) demonstraram que bebês de 9 meses de idade, também na posição sentada, apresentaram oscilações corporais correspondentes a diferentes frequências do estímulo visual (0,2, 0,4, 0,6 e 0,8 Hz) provenientes de uma sala móvel, contudo, a força deste acoplamento diminuiu com o aumento da frequência do estímulo.

Os resultados destes estudos parecem contraditórios uma vez que as oscilações corporais dos bebês foram mais fortemente influenciadas tanto por frequências mais altas (BARELA ET AL., 2000; BARELA ET AL., 2003) quanto por frequências mais baixas (BERTENTHAL; BOKER; XU, 2000). Entretanto, é interessante notar, que os parâmetros de velocidade e posição do estímulo visual foram diferentemente manipulados nestes estudos. Barela e colaboradores (BARELA ET AL., 2000; BARELA ET AL., 2003) mantiveram os mesmos parâmetros de velocidade para ambas as frequências uma vez que Dijkstra e colaboradores (DIJKSTRA ET AL., 1994; DIJKSTRA; SCHÖNER; GIELEN, 1994) apontaram que o sistema de controle postural é sensível a este parâmetro. Por outro lado, Bertenthal, Boker e Xu (2000) mantiveram os parâmetros de amplitude do estímulo visual constantes e variaram os parâmetros de velocidade deste estímulo.

Sendo assim, parece que estas manipulações nos parâmetros de velocidade e posição do estímulo visual geraram diferentes alterações nos parâmetros de funcionamento do

---

sistema de controle postural de bebês e evidenciaram, assim como havia sido sugerido por Barela e colaboradores (BARELA ET AL., 2000; BARELA ET AL., 2003), que o sistema de controle postural de bebês parece ser sensível tanto aos parâmetros de velocidade quanto aos de posição do estímulo visual. É importante ressaltar que Polastri, Barela e Barela (2001) não identificaram diferenças no acoplamento entre as oscilações corporais de adultos e idosos e os movimentos da sala móvel nas frequências de 0,2 e 0,5 Hz, quando os parâmetros de velocidade do estímulo visual foram mantidos constantes. Em contrapartida, Godoi (2004), recentemente, apontou diferenças no acoplamento de adultos somente quando a sala foi movimentada na frequência de 0,8 Hz em comparação com as frequências de 0,1, 0,2 e 0,5 Hz. Nesta alta frequência, as oscilações corporais dos adultos apresentaram um acoplamento mais fraco e com menor influência dos movimentos da sala.

Portanto, alterações no funcionamento do sistema de controle postural de bebês e crianças parecem estar relacionadas a alterações em diferentes parâmetros do estímulo visual (velocidade e posição). Levando em consideração que nem adultos e nem idosos apresentaram as mesmas diferenças com relação aos parâmetros de frequência do estímulo visual (POLASTRI; BARELA; BARELA, 2001), parece que processos adaptativos não se mantêm similares ao longo do desenvolvimento podendo sofrer contínuas mudanças quando influenciados, por exemplo, por experiência em realizar a ação. Porém, cabe ressaltar que estes vários estudos manipularam diferentes parâmetros dos estímulos sensoriais (por exemplo, posição e velocidade) o que por si só parece estar influenciando decisivamente para que tais diferenças sejam encontradas. A comparação entre todos estes resultados, então, tem que ser realizada com muita cautela uma vez que não se tem ainda



---

conhecimento sobre qual a natureza das propriedades dos estímulos sensoriais que podem gerar alterações estáveis e flexíveis no funcionamento do sistema de controle postural.

Embora os vários estudos citados tenham avançado no entendimento do relacionamento entre informação sensorial e ação motora, e os processos adaptativos envolvidos neste relacionamento, várias lacunas ainda precisam ser preenchidas, como por exemplo, qual a natureza das informações sensoriais para que sejam observadas mudanças no funcionamento do sistema de controle postural de adultos? Mudanças estáveis no funcionamento deste sistema seriam dependentes da discriminação da amplitude e velocidade dos estímulos sensoriais? Diferenças entre crianças e adultos quanto ao relacionamento entre informação sensorial e ação motora podem ser decorrentes de processos adaptativos no funcionamento do sistema de controle postural? Ainda, alterações nas informações sensoriais poderiam provocar alterações similares no funcionamento do sistema de controle postural de crianças e adultos? Bebês já apresentariam estas capacidades adaptativas?

Desta forma, a proposta deste estudo leva em consideração que bebês parecem apresentar um funcionamento inerente do sistema de controle postural em resposta às variações dos estímulos sensoriais (JOUEN, 1988; JOUEN ET AL., 2000; GILMORE; BAKER; GROBMAN, 2004; HEDBERG; FORSSBER; HADDERS-ALGRA, 2004). Ainda, experiência em realizar ações motoras pode modificar a possibilidade de adaptação do sistema de controle postural às exigências do meio, levando a um funcionamento flexível deste sistema na fase adulta. Entretanto, apenas recentemente, processos adaptativos têm sido sistematicamente estudados no sistema de controle postural de adultos (JEKA; OIE; KIEMEL, 2000; OIE;

KIEMEL; JEKA, 2002; OIE ET AL., 2005; BARELA ET AL. EM PREPARAÇÃO) sendo que nenhuma tentativa foi observada para verificar estes aspectos em bebês e crianças.

Sendo assim, o objetivo geral do estudo foi verificar processos adaptativos no relacionamento entre informação sensorial e controle postural de bebês, crianças e adultos. Para isto foram realizados três estudos que serão apresentados a seguir, em capítulos separados.

## **CAPÍTULO 3.**

### **CONTROLE POSTURAL ADAPTATIVO EM BEBÊS DURANTE A MANUTENÇÃO DA POSIÇÃO SENTADA**

#### **RESUMO**

A capacidade adaptativa de dezoito bebês, com diferentes experiências no sentar independente, foi investigada frente às alterações abruptas na amplitude do estímulo visual. Os bebês foram posicionados dentro da sala móvel e submetidos a duas amplitudes do estímulo visual (1,1 e 3,2 cm). Ganho, fase e variabilidade de posição e velocidade foram medidas utilizadas para examinar as respostas posturais da cabeça dos bebês frente ao estímulo visual. Os resultados indicaram que bebês não foram responsivos às pequenas alterações na amplitude do estímulo visual. Contudo, aumento da variabilidade de oscilação da cabeça de bebês experientes no sentar, foi verificado com o aumento da amplitude do estímulo visual. Estes resultados indicaram que, embora, pouca influência do estímulo visual tenha sido observada nas respostas posturais dos bebês, a experiência no sentar parece ter possibilitado alguma influência da alteração na amplitude do estímulo visual.

Palavras-chave: controle postural, informação visual, experiência, percepção-ação, bebês.

### 3.1. INTRODUÇÃO

Vários estudos têm identificado a influência da informação visual no controle postural de bebês, seja em condições normais ou em situações de conflitos sensoriais (por exemplo, BUTTERWORTH; HICKS, 1977; JOUEN, 1988; BERTENTHAL; ROSE; BAI, 1997; JOUEN ET AL., 2000; BARELA ET AL., 2000) e o papel da experiência em realizar uma determinada tarefa motora para a aquisição de acoplamentos coerentes e estáveis entre informação sensorial e ação motora (BERTENTHAL; BAI, 1989; DELORME; FRIGON; LAGACÉ, 1989; ROSE; BERTENTHAL, 1995; HIGGINS; CAMPOS; KERMOIAN, 1996; BARELA ET AL., 2003).

Por exemplo, o papel da experiência em realizar uma determinada tarefa no acoplamento entre informação sensorial e ação motora foi elegantemente verificado por Higgins, Campos e Kermoian (1996). Neste estudo, bebês de 7, 8 e 9 meses foram submetidos aos movimentos isolados das paredes de uma sala móvel (parede do fundo, paredes laterais e todas as paredes). Os autores verificaram que bebês de 8 e 9 meses responderam a todas as condições da sala enquanto que bebês de 7 meses não responderam para a movimentação das paredes laterais desta sala. A partir destes resultados, os autores realizaram um outro estudo submetendo bebês de 8 meses com diferentes experiências locomotoras à sala móvel e constataram que a experiência, ao invés da idade, é crucial para facilitar a utilização da informação visual, uma vez que bebês que tinham experiência em engatinhar ou com andadores infantis apresentaram maiores respostas ao movimento das paredes laterais da sala do que os que não tinham experiências locomotoras. Desta forma,

---

experiência em realizar a locomoção independente é decisiva para alterar o relacionamento entre informação sensorial e ação motora.

Diferenças na utilização da informação visual para o controle postural também foram identificadas por Bertenthal e Bai (1989) em bebês de 5 a 9 meses de idade durante a manutenção da posição sentada. Contudo, Barela, Godoi, Freitas Júnior e Polastri (2000), investigando esta mesma faixa etária, não verificaram qualquer mudança desenvolvimental no relacionamento entre informação visual e controle postural durante a manutenção desta mesma postura. Diferenças na utilização da informação visual somente foram identificadas em bebês de 7 meses após a exposição prolongada ao estímulo visual em sessões de prática (BARELA ET AL., 2003).

A partir destes resultados pôde-se observar que bebês respondem diferentemente às constantes alterações nos estímulos sensoriais. Ainda, experiência parece influenciar nestas respostas. Entretanto, um outro aspecto interessante observado nestes estudos, é que diferentes amplitudes e velocidades do estímulo visual foram testadas na sala móvel (BERTENTHAL; BAI, 1989; HIGGINS; CAMPOS; KERMOIAN, 1996; BARELA ET AL., 2000; BARELA ET AL., 2003) o que pode ter levado à discrepância nos resultados. Em geral, nos estudos em que as amplitudes e velocidades foram maiores (BERTENTHAL; BAI, 1989; BERTENTHAL; ROSE; BAI, 1997; BERTENTHAL; BOKER; XU, 2000), respostas correspondentes aos estímulos visuais foram observadas mais facilmente, além das diferenças entre as faixas etárias ou relacionadas às experiências motoras destes bebês. Já nos estudos que utilizaram baixas amplitudes e velocidades dos estímulos visuais (BARELA ET AL., 2000; BARELA ET AL., 2003), diferenças entre as faixas etárias não foram encontradas, porém, foi observado o papel da exposição prolongada ao estímulo visual.

Uma vez que diferenças na amplitude e velocidade do estímulo visual estão presentes nos estudos realizados com a sala móvel e conduzem, algumas vezes, a diferentes resultados, é necessário verificar como bebês detectam e utilizam informações sensoriais, em constante mudança no ambiente, para controlar a postura, tendo em vista, que muito pouco se sabe sobre estes aspectos ao longo do desenvolvimento. Assim, é necessário um estudo mais cuidadoso sobre o acoplamento entre informação sensorial e ação motora em bebês enfatizando, especificamente, se bebês já apresentariam adaptações no uso da informação sensorial para controlar a ação motora.

Desta forma, o objetivo deste estudo foi investigar se bebês seriam capazes de apresentar processos adaptativos frente às alterações no ambiente visual e se estes processos seriam dependentes da experiência no sentar independente. Especificamente, este estudo buscou: 1) comparar o acoplamento entre informação visual e oscilação corporal em bebês com pouca experiência e experientes no sentar, durante a manutenção da posição sentada; e 2) comparar o acoplamento entre informação visual e oscilação corporal em bebês com pouca experiência e experientes no sentar, frente às alterações na amplitude e velocidade do estímulo visual.

## **3.2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.2.1. Participantes**

Participaram deste estudo dezoito bebês que foram divididos em dois grupos de acordo com sua experiência no sentar (com apoio e independente). O primeiro grupo foi formado por nove bebês (6 meninos e 3 meninas) com média de idade de 184,6 dias ( $\pm$

---

33,49) e experiência no sentar entre 2 e 38 dias (média = 18 dias,  $\pm$  12,1) e foram denominados de Grupo com Pouca Experiência (GPE). O segundo grupo foi formado por nove bebês (4 meninos e 5 meninas) com média de idade de 200,4 dias ( $\pm$  31,42) e experiência no sentar entre 56 e 120 dias (75 dias,  $\pm$  21,8) e foram denominados de Grupo Experiente (GE).

O grupo de bebês com pouca experiência na posição sentada foi selecionado pelo fato de que os resultados de estudos anteriores não chegam a um consenso sobre o acoplamento entre informação visual e o sistema de controle postural de bebês mais jovens (BERTENTHAL; BAI, 1989; BARELA ET AL., 2000; BARELA ET AL., 2003) o que pode estar fortemente associado aos diferentes parâmetros do estímulo visual utilizados nestes estudos. Já o grupo de bebês com maior experiência na posição sentada foi selecionado pelo fato de que bebês nesta faixa etária já apresentam algum relacionamento entre informação sensorial e maior experiência em atividades motoras pode influenciar neste acoplamento (HIGGINS; CAMPOS; KERMOIAN, 1996; BARELA ET AL., 2003).

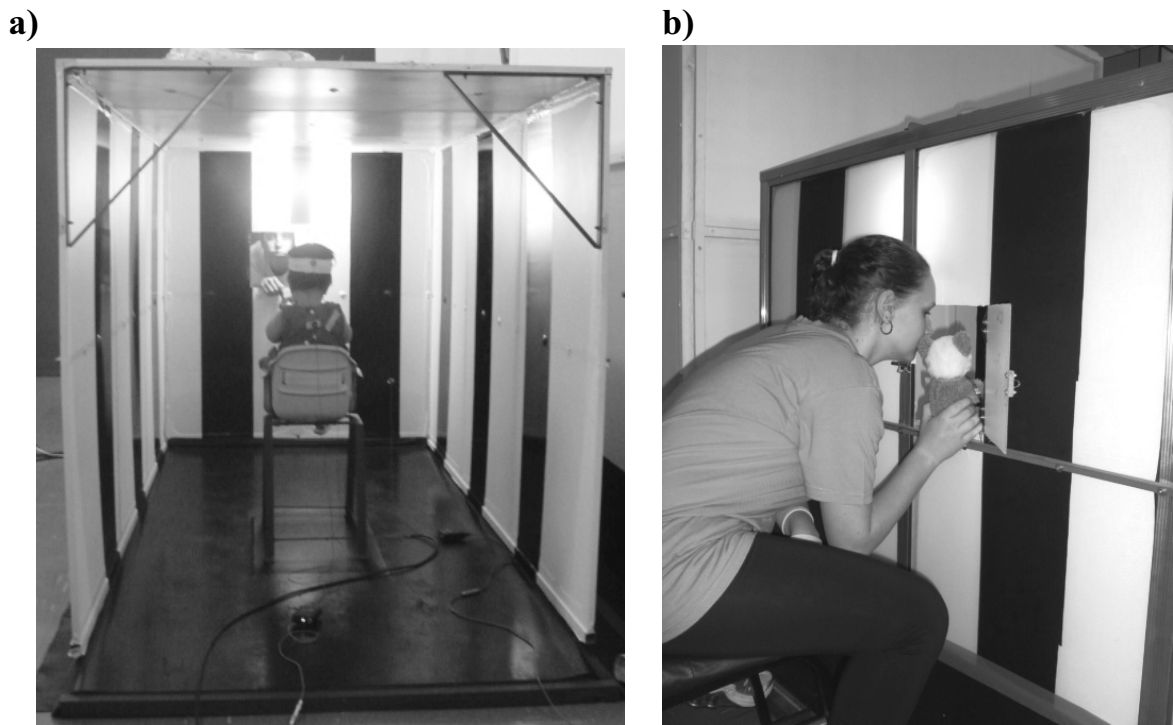
Os bebês foram recrutados em creches, escolas, e por meio de anúncios e contatos com amigos e colegas de trabalho da comunidade de Rio Claro e região. Após terem sido informados dos objetivos e procedimentos do estudo, os pais e/ou responsáveis pelos bebês assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, devidamente aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa do Instituto de Biociências, UNESP/Rio Claro, autorizando a participação do bebê neste estudo. Ao final da coleta de dados, fotos do participante, devidamente autorizadas pelos pais, foram tiradas para a confecção de certificados intitulados “Jovem Pesquisador” como forma de agradecimento pela participação dos bebês e disponibilidade dos pais.

### 3.2.2. Procedimentos

Cada bebê, acompanhado pelos pais ou responsável, foi trazido ao Laboratório para Estudos do Movimento (LEM), Departamento de Educação Física, Instituto de Biociências, UNESP/Rio Claro. Após uma breve adaptação ao ambiente do laboratório, principalmente, na área de coleta de dados, os bebês foram sentados em uma cadeira modificada para bebês, posicionada dentro de uma “sala móvel”.

Esta sala móvel foi constituída de três paredes e um teto de acrílico, revestidos de papel branco e listras verticais pretas (22 cm) montados sobre quatro rodas que deslizavam sobre trilhos, possibilitando movimentos da mesma para frente e para trás, independente do chão. As dimensões da sala foram de 1,2 x 1,2 x 2,1 metros (altura, largura e comprimento, respectivamente). No centro da parede do fundo da sala, uma pequena abertura de 23 x 20 cm (altura e largura, respectivamente) possibilitou que um experimentador mostrasse brinquedos para os bebês e observasse se o mesmo permaneceu sentado olhando para frente. Na parte superior, desta mesma parede, à frente do participante, foi colocada uma lâmpada (15W) que permaneceu acesa durante todo o experimento, para que fossem oferecidas condições de luminosidade similares para todos os participantes. A Figura 1 apresenta a situação experimental deste estudo.





**Figura 1.** Situação experimental mostrando um bebê sentado sobre a cadeira dentro da sala móvel (a) e um experimentador mostrando brinquedos na abertura localizada na parede frontal desta sala (b).

O movimento da sala foi controlado por um sistema de servo-mecanismo constituído por um controlador (Compumotor – Modelo APEX 6151), um servo-motor (Compumotor – Mod. N0992 GRONMDN) e um cilindro de um eixo (Compumotor – Mod. APEX620-MO-NC), conectado à armação de acrílico. Programas específicos de computador controlaram este sistema (Compumotor - Motion Architect for Windows 95), possibilitando que o movimento da sala fosse realizado em diferentes velocidades e amplitudes mantendo a frequência de movimento da mesma em 0,2 Hz.

A sala foi movimentada nas amplitudes de 1,1 e 3,2 cm e com picos de velocidade de 1,2 e 5,0 cm/s, respectivamente. A escolha destas amplitudes e velocidades foi baseada

em estudo-piloto e, também, em resultados de estudos prévios que mostraram que mesmo bebês muito novos e com pouca experiência no sentar apresentam oscilação corporal correspondente à manipulação do estímulo visual (BERTHENTAL & BAI, 1989; BARELA, ET AL., 2000; JOUEN ET AL., 2000) e que, quando expostos continuamente a ele, apresentam diminuição no acoplamento entre informação visual e oscilação corporal (BARELA, ET AL., 2003). Tendo em vista que os bebês mostraram-se sensíveis às alterações no ambiente visual com a exposição contínua ao movimento da sala móvel, a amplitude e velocidade mais alta da mesma, foram selecionadas neste estudo para provocar uma mudança abrupta no ambiente visual o que por sua vez exigiria rápidas alterações no funcionamento do sistema de controle postural dos bebês.

Bebês de ambos os grupos (GPE e GE) foram testados em uma cadeira especial que permitiu que a cabeça dos bebês se movimentasse livremente. Esta cadeira com dimensões de 48 x 28.5 x 17 cm (largura, altura e comprimento, respectivamente) foi posicionada a 1 metro da parede do fundo da sala móvel, sobre uma plataforma de força (Kistler – Mod. 9286A). Esta plataforma forneceu informações sobre as forças aplicadas pelos bebês ou pela cadeira sobre a superfície de suporte, que foram utilizadas, juntamente com os momentos, para cálculo da posição do centro de pressão (CP) nas direções antero-posterior (AP) e médio-lateral (ML). Os dados provenientes da plataforma de força foram amplificados (Amplificador - Kistler – Mod. 9865E1Y28) e armazenados utilizando uma unidade de dados analógicos (ODAU), que compõe o sistema de análise de movimento (OPTOTRAK 3020 – 3D Motion Measurement System, NDI).

---

O mesmo sistema de análise de movimento (Optotrak) foi utilizado para capturar sinais infravermelhos provenientes de três emissores que foram posicionados: um na frente da sala (parte medial superior), um na cabeça (base do occipital) e um no tronco (entre as escápulas) dos bebês. Os dados destes emissores foram utilizados para verificar o movimento da sala e as oscilações da cabeça e tronco dos participantes nas duas direções (AP e ML). A frequência de coleta foi de 100 Hz.

Foram coletadas 8 tentativas com duração de 60 segundos cada, sendo que na primeira tentativa a sala permaneceu estacionária. Nas demais tentativas, a sala foi movimentada em uma amplitude de 1,1 cm e velocidade de 1,2 cm/s, com exceção da quinta tentativa na qual a sala foi movimentada em amplitude e velocidade mais altas (3,2 cm e 5,0 cm, respectivamente) com o propósito de fornecer uma mudança abrupta no ambiente visual. Durante os procedimentos experimentais (coleta de dados) um experimentador permaneceu atrás da criança para prevenir possíveis desequilíbrios da mesma sobre a cadeira e outro permaneceu na abertura localizada na parede do fundo da sala, mostrando brinquedos e figuras infantis para os bebês, certificando-se de que eles estavam olhando para o brinquedo. A fim de garantir a segurança e integridade física dos participantes, caso desequilíbrios da posição sentada ocorressem, o experimentador proporcionou leve apoio para o bebê restabelecer a posição sentada sobre a cadeira. Além disso, uma câmera de vídeo (Digital Panasonic, PV-D506) foi posicionada atrás das câmeras do sistema Optotrak possibilitando verificar, posteriormente, se os bebês realizaram movimentos que pudessem comprometer os resultados obtidos.

### 3.2.3. Tratamento e Análise dos Dados

Após o término da coleta, os dados provenientes da plataforma de força, referentes ao CP e os dados provenientes dos emissores, correspondentes à oscilação da cabeça, tronco e ao movimento da sala, foram armazenados em arquivos e convertidos para o formato ASCII. Posteriormente, esses dados foram carregados e analisados por um conjunto de programas específicos escritos na linguagem MATLAB (7.0 MathWorks, Inc). O relacionamento entre a posição da sala móvel e o CP, como também, a posição da sala móvel e a oscilação da cabeça e tronco foram analisados a partir dos dados referentes à direção ântero-posterior (AP), considerando que a manipulação do estímulo visual foi realizada nesta direção. Para as tentativas nas quais a sala permaneceu estacionária, as análises utilizadas para verificar a oscilação corporal dos participantes, nesta situação, foram realizadas em ambas as direções de movimento (AP e ML).

Devido a problemas técnicos e de cooperação dos participantes, durante os procedimentos experimentais, não foi possível captar os dados provenientes do emissor afixado no tronco dos participantes, principalmente, dos bebês com pouca experiência na posição sentada. Ainda, os dados provenientes da plataforma de força não apresentaram consistência entre as tentativas e os bebês, o que pode ser decorrente do pouco peso de alguns bebês e a altura da cadeira posicionada sobre ela, impossibilitando maiores aplicações de forças sobre a mesma. Além disto, a fim de proporcionar segurança aos participantes, o experimentador atrás do bebê pode ter se apoiado algumas vezes sobre a plataforma. Desta forma, apenas os dados provenientes da oscilação da cabeça dos bebês foram utilizados para as análises. Apesar disto, uma vez que tantos os bebês experientes quanto os menos experientes no sentar independente puderam movimentar a cabeça

---

livremente, os dados provenientes deste emissor forneceram informações importantes sobre as respostas dos bebês ao estímulo visual.

Dentre as 126 tentativas possíveis de serem analisadas, nas quais a sala foi movimentada, apenas 10 delas tiveram que ser excluídas das análises. Das 116 tentativas, 55 delas (47%) foram analisadas com menos de 60 segundos de duração. Destas tentativas, dezenove tiveram entre 50 e 58 segundos de duração, vinte e duas tentativas tiveram entre 40 e 49 segundos de duração e, finalmente, treze tentativas tiveram entre 30 e 38 segundos de duração. Para a análise das tentativas nas quais a sala permaneceu estacionária, das 20 tentativas possíveis de serem analisadas, dez tentativas (50%) foram parcialmente analisadas sendo que três tentativas tiveram entre 50 e 55 segundos de duração, três tiveram entre 42 e 49 segundos e quatro tentativas tiveram entre 33 e 37 segundos de duração. A fim de não comprometer a análise dos dados, pelo menos duas tentativas antes e duas tentativas após o aumento da amplitude e velocidade de movimento da sala (quinta tentativa) foram consideradas para análise para cada bebê.

A partir dos dados de oscilação da cabeça de cada bebê e do estímulo visual proveniente da sala móvel em cada tentativa, análise envolvendo a criação de funções de respostas de frequência (*Frequency-Response Function* - FRF) foi, então, computada. Esta análise consistiu em dividir as transformações Fourier da oscilação da cabeça pelas transformações Fourier do estímulo visual, gerando uma função de valores complexos para cada participante e tentativa. O valor absoluto desta função é o ganho entre a oscilação da cabeça e o estímulo visual e o “argumento” da mesma é a fase a qual indica o relacionamento temporal entre ambos.

---

Especificamente, a variável ganho indicou o acoplamento entre o estímulo visual e a oscilação da cabeça na frequência do estímulo. Valores de ganho de 1 significam que a amplitude do espectro de oscilação da cabeça foi igual a amplitude do espectro do movimento da sala. Valores de ganho maiores ou menores que 1 significam que a amplitude do espectro da oscilação corporal foi maior ou menor que a amplitude do espectro do movimento da sala, respectivamente. Fase foi computada em radianos e convertida para graus e indicou através de valores positivos e negativos que a oscilação da cabeça esteve à frente do movimento da sala ou apresentou um atraso na resposta com relação ao movimento da sala, respectivamente.

Após o cálculo de ganho e fase para cada tentativa, as médias dos valores de cada variável foram, então, extraídas para cada grupo a fim de verificar as respostas da oscilação da cabeça na frequência do estímulo visual (0,2 Hz). Em virtude da exclusão de algumas tentativas das análises, foram obtidas as médias para as primeiras e últimas tentativas resultando em valores médios de ganho e fase em três momentos: antes, durante e após o aumento da amplitude/velocidade da sala.

Para calcular a variabilidade de posição e velocidade de oscilação (CF. JEKA ET AL., 2000), inicialmente, a posição média dos valores de oscilação da cabeça foi subtraída dos sinais de cada tentativa. Em seguida, a variabilidade foi computada em termos do desvio padrão da trajetória de oscilação da cabeça depois que o componente de oscilação da cabeça correspondente à frequência do estímulo visual foi removido (trajetória residual). Assim, a variabilidade de oscilação indica a amplitude de oscilação da cabeça em frequências diferentes da frequência do estímulo visual (0,2 Hz). A média dos valores para

as variabilidades de posição e velocidade, também, foi obtida antes, durante e após o aumento da amplitude/velocidade da sala.

Por fim, a variável amplitude média de oscilação foi calculada para as tentativas nas quais a sala permaneceu estacionária e correspondeu ao desvio padrão das séries temporais da oscilação da cabeça nas direções AP e ML depois que a posição média dos valores da mesma foi subtraída dos sinais de cada tentativa obtendo um valor que correspondeu à dispersão dos valores referentes à oscilação da cabeça. Após este cálculo, foi obtida a média desta variável para cada grupo indicando a manutenção da oscilação postural durante as tentativas estacionárias da sala. Esta mesma variável foi, também, calculada nas tentativas nas quais a sala foi movimentada, indicando a oscilação corporal de ambos os grupos de bebês em ambas as condições de movimento da sala (baixa e alta amplitude/velocidade).

#### **3.2.4. Análises Estatísticas**

Para verificar se as alterações na amplitude e velocidade do estímulo visual influenciaram as respostas de oscilação da cabeça dos participantes foram realizadas quatro ANOVAs, tendo como fatores os 2 grupos (GPE e GE) e os 3 momentos de exposição ao estímulo (antes, durante e após tentativa de alta amplitude/velocidade), sendo este último fator considerado como medida repetida. As variáveis dependentes para estas análises foram: o ganho, a fase, a variabilidade de posição e a variabilidade de velocidade. Outra ANOVA (2 grupos x 3 momentos) com medidas repetidas no último fator foi calculada para verificar possíveis diferenças na amplitude média de oscilação na direção AP nas tentativas nas quais a sala foi movimentada.

Finalmente, duas ANOVAs *one-way* tendo como fator o Grupo (GPE e GE) foram realizadas para a tentativa na qual a sala permaneceu estacionária. As variáveis dependentes para estas análises foram a amplitude média de oscilação na direção AP e ML, respectivamente. Análises de *post-hoc* com correção de Tukey's somente foram realizadas quando as análises univariadas revelaram resultados significantes. O nível de significância para estas análises foi de 0,05 (SPSS for Windows 10.0).

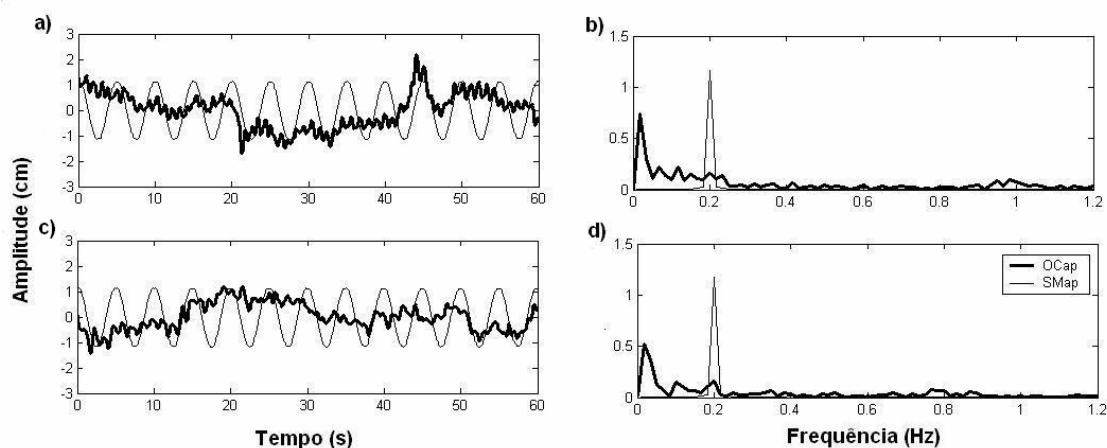
### 3.3. RESULTADOS

As oscilações da cabeça de ambos os grupos foram fracamente influenciadas pelas alterações no estímulo visual provenientes dos movimentos da sala móvel. Os resultados indicaram que embora os bebês não tenham respondido na mesma frequência do estímulo, alterações no ambiente visual provocaram maior variabilidade na oscilação da cabeça dos mesmos. Mais ainda, esta variabilidade foi dependente da experiência dos bebês na posição sentada. As Figuras 2 e 3 apresentam exemplares de séries temporais e amplitudes espectrais da oscilação da cabeça de cada grupo de bebês (GPE e GE) e do deslocamento da sala móvel para ilustrar uma tentativa de baixa amplitude/velocidade (Figura 2a-d) e uma tentativa de alta amplitude/velocidade (Figura 3a-d) da sala.

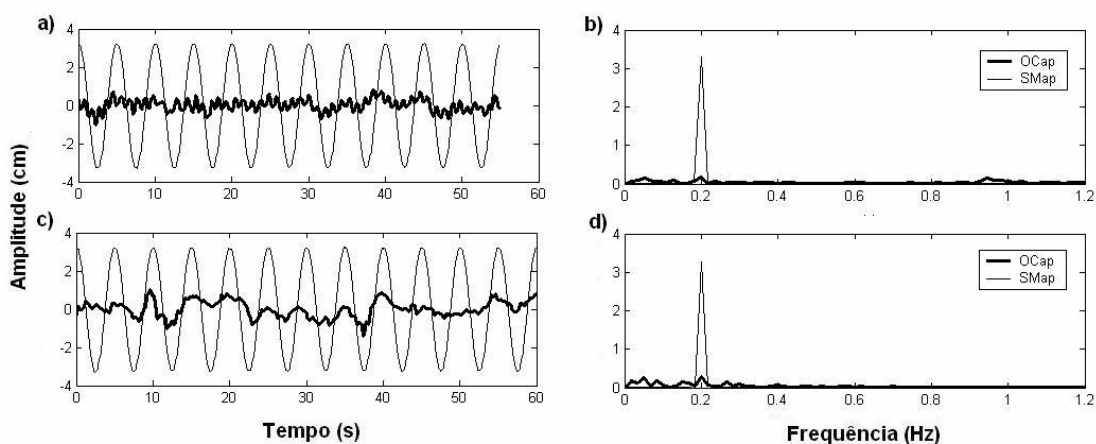
Pode-se observar por meio das amplitudes espectrais que as oscilações da cabeça dos bebês apresentam grandes amplitudes em baixas frequências de oscilação e que apenas um ligeiro pico na frequência de oscilação da sala (0.2 Hz) em ambas as amplitudes/velocidades da sala (1,2 e 3,5 cm/s) pode ser observado. É interessante notar, também, que os bebês, principalmente aqueles com pouca experiência (painéis superiores),



apresentaram frequências de oscilação ao redor de 1 Hz indicando pouco controle sobre os movimentos da cabeça.

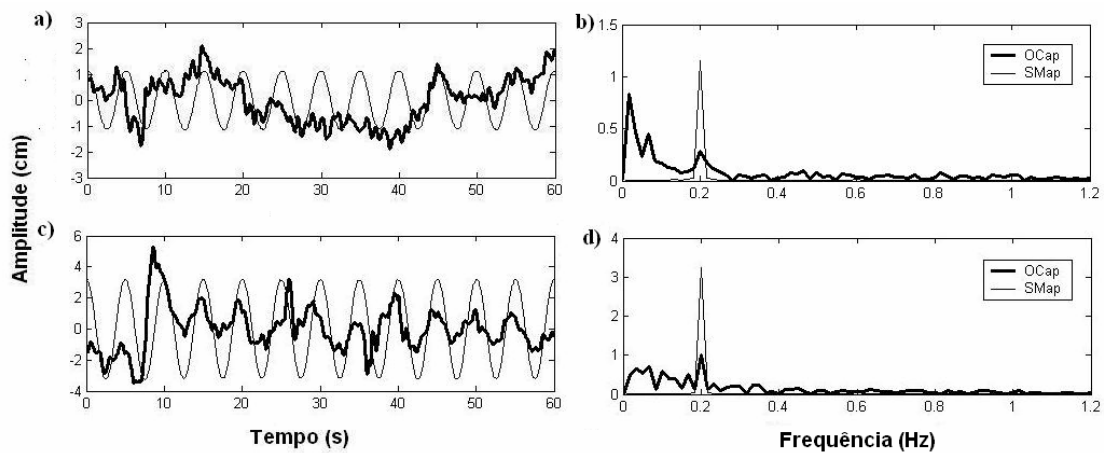


**Figura 2.** Exemplos de séries temporais e amplitudes espectrais da oscilação da cabeça de bebês com pouca experiência no sentar - GPE (painéis “a” e “b”) e bebês com experiência no sentar - GE (painéis “c” e “d”) e os deslocamentos da sala móvel na direção ântero-posterior durante uma tentativa de baixa amplitude/velocidade da sala na frequência de 0,2 Hz. A linha clara corresponde ao deslocamento da sala móvel (SMap) e a linha escura corresponde às trajetórias da oscilação da cabeça (OCap).



**Figura 3.** Exemplos de séries temporais e amplitudes espectrais da oscilação da cabeça de bebês com pouca experiência no sentar - GPE (painéis “a” e “b”) e bebês com experiência no sentar - GE (painéis “c” e “d”) e os deslocamentos da sala móvel na direção ântero-posterior durante uma tentativa de alta amplitude/velocidade da sala na frequência de 0,2 Hz. A linha clara corresponde ao deslocamento da sala móvel (SMap) e a linha escura corresponde às trajetórias da oscilação da cabeça (OCap).

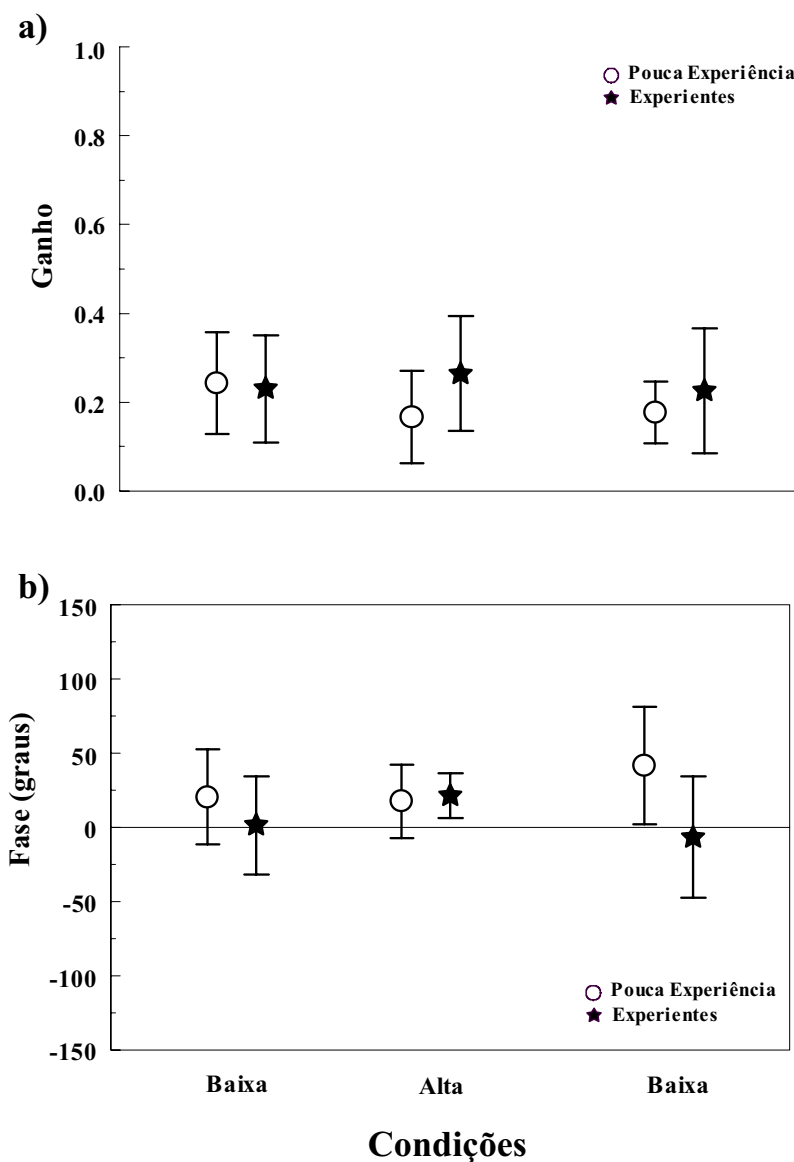
Embora nenhuma resposta consistente ao estímulo tenha sido verificada na oscilação da cabeça de ambos os grupos, análises individuais indicaram que alguns bebês foram capazes de responder ao estímulo visual mostrando picos definidos na frequência do estímulo sendo este pico maior quando a sala foi movimentada na amplitude/velocidade mais alta (painel inferior) do que na amplitude/velocidade mais baixa da sala (painel superior). A Figura 4 apresenta exemplares de séries temporais e amplitudes espectrais do deslocamento da sala móvel e da oscilação da cabeça de um bebê com 38 dias de experiência na posição sentada em uma tentativa de baixa amplitude/velocidade (painéis “a” e “b”) e uma tentativa de alta amplitude/velocidade (painéis “c” e “d”) da sala.



**Figura 4.** Exemplares de séries temporais e amplitudes espectrais da oscilação da cabeça de um bebê com 38 dias de experiência no sentar independente e os deslocamentos da sala móvel na direção ântero-posterior durante uma tentativa de baixa (painéis “a” e “b”) e alta amplitude/velocidade da sala (painéis “c” e “d”) na frequência de 0,2 Hz. A linha clara corresponde ao deslocamento da sala móvel (SMap) e a linha escura corresponde às trajetórias da oscilação da cabeça (OCap).

### 3.3.1. Ganho e Fase

A Figura 5 apresenta os resultados das variáveis ganho (5a) e fase (5b) para ambos os grupos nas tentativas de baixa e alta amplitude/velocidade do estímulo visual.

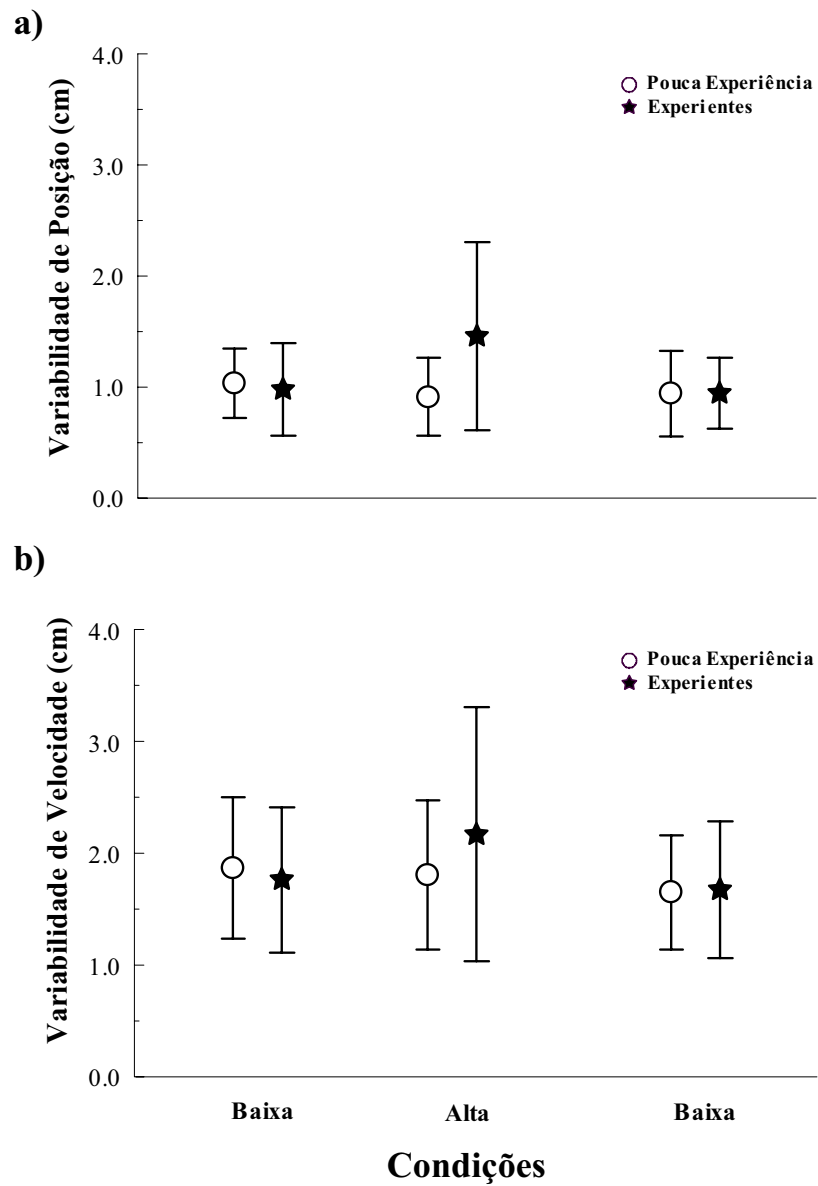


**Figura 5.** Média dos valores de ganho (a) e fase (b) entre as oscilações da cabeça e o movimento da sala na direção ântero-posterior para os bebês com Pouca Experiência (círculo) e Experientes (estrela) na posição sentada durante as condições de baixa (1,1 cm e 1,2 cm/s) e alta (3,2 cm e 5,0 cm/s) amplitude/velocidade do estímulo visual.

Influência muito baixa do estímulo visual foi verificada em ambos os grupos antes, durante ou após a exposição à alta amplitude/velocidade do estímulo visual. No entanto, enquanto as oscilações da cabeça dos bebês do grupo GPE lideraram as oscilações provenientes da sala móvel, as oscilações dos bebês do grupo GE foram temporalmente próximas ao estímulo visual. Análise univariada revelou nenhum efeito de Grupo,  $F(1,16) = 1,106$ ,  $p=0,308$ , de Tentativa  $F(2,32) = 0,742$ ,  $p=0,484$ , ou interação Grupo e Tentativa,  $F(2,32) = 1,759$ ,  $p=0,188$ , para a variável ganho. Porém, ANOVA revelou efeito de Grupo,  $F(1,16) = 6,803$ ,  $p<0,02$ , para a variável fase, mas nenhum efeito de Tentativa,  $F(2,32) = 0,329$ ,  $p=0,722$ , ou interação Grupo e Tentativa,  $F(2,32) = 2,817$ ,  $p=0,075$ .

### **3.3.2. Variabilidade de Posição e Velocidade**

Apesar das oscilações da cabeça não apresentarem acoplamento forte com o estímulo visual, os resultados apontaram que a variabilidade de oscilação da cabeça em outras frequências, exceto a frequência do estímulo, foi dependente da amplitude de movimento da sala e da experiência dos bebês na posição sentada. A Figura 6 apresenta os resultados das variáveis, variabilidade de posição (Figura 6a) e variabilidade de velocidade (Figura 6b) de oscilação, para ambos os grupos nas tentativas de baixa e alta amplitude/velocidade do estímulo visual.



**Figura 6.** Média dos valores de Variabilidade de Posição (a) e Variabilidade de Velocidade (b) da oscilação da cabeça de ambos os grupos, com pouca experiência (círculo) e experientes (estrela) na posição sentada durante as condições de baixa (1,1 cm e 1,2 cm/s) e alta (3,2 cm e 5,0 cm/s) amplitude/velocidade do estímulo visual.

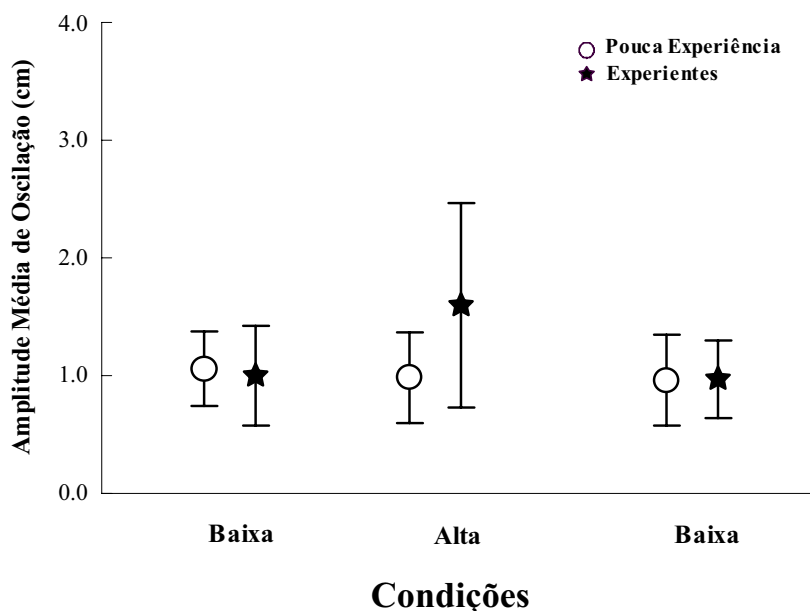
ANOVA revelou interação entre Grupo e Tentativas,  $F(2,32) = 3,52$ ,  $p < 0,05$  mas nenhum efeito para Grupo,  $F(1,16) = 0,908$ ,  $p = 0,355$ , ou Tentativas,  $F(2,32) = 1,998$ ,

$p=0,152$ , para a variabilidade de posição. Ainda, análise univariada indicou nenhum efeito de Grupo,  $F(1,16)=0,102$ ,  $p=0,753$ , Tentativas,  $F(2,32)=2,35$ ,  $p=0,112$ , ou interação Grupo e Tentativas,  $F(2,32)=1,31$ ,  $p=0,285$ , para a variabilidade de velocidade de oscilação da cabeça. Estes resultados podem indicar que ambos os grupos apresentam alta variabilidade de oscilação da cabeça (posição e velocidade) e que o aumento da amplitude/velocidade da sala parece provocar maior variabilidade na oscilação da cabeça de bebês experientes no sentar no que diz respeito ao componente de posição da oscilação da mesma.

### 3.3.3. Amplitude Média de Oscilação

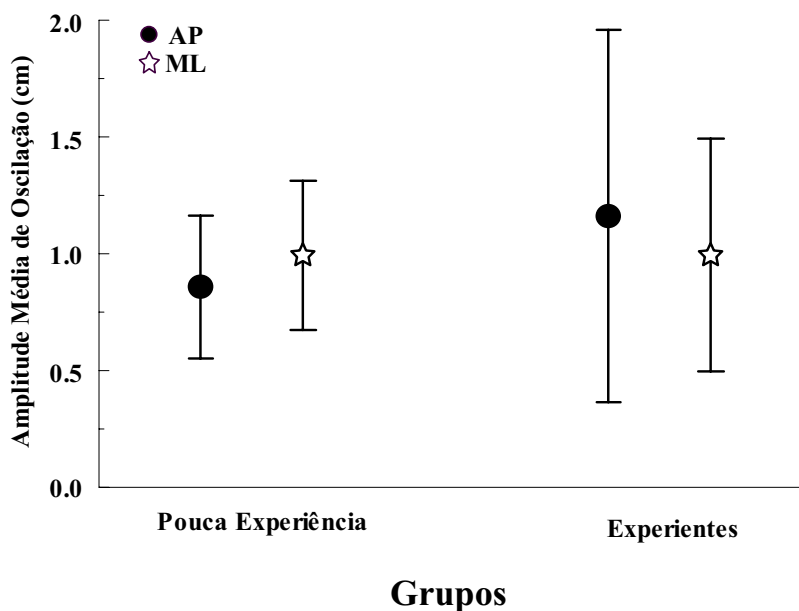
A Figura 7 apresenta a variável amplitude média de oscilação da cabeça de ambos os grupos nas tentativas de baixa e alta amplitude/velocidade do estímulo visual. Análises univariadas revelaram diferenças entre as Tentativas,  $F(2,32)=3,77$ ,  $p<0,04$ , e uma interação entre Grupo e Tentativas,  $F(2,32)=4,35$ ,  $p<0,03$ , porém não foi encontrado nenhum efeito de Grupo,  $F(1,16)=1,07$ ,  $p=0,316$ . Testes *post hoc* não apontaram diferenças entre as Tentativas.

Embora estas análises não tenham indicado as diferenças, os resultados indicam uma tendência de que a cabeça dos bebês do grupo GE apresentou oscilações maiores na tentativa de alta amplitude/velocidade em comparação com as tentativas de baixa amplitude/velocidade. Contudo, os bebês do grupo GPE não apresentaram este comportamento demonstrando oscilações similares em ambas as amplitudes/velocidades da sala.



**Figura 7.** Média dos valores de Amplitude Média de Oscilação da cabeça de ambos os grupos, com pouca experiência (círculo) e experientes (estrela) na posição sentada durante as condições de baixa (1,1 cm e 1,2 cm/s) e alta (3,2 cm e 5,0 cm/s) amplitude/velocidade do estímulo visual.

Finalmente, durante a tentativa estacionária na qual a sala não foi movimentada, não foram encontradas diferenças entre os grupos na amplitude média de oscilação da cabeça nem para a direção ântero-posterior (AP),  $F(1,16)=1,13$ ,  $p=0,303$ , nem para a direção médio-lateral (ML),  $F(1,16)=0,000$ ,  $p=0,993$ . Sendo assim, na ausência de manipulação visual, a experiência no sentar parece não ter efeito nas oscilações da cabeça tanto para a direção AP quanto para a ML. A Figura 8 apresenta a variável amplitude média de oscilação da cabeça de ambos os grupos nas direções ântero-posterior e médio-lateral.



**Figura 8.** Média dos valores de Amplitude Média de Oscilação da cabeça nas direções ântero-posterior (AP) e médio-lateral (ML) de ambos os grupos, com pouca experiência e experientes no sentar independente durante a tentativa estacionária da sala móvel.

### 3.4. DISCUSSÃO

O presente estudo buscou investigar se bebês seriam capazes de apresentar processos adaptativos frente às alterações abruptas no ambiente visual e se estes processos seriam dependentes da experiência no sentar independente. De maneira geral, os resultados indicaram que, independentemente da experiência no sentar, os bebês não apresentaram processos adaptativos nas oscilações da cabeça quando a amplitude do estímulo visual foi alterada repentinamente. Entretanto, resultados interessantes foram verificados na variabilidade de oscilação da cabeça frente estas variações nas informações visuais.



---

Aumento desta variabilidade com o aumento da amplitude do estímulo visual foi dependente da experiência dos bebês no sentar independente.

Com relação à ausência de respostas posturais correspondentes ao estímulo visual, os resultados do presente estudo são inconsistentes com os resultados encontrados na literatura que verificaram que as oscilações corporais dos bebês, com diferentes experiências no sentar e no ficar em pé, foram induzidas pelos estímulos visuais provenientes dos movimentos das paredes de uma sala móvel (e.g. BUTTERWORTH; HICKS, 1977; DELORME; FRIGON; LAGACE, 1989; BERTENTHAL; BAI, 1989; HIGGINS; CAMPOS; KERMOIAN, 1996; BERTENTHAL; ROSE; BAI, 1997; BERTENTHAL; BOKER; XU, 2000; BARELA ET AL., 2000; 2001; 2003). Especialmente, com relação às influências das informações visuais sobre as respostas da cabeça, alguns estudos demonstraram que os movimentos da cabeça de bebês tão jovens quanto 3 dias foram influenciados por alterações nos estímulos visuais (JOUEN, 1988; JOUEN ET AL., 2000; BERTENTHAL; BOKER; XU, 2000; GILMORE; BAKER; GROBMAN, 2004).

Levando em consideração que os estudos têm evidenciado que bebês de pouca idade já apresentam funcionamento inerente de alguns subsistemas perceptivos (JOUEN, 1988; JOUEN ET AL., 2000; GILMORE; BAKER; GROBMAN, 2004) e motores (HEDBERG; FORSSBER; HADDERS-ALGRA, 2004), mesmo que seus movimentos não tenham muita precisão, os fatores que levaram a pouca influência do estímulo visual e a variabilidade nas respostas da cabeça de bebês entre 4 e 7 meses de idade do presente estudo serão discutidos a seguir.

Com base na literatura, dois aspectos parecem contraditórios. Primeiro, com relação aos resultados obtidos pelos bebês com pouca experiência no sentar, poder-se-ia esperar que com a estabilização do tronco, estes bebês fossem capazes de apresentar oscilações da

---

cabeça correspondentes aos estímulos visuais como têm sido sugerido em bebês até mais novos (JOUEN, 1988; JOUEN ET AL., 2000). Contudo, os resultados mais discrepantes entre o presente estudo e a literatura estão relacionados às respostas verificadas em bebês experientes no sentar independente. Mesmo com experiência na posição sentada, as oscilações da cabeça destes bebês apresentaram fraco relacionamento com os movimentos da sala móvel. Vários estudos têm sugerido que experiência motora é imprescindível para adquirir e fortalecer o acoplamento entre informação sensorial e oscilação corporal tornando-o estável e flexível (DELORME; FRIGON; LAGACE, 1989; ROSE; BERTENTHAL, 1995; HIGGINS; CAMPOS; KERMOIAN, 1996; BARELA; JEKA; CLARK, 1999; BARELA ET AL., 2000; BARELA ET AL., 2001; BARELA ET AL., 2003). No entanto, os bebês experientes do presente estudo não apresentaram respostas correspondentes ao estímulo visual.

Uma possível explicação para estes resultados pode estar relacionada ao aparato usado na situação experimental do estudo. A cadeira na qual os participantes foram posicionados foi utilizada para fornecer apoio suficiente ao tronco do bebê para que, mesmo com pouca experiência, eles pudessem permanecer na posição sentada. Esta cadeira proporcionou, ainda, que os bebês movimentassem a cabeça e o tronco livremente sem qualquer apoio para os pés. No entanto, é possível que, ao invés de fornecer um suporte mínimo, este aparato tenha estabilizado totalmente o tronco e, conseqüentemente, reduzido os movimentos da cabeça do bebê.

Esta sugestão pode ser apoiada pelo fato de que a oscilação da cabeça dos bebês foi menor do que a oscilação corporal de bebês com experiências similares posicionados no solo fixo (BARELA ET AL., 2000; 2003). Embora nenhuma análise específica com relação às oscilações da cabeça tenha sido realizada, esta comparação pode indicar que, em geral, os

---

bebês do presente estudo parecem ter se movimentado menos do que os bebês que não tinham qualquer suporte adicional para permanecerem sentados.

Bertenthal e colegas (BERTENTHAL; BAI, 1989; ROSE; BERTENTHAL, 1995; BERTENTHAL; ROSE; BAI, 1997; BERTENTHAL; BOKER; XU, 2000) também posicionaram bebês, com diferentes experiências no sentar, em uma cadeira especial, tendo em vista, que alguns não eram capazes de permanecer sozinhos na posição sentada por um período prolongado. Contudo, apenas Bertenthal, Boker e Xu (2000) apresentaram resultados referentes às respostas posturais de bebês de 9 meses a partir dos movimentos da cabeça, frente à manipulação visual da sala móvel. Estes autores observaram que as oscilações da cabeça destes bebês foram maiores do que as observadas no tronco e nas trajetórias do centro de pressão. Novamente, estas oscilações foram maiores do que aquelas verificadas no presente estudo. Sendo assim, a similaridade na oscilação da cabeça entre os bebês do grupo GPE e do grupo GE, tanto na situação estacionária como durante os movimentos da sala pode ter sido decorrente do tronco ter sido estabilizado.

Embora nenhum efeito de Grupo tenha sido observado na amplitude média de oscilação durante os movimentos da sala, é interessante notar que, o controle sobre a cabeça parece ter sido diferente entre bebês do grupo GPE e do grupo GE. Os resultados apontaram que a cabeça dos bebês do grupo GPE, apresentou amplitudes de oscilação tanto em baixas como em altas frequências (até 1 Hz) em todas as tentativas. No entanto, bebês do grupo GE, em geral, apresentaram menos componentes de alta frequência nos movimentos da cabeça e, o mais intrigante, foi que quando expostos à alta amplitude/velocidade de movimento da sala, estes bebês não apresentaram frequências altas de oscilação. Estes resultados podem sugerir que, primeiro, a experiência pode ter

---

proporcionado melhor controle da cabeça dos bebês do grupo GE e, segundo, este seria um indicativo de que houve algum tipo de influência do estímulo visual sobre as oscilações da cabeça destes bebês.

A presença de componentes de baixa frequência nas oscilações corporais tem sido observada tanto em bebês (BARELA ET AL., 2000; 2003) quanto em crianças (BARELA ET AL., 2001; BARELA; JEKA; CLARK, 2003). Já com relação aos componentes de alta frequência, o estudo de von Hofsten e Rosander (1996) é um dos primeiros a indicar a existência destes componentes nos movimentos da cabeça de bebês com idade entre 1 a 3 meses durante uma tarefa de perseguição ao alvo. Neste estudo, um leve suporte da cabeça foi proporcionado aos bebês para que eles realizassem a tarefa de perseguição do alvo. Estes autores verificaram que na medida em que eles foram capazes de controlar e orientar a cabeça no espaço, por volta dos 3 meses de idade, esta tarefa foi realizada com maior flexibilidade e eficiência, o que coincidiu com a redução dos componentes de alta frequência na oscilação da cabeça (VON HOFSTEN; ROSANDER, 1996).

A manutenção da posição sentada requer um intrincado relacionamento entre as informações sensoriais e as ativações musculares necessárias para manter esta posição (BARELA, 2000). Uma vez que os segmentos corporais estão alinhados e influenciam uns aos outros (perna, tronco e cabeça), é essencial que o bebê identifique quais as configurações mais eficientes para mantê-lo nesta posição com base nas informações sensoriais disponíveis. Com a estabilização do tronco, os bebês do GPE foram capazes de reduzir os movimentos da cabeça, apresentando um desempenho similar aos bebês do GE, contudo, as maiores frequências de oscilação podem indicar que eles, ainda, estavam mapeando este novo alinhamento corporal a fim de manterem-se sentados.

Por outro lado, a aparente redução das altas frequências de oscilação da cabeça de bebês do grupo GE, especialmente, observadas durante a tentativa de alta amplitude/velocidade da sala móvel pode indicar que a experiência possibilitou, pelo menos, a identificação das informações disponíveis no ambiente, embora não tenham sido utilizadas para manter a posição e orientação da cabeça relativa ao estímulo visual. Apesar disto, análises individuais mostraram que alguns bebês com maior experiência na posição sentada apresentaram oscilações da cabeça correspondentes aos estímulos visuais provenientes da sala móvel (Figura 4). Desta forma, estabilização do tronco pode ter sido um dos fatores que levaram a estes resultados, contudo, parece que outros fatores podem estar envolvidos na utilização das informações sensoriais no controle da postura na medida em que o bebê adquire experiência sobre uma determinada posição corporal.

#### **3.4.1. Processos Adaptativos na Utilização das Informações Sensoriais**

Alguma controvérsia tem sido verificada na literatura com relação a como bebês utilizam informação sensorial para controlar a postura. No presente estudo, o fraco acoplamento entre informação visual e oscilação corporal indicou que os bebês, independentemente da experiência, não utilizaram o estímulo visual para controlar a postura sentada. Apesar disto, quando a amplitude/velocidade da sala foi aumentada, realçando as características do estímulo visual, bebês do grupo GE, de alguma forma, foram influenciados por estas alterações, tendo em vista que apresentaram aumento na variabilidade de oscilação da cabeça. Além disto, o papel da experiência no sentar, também, se refletiu no relacionamento temporal entre o estímulo visual e as oscilações da cabeça,

sendo que as respostas dos bebês do grupo GE estavam temporalmente mais próximas ao estímulo visual do que aquelas de bebês do grupo GPE.

Embora, o paradigma da sala móvel tenha sido utilizado experimentalmente por vários estudos para examinar a influência da informação visual no controle postural, diferenças têm sido observadas na forma como a informação visual é fornecida nesta situação. Por exemplo, Bertenthal e Bai (1989) movimentaram a sala com amplitudes de 38 cm e velocidade constante de 19 cm/s enquanto Barela e colaboradores (BARELA ET AL., 2000; BARELA ET AL., 2003) forneceram o estímulo visual com amplitudes de até 5,65 cm e velocidade de 3,5 cm/s. Higgins, Campos e Kermoian (1996) utilizaram parâmetros de movimento da sala próximos ao de Bertenthal e Bai (1989) sendo 35,5 cm de amplitude e, aproximadamente, 18 cm/s de velocidade do movimento da sala. Além disto, a fim de manipular diferentes frequências do estímulo visual, outros estudos mantiveram a amplitude de movimento constante e variaram a velocidade do estímulo visual. Por exemplo, Bertenthal, Boker e Xu (2000) mantiveram a amplitude de movimento da sala em 9 cm e Bertenthal, Rose e Bai (1997) forneceram o estímulo visual em amplitudes de 9 e 18 cm com velocidades entre 5,4 e 21,6 cm/s.

Em geral, os estudos que utilizaram altas amplitudes e velocidades do estímulo visual, exceto os estudos de Barela e colegas (BARELA, ET AL, 2000; BARELA ET AL., 2003), verificaram mudanças desenvolvimentais no acoplamento entre informação visual e oscilação corporal e o papel da experiência no fortalecimento deste acoplamento, o que somente foi identificado por Barela et al. (2003), após exposição prolongada ao estímulo visual. Interessantemente, a velocidade do estímulo visual na tentativa de alta amplitude/velocidade, utilizada no presente estudo, foi similar àquela utilizada por Barela e

---

colegas (BARELA, ET AL, 2000; BARELA ET AL., 2003). Novamente, nenhuma mudança no acoplamento relacionada à experiência foi verificada, no entanto, alguma resposta ao estímulo foi identificada por meio do aumento da variabilidade, como mencionado anteriormente.

Pode-se sugerir que diferentes mecanismos podem ter sido utilizados pelos bebês para responder às demandas no ambiente provenientes dos estudos acima. O primeiro mecanismo pode estar relacionado ao mesmo funcionamento adaptativo que faz com que bebês de poucos dias de idade apresentem respostas correspondentes aos estímulos visuais (JOUEN, 1988; JOUEN ET AL, 2000). Por exemplo, nos estudos que manipularam altas amplitudes e velocidades do estímulo visual, as respostas posturais dos bebês podem ter sido decorrentes da discriminação das alterações abruptas nas informações sensoriais disponíveis no ambiente, que antes se encontravam aparentemente estáveis (estacionárias). Adultos e idosos, também, se adaptam às alterações abruptas dos estímulos sensoriais (POR EXEMPLO, LEE; LISHMAN, 1975; OIE; KIEMEL; JEKA, 2002; ALLISON; KIEMEL; JEKA, 2006; BARELA ET AL., EM PREPARAÇÃO). No entanto, diferentemente de bebês, os adultos rapidamente se desacoplaram às informações que poderiam levar à instabilidade da postura, atribuindo menores pesos sensoriais a elas e aumentando em outras mais confiáveis (CARVER; KIEMEL; JEKA, 2006).

Carver, Kiemel e Jeka (2006) sugeriram que estes processos adaptativos, demonstrados pelos adultos jovens são cruciais no funcionamento do sistema de controle postural, pois possibilita ao indivíduo responder às constantes demandas do ambiente. O modelo adaptativo proposto por estes autores (CARVER ET AL., 2005) e testado experimentalmente (OIE; KIEMEL; JEKA, 2002; OIE ET AL., 2005) indica que o aumento na

---

amplitude do estímulo sensorial leva à diminuição da importância desta informação para o sistema e, conseqüente, aumento no peso atribuído as outras fontes sensoriais. Parece, entretanto, que ao contrário de adultos, as respostas posturais de bebês acoplam-se a estímulos sensoriais que se alteram repentinamente (JOUEN, 1988; JOUEN ET AL., 2000). E mais, parece que na medida em que adquirem melhor controle sobre a postura, estas influências tornam-se mais fortes (BERTENTHAL; BAI, 1989; BERTENTHAL; ROSE; BAI, 1997; BERTENTHAL; BOKER; XU, 2000).

Nos estudos que manipularam baixas amplitudes/velocidades do estímulo visual (BARELA ET AL., 2000; 2003), outro aspecto pode estar envolvido no funcionamento adaptativo do sistema de controle postural de bebês. Por exemplo, estas características do estímulo (baixa amplitude), exigem com que o sistema detecte pequenas alterações no ambiente para gerar ativações musculares adequadas para responder às suas alterações. No presente estudo, os bebês parecem ter tido dificuldade em discriminar estas pequenas alterações e se acoplar ao estímulo visual com base nas informações dos demais canais sensoriais (somatossensorial e vestibular). Sendo assim, uma vez que eles pouco utilizaram as informações visuais como fonte para estimar a posição e velocidade da cabeça no espaço, não foi necessário adaptar-se às alterações no ambiente visual quando a amplitude de movimento da sala foi aumentada. Desta forma, os processos adaptativos parecem estar diretamente relacionados a acoplamentos estáveis entre as informações sensoriais e as oscilações corporais.

Finalmente, com relação aos resultados referentes à maior variabilidade de oscilação da cabeça, embora um fraco acoplamento entre o estímulo visual e a oscilação corporal tenha sido verificado, os bebês do grupo GE foram influenciados, de alguma maneira, pela



---

alta amplitude/velocidade da sala, uma vez que tornaram-se mais variáveis nesta tentativa. Corroborando estes resultados, vários estudos têm apontado que, em geral, os bebês são mais variáveis em suas respostas posturais aos estímulos sensoriais podendo ser observada maior variabilidade tanto no desempenho quanto no funcionamento do sistema de controle postural (POR EXEMPLO, BERTENTHAL; BAI, 1989; BERTENTHAL; ROSE; BAI, 1997; BERTENTHAL; BOKER; XU, 2000; BARELA ET AL., 2003; CHEN ET. AL, 2007).

Esta maior variabilidade pode indicar que o aumento na amplitude do estímulo visual, embora, não tenha sido discriminado, provocou instabilidade na posição da cabeça dos bebês. Aumento na variabilidade, neste caso, não parece apontar para dificuldades no controle da cabeça, tendo em vista que os bebês até reduziram oscilações em altas frequências, mas sim pode indicar um indício de maior flexibilidade nas respostas para compensar as perturbações posturais (BERTENTHAL; CLIFTON, 1997). A instabilidade pode vir a auxiliar a exploração das características do ambiente, favorecendo a aquisição de acoplamentos estáveis entre as informações sensoriais disponíveis e as ativações musculares necessárias para manter a cabeça estável.

Em síntese, estes resultados podem sugerir que os bebês não apresentaram capacidade adaptativa do sistema de controle postural como àquela verificada em adultos (POR EXEMPLO, LEE; LISHMAN, 1975; OIE; KIEMEL; JEKA, 2002; CARVER; KIEMEL; JEKA, 2006; BARELA ET AL., EM PREPARAÇÃO), entretanto, eles parecem ter alterado o comportamento da cabeça frente às discrepâncias entre as informações sensoriais disponíveis. Isto pode indicar que os bebês aprendem como balancear as diversas fontes de informação sensorial para adquirir acoplamentos estáveis com os estímulos o que pode

sugerir, desta forma, que ocorrem mudanças desenvolvimentais nos processos adaptativos do sistema de controle postural.

Com base nestas considerações, da mesma forma que mudanças desenvolvimentais são decorrentes de mudanças no acoplamento entre informação sensorial e ação motora (BARELA, 1997; 2000; THELEN, 1995; POLASTRI; BARELA, 2002), pode-se sugerir que mudanças nos processos adaptativos levam à aquisição de acoplamentos estáveis e flexíveis entre informação sensorial e ação motora e, desta forma, refletem nas mudanças desenvolvimentais observadas no sistema de controle postural.

## **CAPÍTULO 4.**

### **CONTROLE POSTURAL ADAPTATIVO EM CRIANÇAS DURANTE A MANUTENÇÃO DA POSTURA ERETA**

#### **RESUMO**

As respostas posturais de crianças de 4, 8 e 12 anos de idade e adultos foram investigadas frente às alterações abruptas na amplitude de movimento estímulo visual. Os participantes foram posicionados dentro da sala móvel e submetidos a duas amplitudes do estímulo visual (0,5 e 3,2 cm). Ganho, fase e variabilidade de posição e velocidade foram medidas utilizadas para examinar a influência do estímulo visual nas oscilações corporais de crianças e adultos. Os resultados apontaram que mesmo aos 4 anos de idade, crianças já são capazes de diminuir a influência da alta amplitude do estímulo visual. Contudo, os altos valores de ganho e variabilidade de oscilação, demonstrados pelas crianças de 4 e 8 anos de idade, indicaram que suas respostas não estão tão bem desenvolvidas ao nível das crianças de 12 anos de idade e adultos.

Palavras-chave: controle postural, informação visual, experiência, *reweighting*, crianças.

#### 4.1. INTRODUÇÃO

O relacionamento entre informação sensorial e controle postural é diferente entre crianças e adultos como tem sido evidenciado em vários estudos (TAGUCHI; TADA, 1988; HIRABAYASHI; IWASAKI, 1995; BARELA; JEKA; CLARK, 2003). Mais importante, ainda, é que as diferenças no acoplamento entre informação sensorial e ação motora parecem estar relacionadas ao funcionamento do sistema de controle postural. Especificamente, crianças parecem apresentar dificuldades em estimar a posição do corpo em relação ao ambiente em que ela se encontra, pois não conseguem extrair as informações mais importantes e relevantes para obter esta estimativa de forma mais precisa (BARELA; JEKA; CLARK, 2003). Isto poderia estar ocorrendo por diversos motivos, por exemplo, crianças não seriam tão sensíveis às informações sensoriais e/ou elas não conseguiram extrair das muitas fontes de informações aquelas mais apropriadas para a realização da ação motora frente às demandas do contexto.

Na verdade, desde muito tempo tem sido sugerido que há predominância da visão sobre os demais canais, nos primeiros anos de vida (SHUMWAY-COOK; WOOLLACOTT, 1985; WOOLLACOTT; DEBÚ; MOWATT, 1987; WOOLLACOTT, 1988). De acordo com a proposta de Woollacott e colaboradores, apenas após o sexto ano de vida é que crianças passariam a integrar as várias informações sensoriais da mesma forma que os adultos o fazem. Entretanto, resultados recentes questionam esta visão (por exemplo, BARELA; JEKA; CLARK, 2003; GODOI, 2004). Godoi (2004) apontou que crianças até os 10 anos apresentam acoplamentos mais fracos e variáveis entre informação visual e oscilação corporal quando comparadas aos adultos e, ainda, que estes resultados foram dependentes das características

---

do estímulo visual (distância entre elas e a parede do fundo da sala). Desta forma, muito pouco é conhecido sobre como crianças usam informação visual para controlar e alcançar uma determinada posição corporal e, mais ainda, se elas seriam capazes de alterar o funcionamento do sistema de controle postural frente a alterações nos parâmetros do estímulo visual da mesma forma como fazem os adultos (BARELA ET AL., EM PREPARAÇÃO).

Apenas um número bastante reduzido de estudos se propôs a investigar como as respostas posturais de crianças se adaptam aos diferentes parâmetros do estímulo visual (SCHMUCKLER, 1997; GODOI, 2004). Apesar disto, os resultados destes estudos têm trazido evidências de que crianças apresentam capacidade adaptativa para responder às alterações nas informações sensoriais. Recentes estudos têm mostrado que adultos respondem adaptativamente às abruptas alterações nos estímulos sensoriais, diminuindo rapidamente a influência dos estímulos que apresentam grandes alterações, como por exemplo, aumento na amplitude ou velocidade de movimento (OIE; KIEMEL; JEKA, 2002; OIE ET AL., 2005; BARELA ET AL., EM PREPARAÇÃO).

Tendo em vista que a literatura apresenta vários estudos que observaram que crianças acoplam-se à manipulação da informação visual (por exemplo, LEE; ARONSON, 1974; SCHUMUCKLER, 1997; BERTENHAL; BAI, 1989; BARELA ET AL., 2001) e apresentam indícios de adaptação, pode-se especular que crianças seriam sensíveis a alterações na amplitude e velocidade da informação sensorial, demonstrando significativas alterações no acoplamento entre informação visual e oscilação corporal. Processos adaptativos são de fundamental importância no funcionamento do sistema de controle postural e, desta forma, precisam ser melhor investigados em crianças.

Sendo assim, o objetivo deste estudo foi investigar como o sistema de controle postural de crianças e adultos se adapta às mudanças abruptas no ambiente visual e se diferenças nas respostas posturais poderiam estar associadas a como as crianças alteram a utilização das informações sensoriais durante a manutenção da posição em pé. Especificamente, este estudo buscou: 1) comparar o acoplamento entre informação visual e oscilação corporal de crianças de 4, 8 e 12 anos de idade e adultos durante a manutenção da posição em pé; e 2) comparar o acoplamento entre informação visual e oscilação corporal em crianças de 4, 8 e 12 anos de idade e adultos, frente às alterações na amplitude e velocidade do estímulo visual.

## **4.2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.2.1. Participantes**

Participaram deste estudo 30 crianças que foram divididas em 3 grupos com idades de 4 (idade média = 3,7 anos,  $\pm$  2,6), 8 (idade média = 8,1 anos,  $\pm$ 3,3) e 12 anos (idade média = 12,1 anos,  $\pm$  5,7) e 10 adultos jovens com idades entre 20 e 27 anos (média=22,0,  $\pm$  2,4) que foram submetidos aos mesmos procedimentos experimentais deste estudo. Os grupos de crianças foram compostos por cinco meninas e cinco meninos e o grupo de adultos jovens por 4 homens e 6 mulheres.

A definição dos grupos etários das crianças procurou englobar as faixas etárias nas quais mudanças desenvolvimentais mais dramáticas parecem ocorrer. Por exemplo, vários estudos indicam que por volta dos 6 anos de idade, ocorre uma dramática redução da oscilação corporal e até uso diferenciado das informações sensoriais disponíveis

(SHUMWAY-COOK; WOOLLACOTT, 1985; WOOLLACOTT; DEBÚ; MOWATT, 1987). Ainda, diferenças na oscilação corporal são observadas em crianças com 10 anos de idade, quando submetidas a uma situação mais complexa (ZERNICKE; GREGOR; CRATTY, 1982; GODOI, 2004). O grupo de adultos jovens foi incluído a fim de comparação com os grupos de crianças por apresentar claros processos adaptativos no sistema de controle postural frente às mudanças no ambiente visual (BARELA ET AL., EM PREPARAÇÃO).

Os participantes, os pais e/ou responsáveis pelas crianças foram, previamente, informados sobre os procedimentos experimentais deste estudo e forneceram assinados os Termos de Consentimento Livre e Esclarecido aprovados pelo Comitê de Ética da Universidade Estadual Paulista (UNESP/Campus de Rio Claro).

#### **4.2.2. Procedimentos**

Todos os participantes foram trazidos ao Laboratório para Estudos do Movimento (LEM) e após uma breve adaptação ao ambiente do laboratório, foram posicionados em pé dentro de uma “sala móvel”. Esta sala foi constituída de três paredes brancas cobertas com listas verticais pretas (22 cm de largura) e um teto de madeira pintado de branco montados sobre uma armação de ferro (2,1 x 2,1 x 2,1 metros – largura, altura e comprimento). Toda esta estrutura foi posicionada sobre quatro rodas de *nylon* que deslizaram sobre trilhos, possibilitando movimentos desta sala para frente e para trás, independente do chão. Na parte superior central da sala (teto) foi colocada uma lâmpada (22 W) que permaneceu acesa durante todo o experimento, oferecendo condições de luminosidade similares a todos os participantes.

---

O movimento da sala foi controlado por um sistema de servo-mecanismo constituído por um controlador (Compumotor – Modelo APEX 6151), um servo-motor (Compumotor – Mod. N0992 GRONMDN) e um cilindro de um eixo (Compumotor – Mod. APEX620-MO-NC), conectado à armação de ferro. Programas específicos de computador controlaram este sistema (Compumotor - Motion Architect for Windows 95) e possibilitaram que o movimento da sala fosse realizado em diferentes velocidades e amplitudes, mantendo a frequência de movimento da mesma em 0,2 Hz.

A sala foi movimentada nas amplitudes de 0,5 e 3,2 cm e com picos de velocidade de 0,6 e 4,1 cm/s, respectivamente. A escolha destas amplitudes e velocidades foi baseada em resultados de estudos prévios que mostraram que a oscilação corporal de adultos e crianças acoplam-se fortemente às baixas amplitudes e velocidades do estímulo visual e que, em geral, os mesmos não conseguem perceber conscientemente os movimentos provenientes da sala e verbalizá-los (FREITAS JUNIOR; BARELA, 2004; GODOI, 2004) o que poderia alterar as respostas posturais frente a diferentes modos de atuação do sistema de controle postural (auto-movimento e movimento do objeto). Já a alta amplitude de movimento da sala foi escolhida para provocar uma mudança abrupta no ambiente visual fornecendo um conhecimento não-verbal sobre o movimento da sala. Mudanças repentinas nos estímulos sensoriais poderiam requerer mudanças no acoplamento entre informação sensorial e oscilação postural. Cabe ressaltar, ainda, que a sala foi movimentada na frequência de 0,2 Hz por corresponder à frequência natural de oscilação corporal (BARELA ET AL., 2000; GODOI, 2004) e por induzir efetivas respostas na oscilação corporal.

Dois emissores infravermelhos do sistema de análise de movimento OPTOTRAK (Modelo 3020 - Digital Northern, Inc) foram afixados um nas costas dos participantes

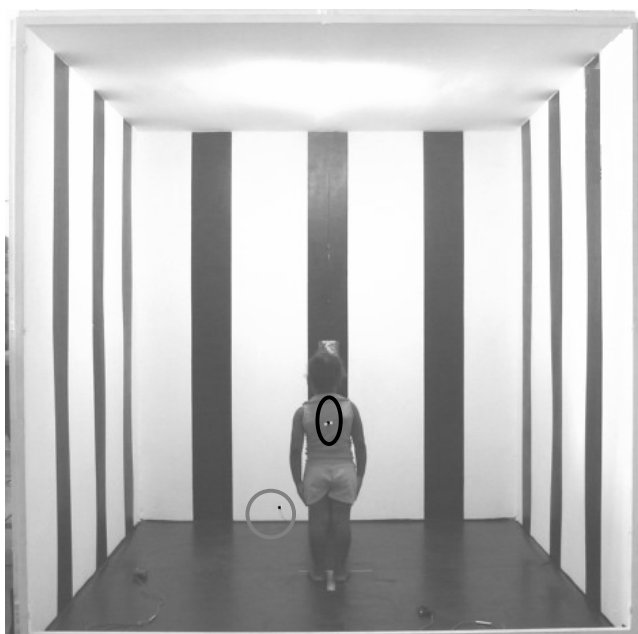


---

(aproximadamente sobre a oitava vértebra torácica, entre as escápulas) e outro na parede frontal da sala móvel e foram usados para obter informação sobre a oscilação corporal dos participantes e a posição da sala, respectivamente, nas direções ântero-posterior (AP) e médio-lateral (ML), com uma frequência de coleta de 100 Hz.

Os participantes foram solicitadas a ficar em pé a 1 metro de distância da parede frontal da sala e a olharem uma figura infantil (6 x 6 cm – largura e altura), afixada ao nível dos olhos das mesmas por oito tentativas, com duração de 60 segundos cada. A Figura 9 apresenta a situação experimental deste estudo, mostrando uma criança de 4 anos de idade na posição em pé dentro da sala móvel olhando para a figura afixada na parede frontal da sala.

A sala permaneceu estacionária na primeira tentativa. Nas sete tentativas seguintes, a sala foi movimentada com amplitude de 0,5 cm e pico de velocidade de 0,6 cm/s, (tentativas de baixa amplitude/velocidade) com exceção da quinta tentativa, na qual a sala foi movimentada em amplitude mais alta de 3,2 cm e pico de velocidade de 4,1 cm/s, produzindo uma mudança abrupta no ambiente visual (tentativa de alta amplitude/velocidade).



**Figura 9.** Situação experimental com uma criança de 4 anos de idade na posição em pé olhando para a figura dentro da sala móvel. Os círculos indicam os emissores afixados entre as escápulas do participante (círculo escuro) e na parede frontal da sala móvel (círculo claro).

Um período de descanso de 60 segundos foi fornecido a cada três tentativas para evitar que as crianças apresentassem fadiga muscular e falta de atenção durante o teste. Ainda, protetores auriculares foram utilizados para reduzir quaisquer ruídos externos à sala móvel ou do ambiente do laboratório. Seis das crianças mais novas (4 anos de idade) se recusaram a usar os protetores durante o teste. Contudo, nenhuma diferença foi observada nos resultados destas crianças em comparação com as outras crianças do mesmo grupo que utilizaram os protetores. Uma câmera digital (Panasonic – WV-CL350) foi posicionada atrás da parede frontal da sala para monitorar os movimentos de cada participante em tempo real e assegurar que os mesmos estivessem olhando para a figura à frente e realizando a tarefa solicitada. Por meio da avaliação destas imagens, partes das tentativas

nas quais ocorreram movimentos bruscos e/ou as crianças não realizaram a tarefa solicitada foram excluídas das análises de dados.

Considerando que conhecimento prévio sobre a manipulação da sala móvel influencia as respostas corporais frente aos estímulos visuais (FREITAS JUNIOR; BARELA, 2004), os participantes não foram informadas a priori sobre os movimentos da sala. Durante a coleta dos dados, somente duas crianças de 12 anos de idade reportaram que as paredes da sala móvel estavam se movimentando e isto ocorreu logo após terem sido expostas à tentativa de alta amplitude/velocidade da sala. Outras nove crianças (três de 8 anos de idade e seis de 12 anos de idade) reportaram maiores oscilações corporais ou desconforto após completarem a tentativa de alta amplitude/velocidade, contudo, elas não verbalizaram que a sala estava se movimentando. Adultos jovens expostos a altas amplitudes do estímulo visual têm apresentado a mesma variabilidade relacionada à percepção da manipulação da sala móvel (BARELA, ET AL., EM PREPARAÇÃO). Dentre os 10 adultos jovens, seis deles reportaram os movimentos das paredes da sala após a tentativa de alta amplitude/velocidade. Neste estudo, a verbalização de que a sala estava oscilando não provocou diferenças nas respostas posturais dentro dos grupos frente às alterações no ambiente visual.

#### **4.2.3. Tratamento e Análise dos Dados**

Desde que o estímulo visual fornecido pelo movimento da sala foi na direção ântero-posterior, todas as análises foram realizadas para os dados coletados nesta direção com exceção da variável amplitude média de oscilação corporal nas tentativas nas quais a

sala permaneceu estacionária. Neste caso, foram realizadas análises dos dados nas direções ântero-posterior (AP) e médio-lateral (ML).

Dentre as 280 tentativas possíveis de serem analisadas, nas quais a sala foi movimentada, apenas nove delas tiveram que ser parcialmente excluídas. Destas nove tentativas (3,21%), quatro delas tiveram entre 55 e 57 segundos de duração, três tiveram 50 segundos de duração, duas tentativas tiveram 40 segundos de duração e duas tentativas foram analisadas com 45 e 38 segundos de duração, respectivamente. Para a análise das tentativas nas quais a sala permaneceu estacionária, das 40 tentativas possíveis de serem analisadas, apenas duas tentativas (5%) foram parcialmente analisadas com 40 e 45 segundos de duração e duas foram excluídas por problemas técnicos.

A *Frequency-Response Function* (FRF) foi, então, computada a partir dos dados de oscilação corporal dos participantes e do estímulo visual proveniente da sala móvel para cada participante e tentativa. Esta função consiste em dividir as transformações de Fourier da oscilação corporal pelas transformações de Fourier dos estímulos visuais, gerando uma função de valores complexos (*transfer function*). A partir da *transfer function* destes valores complexos, ou seja, do mapeamento da relação entre o estímulo visual (input) e as respostas corporais (output), as variáveis de ganho, fase e variabilidade de oscilação corporal (variabilidade de posição e velocidade) foram calculadas para cada tentativa. Então, as médias dos valores de cada variável foram extraídas para cada grupo a fim de verificar as respostas da oscilação corporal na frequência do estímulo visual (0,2 Hz).

Ganho foi computado obtendo o valor absoluto dos valores complexos e indicou o acoplamento entre o estímulo visual e a oscilação corporal na frequência do estímulo. Valores de ganho de 1 significam que a amplitude do espectro de oscilação corporal é igual

à amplitude do espectro do movimento da sala. Valores de ganho maiores ou menores que 1 significam que a amplitude do espectro da oscilação corporal foi maior ou menor que a amplitude do espectro do movimento da sala, respectivamente. Fase foi computada obtendo o “argumento” destes valores complexos, convertidos de radianos para graus, e indicou o relacionamento temporal entre o estímulo visual e a oscilação corporal. Valores positivos de fase significam que a oscilação corporal esteve à frente do movimento da sala e valores negativos significam que a oscilação corporal apresentou um atraso com relação ao movimento da sala.

Variabilidade de posição e velocidade de oscilação corporal foram computadas obtendo o desvio padrão da trajetória de oscilação corporal depois que o componente de oscilação corporal correspondente à frequência do estímulo visual foi removido (trajetória residual) (CF. JEKA ET AL., 2000). A variabilidade de posição e velocidade indicou a amplitude de oscilação corporal em frequências diferentes da frequência do estímulo visual (0,2 Hz).

Finalmente, a variável amplitude média de oscilação foi calculada para as tentativas nas quais a sala foi movimentada e, também, quando a mesma permaneceu estacionária e correspondeu ao desvio padrão das séries temporais da oscilação corporal depois que a posição média dos valores de oscilação corporal foi subtraída dos sinais de cada tentativa. A variável amplitude média de oscilação correspondeu à magnitude de oscilação corporal englobando todas as frequências de oscilação. Após este cálculo, valores médios desta variável foram obtidos para cada grupo, indicando a manutenção da oscilação postural durante as tentativas estacionárias e de movimento da sala.

#### 4.2.4. Análises Estatísticas

Inicialmente, os valores de F-estatístico foram calculados para verificar se os valores absolutos e argumentos das médias de FRF obtidas de cada grupo foram diferentes de zero. Para isto análises estatísticas para números complexos (números compostos por partes reais e imaginárias) foram conduzidas. Estas análises revelaram que os valores de FRF foram diferentes de zero ( $p < 0,01$ ) para os grupos e tentativas, exceto para a tentativa de alta amplitude/velocidade do grupo de adultos jovens ( $p > 0,05$ ).

Resultados significantes destas análises indicam que os valores de fase obtidos neste estudo não foram comprometidos por valores muito baixos de ganho tanto quanto os resultados de ganho superestimados (CF. JEKA ET AL., 2000), principalmente, na tentativa de alta amplitude/velocidade. De maneira geral, o resultado obtido pelos adultos jovens de que os valores de ganho foram muito próximos ou iguais a zero indicam quase nenhuma influência do estímulo visual sobre as oscilações corporais dos mesmos.

A partir dos resultados destas análises, as medidas de ganho, fase e variabilidade de posição e velocidade foram as variáveis dependentes de quatro ANOVAs, tendo como fatores os 4 grupos e as 7 tentativas, sendo este último fator considerado como medida repetida. Estas análises foram conduzidas para verificar se mudanças abruptas do estímulo visual (amplitude e velocidade) influenciaram nas respostas posturais e se este efeito foi diferente entre os grupos.

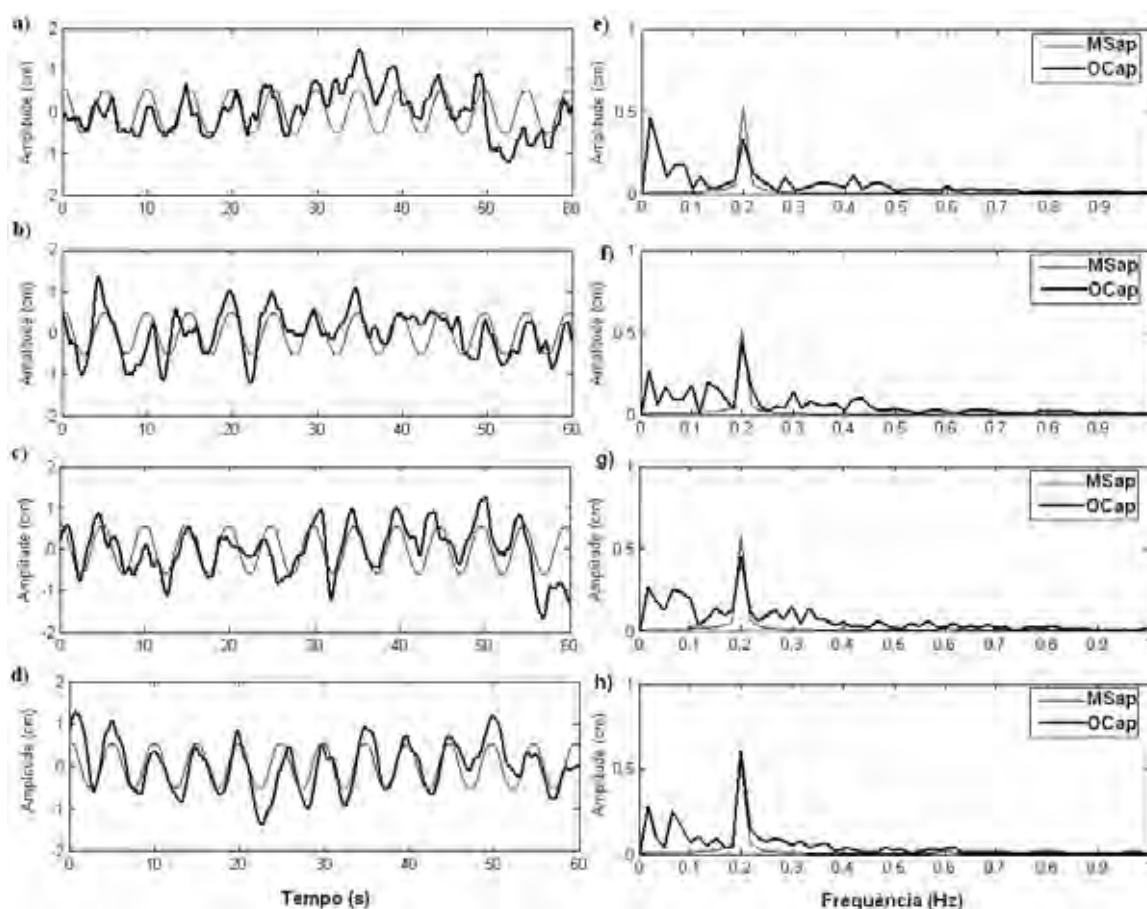
Para examinar diferenças entre os grupos e tentativas na medida de amplitude média de oscilação corporal, outra ANOVA (4 grupos x 7 tentativas) com medidas repetidas no último fator foi realizada para verificar possíveis diferenças na amplitude média de oscilação na direção AP nas tentativas nas quais a sala foi movimentada. Finalmente, duas

---

ANOVAs *one-way* foram realizadas para a tentativa na qual a sala permaneceu estacionária. As variáveis dependentes para estas análises foram a amplitude média de oscilação, na direção AP e ML. Análises de *post-hoc* com correção de Tukey's somente foram realizadas quando as análises univariadas revelaram resultados significantes. O nível de significância para estas análises foi de 0,05 (SPSS for Windows, 10.0).

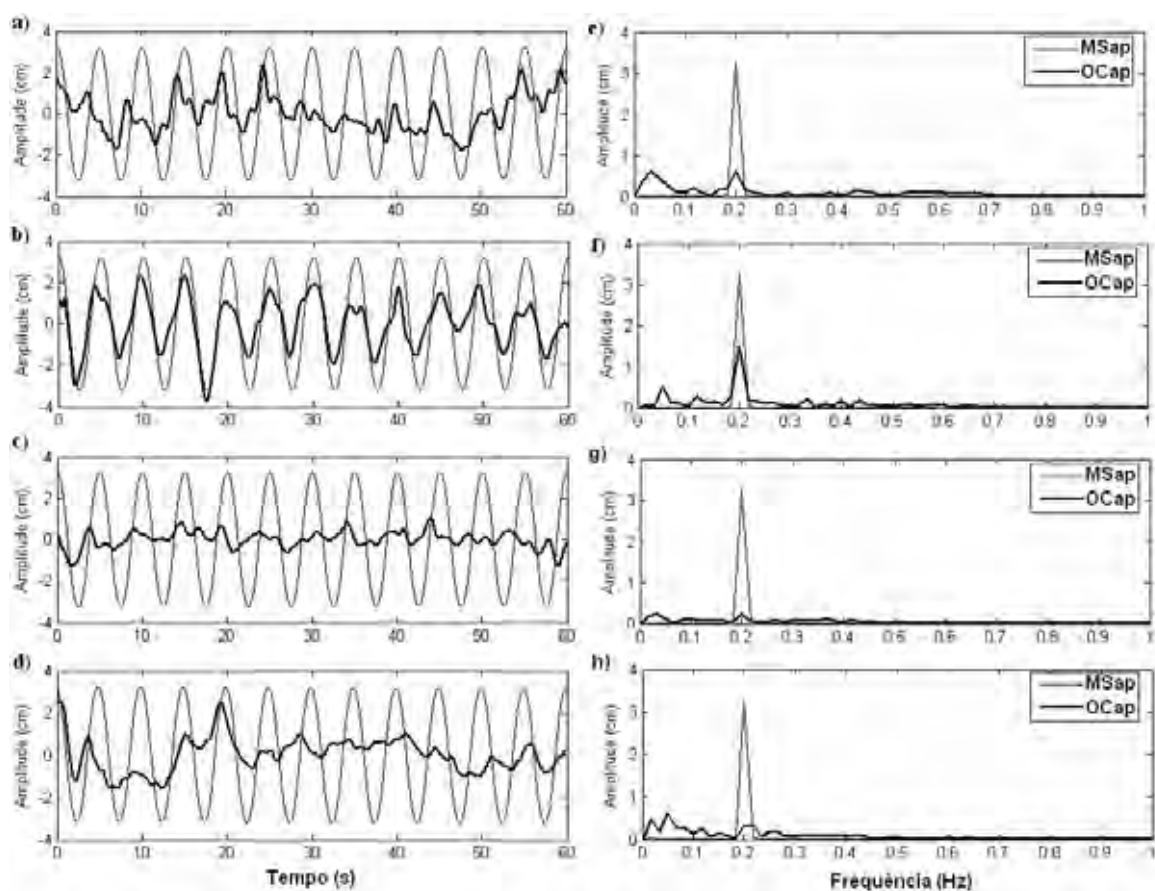
### 4.3. RESULTADOS

As oscilações corporais das crianças e dos adultos foram induzidas na mesma frequência do estímulo visual em todas as tentativas sendo esta influência menor na tentativa de alta amplitude/velocidade. As Figuras 10 e 11 apresentam exemplares de séries temporais e amplitudes espectrais da oscilação corporal de cada grupo e do deslocamento da sala móvel, para ilustrar este efeito em uma tentativa de baixa amplitude/velocidade (Figura 10a-h) da sala e em uma tentativa de alta amplitude/velocidade (Figura 11a-h) da sala. Pode-se observar que as amplitudes espectrais de oscilação corporal das crianças de 4, 8 e 12 anos de idade bem como a de adultos jovens apresentam um pico definido na frequência do estímulo (0,2 Hz) em ambas as amplitudes/velocidades de movimento da sala (0,6 e 4,1 cm/s).



**Figura 10.** Exemplos de séries temporais e amplitudes espectrais de oscilação corporal de crianças de 4 anos (painéis “a” e “e”), 8 anos (painéis “b” e “f”), 12 anos de idade (painéis “c” e “g”) e adultos jovens (painéis “d” e “h”) e os deslocamentos da sala móvel na direção ântero-posterior (AP) durante uma tentativa de baixa amplitude/velocidade da sala na frequência de 0,2 Hz. A linha clara corresponde ao deslocamento da sala móvel (MSap) e a linha escura corresponde às trajetórias da oscilação corporal (OCap).





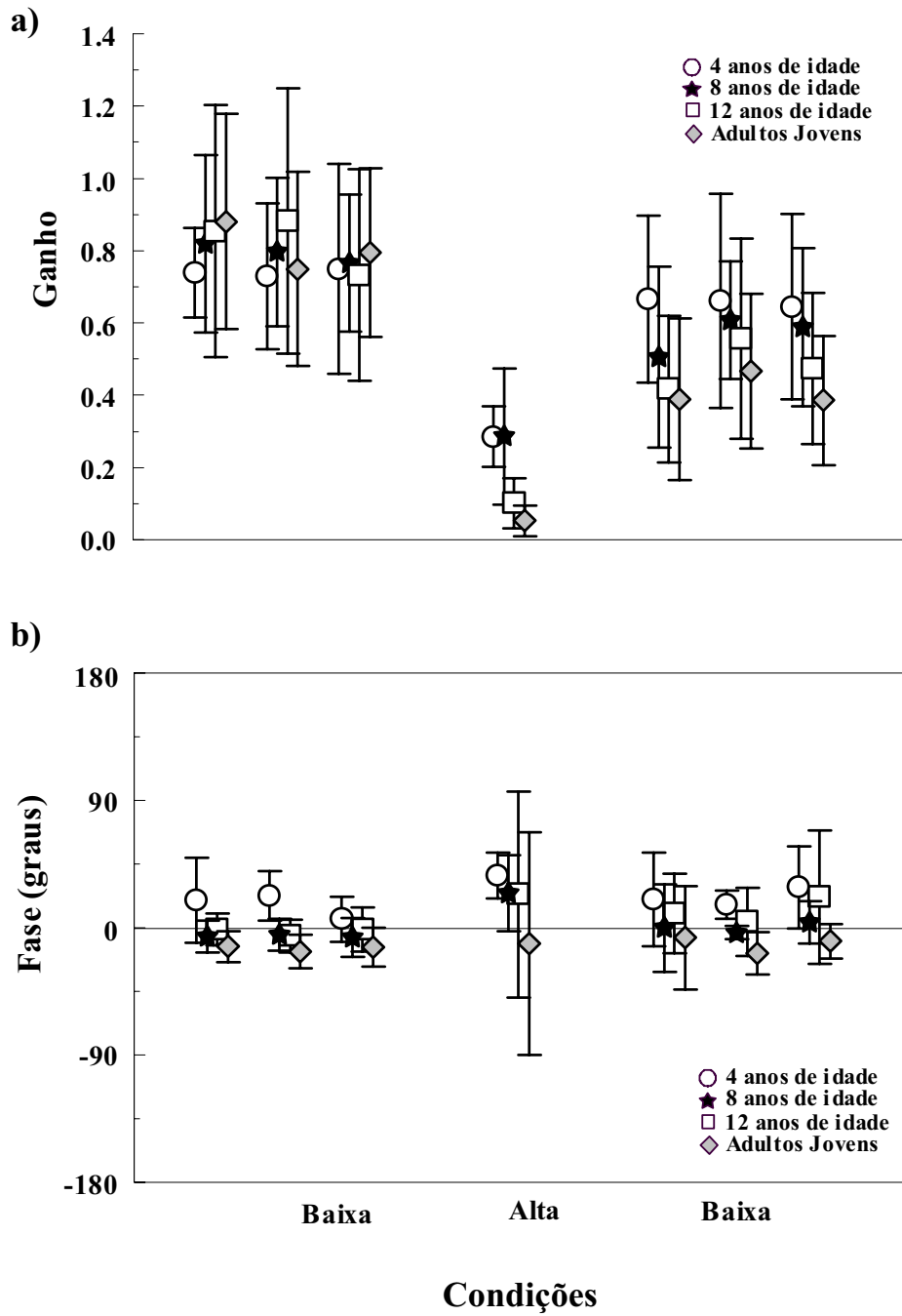
**Figura 11.** Exemplos de séries temporais e amplitudes espectrais de oscilação corporal de crianças de 4 anos (painéis “a” e “e”), 8 anos (painéis “b” e “f”), 12 anos de idade (painéis “c” e “g”) e adultos jovens (painéis “d” e “h”) e os deslocamentos da sala móvel na direção ântero-posterior (AP) durante a tentativa de alta amplitude/velocidade da sala na freqüência de 0,2 Hz. A linha clara corresponde ao deslocamento da sala móvel (MSap) e a linha escura corresponde às trajetórias da oscilação corporal (OCap).

Embora, o estímulo visual tenha induzido a oscilação corporal de todos os participantes, diferenças foram encontradas quando o acoplamento entre informação visual e oscilação corporal foi examinado por meio das variáveis ganho, fase e variabilidade residual. A seguir análises envolvendo estas variáveis são apresentadas.

#### 4.3.1. Ganho e Fase

Em geral, a oscilação corporal das crianças e dos adultos foi fortemente influenciada pelo estímulo visual exceto na tentativa na qual a amplitude de movimento da sala foi aumentada (tentativa de alta amplitude/velocidade). Nesta tentativa, os valores de ganho diminuíram indicando uma redução do acoplamento entre a oscilação corporal e o movimento da sala. Ainda, após a mudança abrupta no estímulo visual, as respostas de oscilação corporal foram diferentes entre os grupos e dependentes das tentativas realizadas. A Figura 12 (a) apresenta os valores de ganho para cada grupo e tentativas.

Análises univariadas revelaram efeito de Tentativa,  $F(6,216)=104,501$ ,  $p<0,001$ , e interação entre Grupos e Tentativas,  $F(18,216)=4,001$ ,  $p<0,001$ , mas não apontaram efeito de Grupo,  $F(3,36)=1,835$ ,  $p=0,158$ , para a variável ganho. Testes *post-hoc* apontaram que o ganho diminuiu na tentativa de alta amplitude/velocidade comparado com as tentativas de baixa amplitude/velocidade de movimento da sala, indicando uma diminuição da influência do estímulo visual sobre as respostas posturais. Contudo, os adultos jovens e as crianças de 12 anos de idade apresentaram estes valores ainda menores do que as crianças mais novas, demonstrando que adultos jovens e crianças de 12 anos de idade diminuíram mais fortemente o peso dado ao estímulo visual (*downweighting*) do que as crianças de 4 e 8 anos de idade.



**Figura 12.** Média dos valores de ganho (a) e fase (b) entre as oscilações corporais e o movimento da sala na direção antero-posterior para os 4 grupos em todas as tentativas, nas condições de baixa (0,5 cm e 0,6 cm/s) e alta (3,2 cm e 4,1 cm/s) amplitude/velocidade do estímulo visual.

Ainda, os adultos jovens e as crianças de 12 anos de idade apresentaram valores de ganho menores nas tentativas posteriores a mudança brusca de amplitude/velocidade da sala quando comparada às tentativas iniciais, contudo, o mesmo efeito não foi verificado para crianças de 4 e 8 anos de idade. Diferentemente, crianças de 4 anos de idade rapidamente aumentaram o peso dado ao estímulo visual (*upweighting*) já na tentativa seguinte à tentativa de alta amplitude/velocidade e apresentaram o mesmo acoplamento das tentativas anteriores à mudança brusca de amplitude/velocidade da sala. Ainda com relação a tentativa seguinte a tentativa de alta amplitude/velocidade, crianças de 4 anos de idade quando comparadas aos adultos demonstraram maior influência do estímulo visual em suas oscilações corporais. Crianças de 8 anos de idade mostraram acoplamentos similares às tentativas anteriores somente após a sexta tentativa.

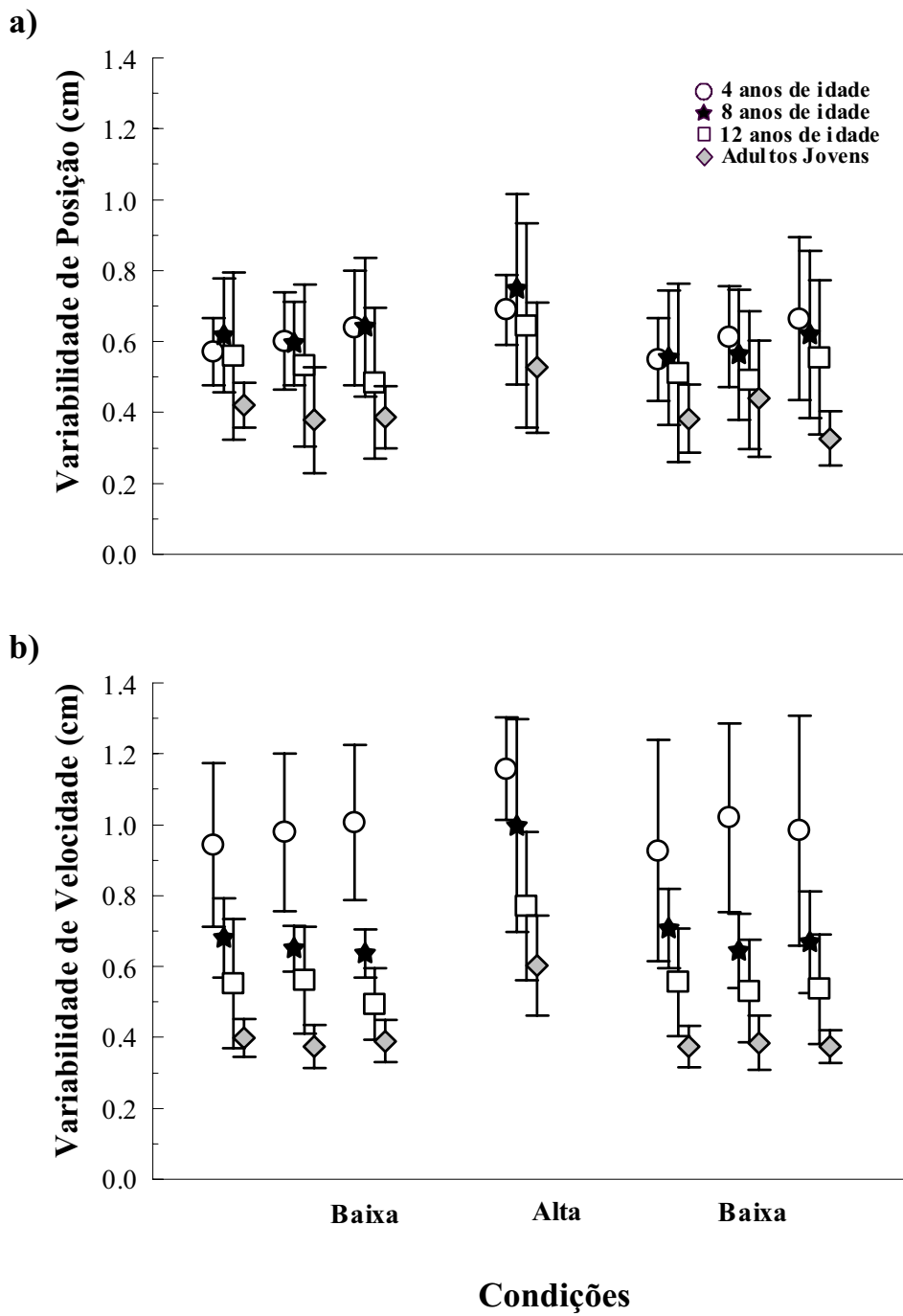
Os valores de fase apontaram que o relacionamento temporal entre a oscilação corporal e o estímulo visual foi diferente entre as tentativas e entre os grupos. A Figura 12 (b) apresenta os valores de fase para cada grupo e tentativa. A análise univariada revelou efeito de Grupo,  $F(3,36)=17,779$ ,  $p<0,001$ , e de Tentativa,  $F(6,216)=3,013$ ,  $p<0,01$  para a variável fase, mas não apontou nenhuma interação entre Grupo e Tentativa,  $F(6,216)=0,395$ ,  $p=0,988$ . Testes *post-hoc* revelaram que o relacionamento temporal de crianças de 4 anos de idade foi diferente daquele verificado para crianças de 8 e 12 anos de idade e adultos jovens. Os adultos jovens também apresentaram relacionamento diferente dos demais grupos. As respostas posturais do grupo de crianças mais novas adiantaram-se ligeiramente em relação ao estímulo visual, produzido pelo movimento da sala móvel, o que foi indicado pelos valores positivos da variável fase. Os grupos de crianças mais velhas

demonstraram valores de fase ao redor de zero indicando que suas respostas posturais foram temporalmente próximas ao estímulo visual. Já os adultos jovens demonstraram oscilações corporais ligeiramente atrasadas com relação ao estímulo visual apresentando valores negativos de fase. Testes *post hoc* não indicaram diferenças entre as tentativas.

#### 4.3.2. Variabilidade de Posição e Velocidade

A Figura 13 apresenta a variabilidade de posição (a) e velocidade (b) para cada grupo e tentativa. A variabilidade de oscilação corporal em frequências diferentes da frequência do estímulo visual (variabilidade residual) diminuiu com a idade e foi maior durante a tentativa de alta amplitude/velocidade. Análise univariada revelou efeito de Tentativa,  $F(6,216)=5,104$ ,  $p<0,001$ , e Grupo,  $F(3,36)=7,934$ ,  $p<0,001$ , mas nenhuma interação entre Grupo e Tentativa,  $F(18,216)=0,907$ ,  $p=0,571$ , para a variabilidade de posição. Testes *post-hoc* indicaram que a variabilidade de posição foi maior para as crianças de 4 e 8 anos de idade do que a observada para os adultos jovens. Ainda, a variabilidade para todos os grupos foi maior na tentativa de alta amplitude/velocidade quando comparada às tentativas posteriores a mesma.

Para a variável variabilidade de velocidade, similarmente ao observado para a variável variabilidade de posição, análise univariada revelou efeito de Grupo,  $F(3,36)=44,570$ ,  $p<0,001$ , e Tentativa,  $F(6,216)=31,335$ ,  $p<0,001$ , mas nenhuma interação entre Grupo e Tentativa,  $F(18,216)=1,419$ ,  $p=0,124$ .

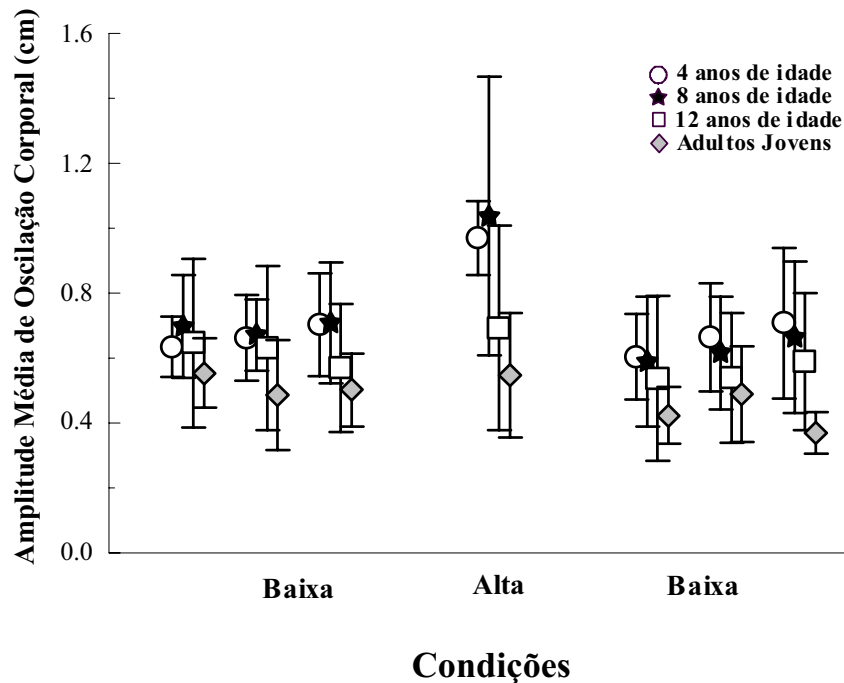


**Figura 13.** Média dos valores de Variabilidade de Posição (a) e Variabilidade de Velocidade (b) da oscilação corporal dos 4 grupos em todas as tentativas, nas condições de baixa (0,5 cm e 0,6 cm/s) e alta (3,2 cm e 4,1 cm/s) amplitude/velocidade do estímulo visual.

Testes *post-hoc* indicaram que a variabilidade na velocidade de crianças de 4 anos de idade foi maior do que a de crianças de 8 e 12 anos de idade e adultos jovens. Da mesma forma, crianças de 8 anos de idade apresentaram variabilidade maior do que crianças de 12 anos e adultos jovens. Por fim, estes testes apontaram que adultos jovens apresentaram menor variabilidade do que todos os grupos de crianças o que pode indicar mudanças desenvolvimentais na variabilidade residual, principalmente, no componente de velocidade desta oscilação. Comparações entre as tentativas, também, mostraram um aumento na variabilidade para todos os grupos na tentativa de alta amplitude/velocidade em comparação com as demais tentativas de baixa amplitude/velocidade para todos os grupos.

#### **4.3.3. Amplitude Média de Oscilação**

A Figura 14 apresenta os resultados de amplitude média de oscilação dos 4 grupos e tentativas. Os resultados mostraram que as oscilações corporais foram dependentes dos grupos e das tentativas realizadas. Análises univariadas revelaram efeito de Tentativa,  $F(6,216)=14,122$ ,  $p<0,001$ , de Grupo,  $F(3,36)=5,925$ ,  $p<0,002$ , e interação Grupo e Tentativa,  $F(18,216)=2,082$ ,  $p<0,01$ . Testes *post-hoc* apontaram que as crianças apresentaram oscilação corporal maior que adultos jovens em todas as tentativas. Ainda, somente as crianças de 4 e 8 anos de idade apresentaram aumento na amplitude média de oscilação na tentativa de alta amplitude/velocidade da sala comparada às demais tentativas de baixa amplitude/velocidade. Diferentemente, a magnitude de oscilação corporal para as crianças de 12 anos de idade e adultos jovens não foi alterada com a alteração do estímulo visual.

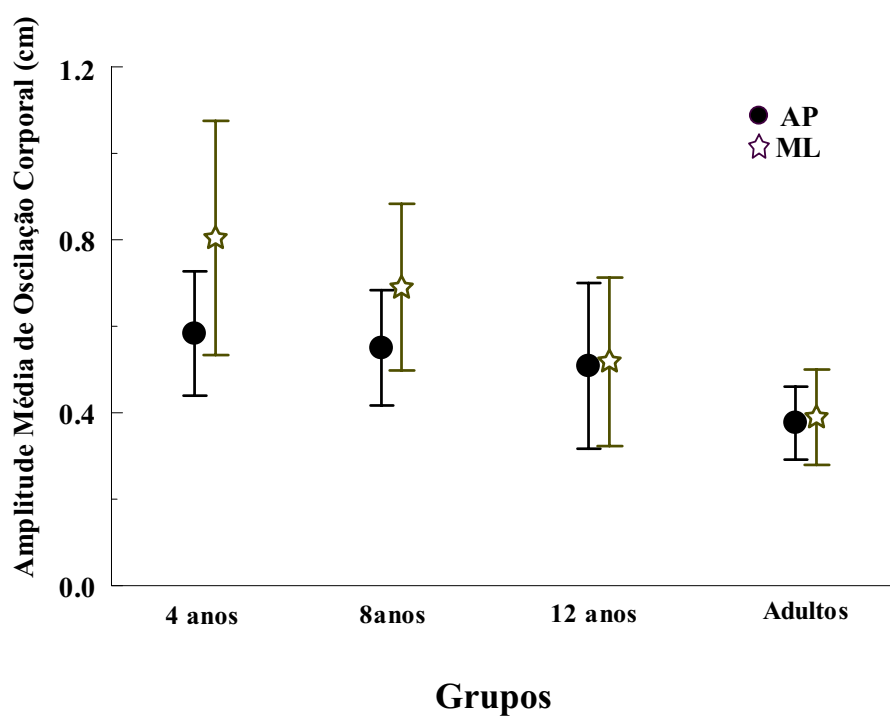


**Figura 14.** Média dos valores de Amplitude Média de Oscilação Corporal dos 4 grupos em todas as tentativas, nas condições de baixa (0,5 cm e 0,6 cm/s) e alta (3,2 cm e 4,1 cm/s) amplitude/velocidade do estímulo visual.

Por fim, as análises revelaram diferenças na oscilação corporal dos participantes na tentativa em que a sala não foi movimentada. A Figura 15 apresenta os resultados de amplitude média de oscilação para cada grupo em ambas as direções, AP e ML. Análises univariadas indicaram que a amplitude média de oscilação de crianças de 4 anos de idade foi maior quando comparada à das crianças de 12 anos de idade e de adultos jovens na direção ML,  $F(3,37)=7,326$ ,  $p<0,001$ . Ainda, as crianças de 8 anos de idade oscilaram mais do que adultos jovens, na direção ML, durante a manutenção da postura ereta. Na direção



AP, apenas as crianças de 4 anos de idade apresentaram oscilações maiores do que adultos jovens,  $F(3,37)=3,29$ ,  $p<0,04$ .



**Figura 15.** Média dos valores de Amplitude Média de Oscilação Corporal nas direções ântero-posterior (AP) e médio-lateral (ML) dos 4 grupos durante a tentativa estacionária da sala móvel.

#### 4.4. DISCUSSÃO

O presente estudo buscou investigar como o sistema de controle postural de crianças se adapta às constantes mudanças que ocorrem nas informações sensoriais disponíveis no ambiente. De maneira geral, os resultados indicaram que crianças tão jovens quanto 4 anos de idade apresentaram a capacidade de rapidamente diminuir a influência do estímulo visual sobre suas oscilações corporais para compensar as demandas do ambiente visual.

Entretanto, as crianças mais jovens (4 e 8 anos de idade) apresentaram maior influência do estímulo visual e maior variabilidade neste comportamento quando comparadas aos grupos mais velhos (12 anos de idade e adultos). Por outro lado, crianças de 12 anos de idade mostraram alterações no funcionamento do sistema de controle postural similares aos adultos jovens, indicando que, nesta faixa etária, estas crianças já seriam capazes de estimar e controlar adequadamente a posição corporal frente às constantes mudanças dos estímulos sensoriais provenientes do ambiente.

Estes resultados propiciam conhecimento de aspectos novos e relevantes para se compreender mudanças desenvolvimentais no relacionamento entre informação sensorial e atividade motora, especificamente, os relacionados aos processos adaptativos deste relacionamento. Mais ainda, tendo em vista, que respostas adaptativas expressam a flexibilidade do sistema de controle postural diante de contínuas mudanças ambientais, os resultados encontrados para crianças mais novas, no processo de *reweighting*, parecem ser fundamentais para o entendimento das mudanças no funcionamento deste sistema ao longo dos anos. Para discutir estes aspectos detalhadamente, três tópicos são abordados a seguir.

#### **4.4.1. Alterações Comportamentais no Sistema de Controle Postural**

Um dos indicadores de mudanças desenvolvimentais no sistema de controle postural é a redução da velocidade e magnitude da oscilação corporal, ao longo dos anos, por exemplo, observada durante a manutenção da posição em pé (RIACH; HAYES, 1987; METCALFE ET AL., 2005; RIVAL, CEYTE; OLIVIER, 2005). Em adição, têm sido sugerido, recentemente, que a melhora no desempenho do controle postural, inferido por meio das oscilações corporais, parece estar relacionada às mudanças desenvolvimentais que ocorrem

---

no funcionamento do sistema de controle postural (GODOI, 2004) decorrentes da aquisição e refinamento de relacionamentos flexíveis e estáveis entre as informações sensoriais e as oscilações corporais (BARELA; JEKA; CLARK, 2003). Com base nestes aspectos, o comportamento das oscilações corporais das crianças e dos adultos é discutido tanto na situação estacionária da sala móvel quanto na situação de manipulação visual, proveniente dos movimentos das paredes desta sala.

Primeiramente, no presente estudo, durante a tentativa estacionária da sala móvel, as crianças de 4 anos oscilaram mais do que as crianças mais velhas e os adultos em ambas as direções de movimento (AP e ML), sendo esta maior oscilação também observada até os 8 anos na direção ML. Estes resultados estão em concordância com aqueles de estudos que observaram que crianças mais novas apresentam oscilação corporal maior em tarefas estáticas e que com o aumento da idade, estas oscilações vão diminuindo (RIACH; HAYES, 1987; ZERNICK; GREGOR; CRATTY, 1982; FIGURA, ET AL., 1991; TAGUCHI; TADA, 1988; GODOI, 2004) até atingir níveis observados para adultos.

Cabe ressaltar, entretanto, que a observação de desempenho similar ao de adultos no comportamento da oscilação corporal parece ser dependente do contexto no qual a tarefa está sendo realizada (FIGURA ET AL., 1991; HORAK; MACPHERSON, 1996; STREEPEY; ANGULO-KINZLER, 2002) e pode vir a indicar diferenças no funcionamento do sistema de controle postural (GODOI, 2004). Por exemplo, os resultados do presente estudo indicaram que quando submetidas à situação de movimento da sala móvel, as crianças de 8 anos oscilaram mais do que adultos na direção AP. Este comportamento não havia sido observado na situação estacionária da sala na qual estas crianças demonstraram oscilações corporais semelhantes aos adultos nesta direção. Da mesma forma, Godoi (2004) observou

---

que quando submetidas a situações de conflito sensorial, também utilizando a sala móvel visual, até os 10 anos de idade, as crianças não apresentaram oscilações corporais similares aos adultos jovens sendo que em situações estacionárias, estas diferenças foram observadas apenas até os 8 anos, como verificado nos resultados do presente estudo. Em ambos os estudos, as similaridades no desempenho e funcionamento do sistema de controle postural foram observadas por volta dos 12 anos de idade (GODOI, 2004).

Os resultados destes e outros estudos trazem, então, a evidência de que na medida em que as exigências da tarefa demandam respostas cada vez mais adaptativas do sistema de controle postural, como por exemplo, nas situações de conflito sensorial (GODOI, 2004), ou nas quais fontes sensoriais estão restritas ou modificadas (PORTFORS-YEOMANS; RIACH, 1995; TAGUCHI; TADA, 1988; RIVAL; CEYTE; OLIVIER, 2005), diferenças no desempenho do controle postural entre adultos e crianças se estendem, pelo menos, até o final da primeira década de vida (RIVAL; CEYTE; OLIVIER, 2005; GODOI; BARELA, SUBMETIDO). Estes resultados contrariam as sugestões de que, por volta dos 8 anos, o funcionamento do sistema de controle postural já é similar ao de adultos (WOLLACOTT, DEBÚ; MOWATT, 1987; SHUMWAY-COOK; WOOLLACOTT, 1995), especialmente, em situações nas quais o estímulo visual é manipulado.

Com relação, ainda, à situação de movimento da sala móvel, outro aspecto que merece atenção nos resultados do presente estudo, está relacionado ao fato de que além das crianças mais novas (4 e 8 anos de idade) apresentarem oscilações corporais maiores do que crianças de 12 anos e adultos em todas as tentativas, elas ainda oscilaram mais na tentativa de alta amplitude/velocidade do que nas demais tentativas indicando que crianças mais novas apresentam não apenas diferenças no desempenho, mas também no funcionamento

adaptativo do sistema de controle postural, que se sobressaem frente às mudanças abruptas do estímulo visual. É importante salientar, que a tentativa de alta amplitude/velocidade da sala exigiu que o sistema de controle postural se ajustasse rapidamente às novas características do ambiente visual, o que no caso das crianças refletiu comportamentalmente no aumento das oscilações corporais. Crianças mais velhas e adultos jovens, por outro lado, mantiveram a mesma magnitude de oscilação corporal em todas as tentativas, demonstrando respostas adaptativas às alterações de amplitude do estímulo visual ao diminuírem a influência das mesmas.

Com base nestes resultados, pode-se destacar que, o aumento da amplitude de movimento da sala móvel, na tentativa de alta amplitude/velocidade, parece ter produzido uma forte perturbação no controle postural de crianças mais novas, exacerbando um comportamento que já estava alterado nestas crianças (maior amplitude de oscilação corporal) em situações estacionárias da sala. Por outro lado, qualquer que tenha sido o conflito sensorial gerado pela mudança na amplitude de movimento da sala, este parece ter sido prontamente resolvido pelo sistema de controle postural de crianças de 12 anos e adultos jovens, tendo em vista, que a amplitude de oscilação corporal não se alterou entre as tentativas.

Dentre as possíveis razões que têm sido sugeridas para explicar estas alterações no funcionamento do sistema de controle postural ao longo dos anos, as que mais têm se destacado na literatura, são aquelas relacionadas às mudanças que ocorrem na utilização e integração das informações sensoriais a partir de múltiplas fontes sensoriais (LEE; ARONSON, 1974; WOLLACOTT, DEBÚ; MOWATT, 1987; SHUMWAY-COOK; WOOLLACOTT, 1995; WOOLLACOTT, 1988; FOSTER; SVESTRUP; WOOLLACOTT, 1996; BARELA ET AL., 2001;

---

BARELA ET AL., 2003; GODOI, 2004; BOMFIM; POLASTRI; BARELA, 2006; PETERSEN; CHRISTOU; ROSENGREN, 2006) cujos mecanismos, deve-se acrescentar, são cruciais para o funcionamento adaptativo deste sistema.

De acordo com a proposta de dominância na utilização das informações sensoriais (WOOLLACOTT, 1988; WOOLLACOTT; DEBÚ; MOWATT, 1987), já a partir dos 8 anos de idade, as crianças deveriam apresentar desempenho no controle postural semelhante a dos adultos, tendo em vista, que nesta faixa etária, haveria a dominância das informações somatossensoriais sobre as visuais e vestibulares, contribuindo significativamente para o controle da postura. Entretanto, estas similaridades não foram verificadas no presente estudo, indicando que, ao invés de mudanças na predominância de um canal sensorial em detrimento de outros (WOOLLACOTT, DEBÚ; MOWATT, 1987; SHUMWAY-COOK; WOOLLACOTT, 1995; WOOLLACOTT, 1988; FOSTER; SVESTRUP; WOOLLACOTT, 1996) parece haver mudanças nos processos que envolvem a integração das informações sensoriais, como por exemplo, aqueles utilizados para a definição da importância e/ou utilidade de cada fonte sensorial para o controle postural em determinada situação ambiental.

Desta forma, estes resultados parecem indicar que ocorrem mudanças desenvolvimentais nos processos que baseiam o funcionamento adaptativo do sistema de controle postural. Mais especificamente, parecem ocorrer mudanças na maneira como o sistema de controle postural define o peso ou a importância de diversas fontes de informação sensorial (*reweighting*) para estimar precisamente a posição e orientação do corpo no espaço e, desta forma, gerar respostas apropriadas às demandas ambientais.

#### 4.4.2. Processos Adaptativos ao longo dos anos

O acoplamento entre informação visual e oscilação corporal foi utilizado para examinar os mecanismos pelos quais as crianças se adaptam às alterações abruptas na amplitude do estímulo visual. Inicialmente, os resultados indicaram que a manipulação do estímulo visual por meio do movimento das paredes da sala móvel, induziu oscilações corporais nos participantes durante a manutenção da posição em pé, como já havia sido verificado em estudos realizados com bebês (DELORME; FRIGON; LAGACÉ, 1989; HIGGINS; CAMPOS; KERMOIAN, 1996), crianças (LEE; ARONSON, 1974; SCHMUCKLER, 1997; GODOI; BARELA, SUBMETIDO; GODOI, 2004), adultos (FREITAS JÚNIOR, BARELA, 2004; POLASTRI; GODOI; BARELA, 2002; BARELA; ET AL., EM PREPARAÇÃO) e idosos (POLASTRI; BARELA; BARELA, 2001; PRIOLI; FREITAS JÚNIOR, BARELA, 2005).

A partir da observação das alterações deste acoplamento, os resultados do presente estudo mostraram, claramente, que crianças tão jovens quanto 4 anos de idade apresentam funcionamento adaptativo do sistema de controle postural frente às alterações na amplitude/velocidade do estímulo visual. Mais ainda, estes resultados indicaram que os mecanismos que norteiam as respostas adaptativas no funcionamento deste sistema passam por mudanças desenvolvimentais.

Cabe ressaltar que estes resultados são pioneiros na literatura e o presente estudo é um dos primeiros a examinar, de forma sistemática, as propriedades dinâmicas do processo de *reweighting* em crianças. Por este motivo, a maioria das referências utilizadas para discutir os resultados obtidos advém dos poucos estudos que evidenciaram, claramente, processos adaptativos em crianças (GODOI; BARELA, SUBMETIDO, GODOI, 2004) e, em

---

estudos que, recentemente, buscaram verificar os processos de *reweighting* no sistema de controle postural de adultos (JEKA; OIE; KIEMEL, 2000; PETERKA, 2002; OIE; KIEMEL; JEKA, 2002; OIE; ET AL., 2005; BARELA; ET AL., EM PREPARAÇÃO) e idosos (ALLISON; KIEMEL; JEKA, 2006; JEKA; ET AL., 2006; PRIOLI; FREITAS JÚNIOR; BARELA, 2005).

Com relação às alterações no acoplamento entre informação visual e oscilação corporal, um dos primeiros pontos a ser discutido é com relação às evidências de *reweighting* em crianças. Com o aumento da amplitude/velocidade da sala, tanto as crianças quanto os adultos reduziram as respostas posturais correspondentes ao estímulo visual, apresentando menores valores de ganho nesta condição. Além disto, o relacionamento temporal foi mantido constante em todas as tentativas (exceção das crianças mais novas). Levando em consideração que em sistemas lineares, o ganho das respostas posturais não depende da amplitude do estímulo, qualquer mudança observada no valor de ganho nestas condições pode indicar não-linearidade no funcionamento deste sistema (CARVER; KIEMEL; JEKA, 2006).

Sendo assim, os resultados acima estão condizentes com as propostas de modelos não-lineares de controle postural que predizem a dependência da amplitude das respostas posturais em função de mudanças na amplitude do estímulo sensorial (VAN DER KOOIJ; ET AL., 2001; CARVER; ET AL., 2005; CARVER; KIEMEL; JEKA, 2006). Estas propostas têm sido utilizadas para modelar o sistema de controle postural de adultos baseando suas premissas em resultados recentes que indicam que o ganho das respostas posturais de adultos diminui em função do aumento da amplitude do estímulo sensorial quando a frequência deste estímulo é mantida constante (PETERKA, 2002; OIE; KIEMEL; JEKA, 2002; OIE; ET AL., 2005). Em adição, Carver, Kiemel, van der Kooij e Jeka (2005) sugeriram que o relacionamento



temporal das respostas posturais não acompanha as alterações nos valores de ganho, mantendo-se constante com as mudanças na amplitude do estímulo. Novamente, os resultados do presente estudo, corroboram as predições deste modelo.

Neste caso, se o sistema de controle postural de crianças se comportasse de maneira linear, qualquer aumento na amplitude do estímulo visual nestas condições deveria provocar aumento nas respostas correspondentes a este estímulo, ou seja, aumento na amplitude de oscilação (CARVER; KIEMEL; JEKA, 2006). Entretanto, o comportamento observado no presente estudo foi o desacoplamento à informação visual o que parece indicar que o sistema diminuiu a utilização desta informação (*downweighting visual*) a fim de manter a postura nesta condição, mantendo ainda um relacionamento temporal constante ao longo das tentativas. Desta forma, estes resultados sugerem que, assim como em adultos (PETERKA, 2002; OIE; KIEMEL; JEKA, 2002; OIE; ET. AL, 2005), o sistema de controle postural de crianças, também, apresenta características não-lineares de funcionamento demonstrando a capacidade de alterar a utilização de fontes sensoriais quando as mesmas não fornecem informações precisas de posição e velocidade corporal para a manutenção da postura.

Contudo, embora as crianças tão jovens quanto 4 anos apresentem a capacidade de adaptativamente definir a importância das informações sensoriais frente às mudanças no ambiente, as mesmas parecem não ser totalmente calibradas ao nível dos adultos uma vez que elas não conseguiram reduzir a influência do estímulo visual, tanto quanto os adultos, na tentativa de alta amplitude/velocidade. Somente a partir dos 12 anos, as crianças foram capazes de seletivamente reduzir a utilização da informação visual, na mesma magnitude observada para os adultos. É importante ressaltar que todos os participantes estavam

igualmente acoplados ao estímulo visual nas três primeiras tentativas de baixa amplitude/velocidade da sala demonstrando valores de ganho similares, o que deixa os resultados acima ainda mais interessantes.

Ao contrário do presente estudo, Godoi e Barela (SUBMETIDO, GODOI, 2004) verificaram acoplamentos mais fracos entre informação visual e oscilação corporal nas faixas etárias de 4 a 8 anos em comparação com adultos. Neste estudo, os autores manipularam tanto as frequências do estímulo visual quanto as distâncias do participante em relação ao alvo posicionado na parede frontal de uma sala móvel. Embora, estes resultados pareçam contraditórios, ao observar, os valores de ganho obtidos na mesma distância do participante ao alvo (100 cm), com a mesma frequência do estímulo visual (0,2 Hz) e na baixa amplitude (0,5 cm) de movimento da sala, em média, os resultados de Godoi e Barela (SUBMETIDO, GODOI, 2004) para a faixa etária em questão (4 e 8 anos) são similares aos do presente estudo. Sendo assim, os diferentes acoplamentos encontrados neste estudo podem ser decorrentes da manipulação da frequência do estímulo visual e as distâncias do participante ao alvo, reafirmando a sugestão de que mudanças no funcionamento do sistema de controle postural são dependentes do contexto (HORAK; MACPHERSON, 1996; GODOI; BARELA, SUBMETIDO, GODOI, 2004; BONFIM, POLASTRI; BARELA, 2006).

Além desta constatação, um dos aspectos mais importantes do estudo de Godoi e Barela (SUBMETIDO, GODOI, 2004) foi a indicação de que crianças até por volta dos 10 anos não foram capazes de alterar suas respostas posturais frente às alterações nos parâmetros do estímulo visual e que somente a partir dos 12 anos, o sistema de controle postural exibiu funcionamento flexível de modo a se adaptar às alterações das informações disponíveis no

---

ambiente (GODOI; BARELA, SUBMETIDO, GODOI, 2004). Com base nestes resultados, estes autores sugeriram que as crianças mais novas teriam dificuldade de discriminar as informações sensoriais mais relevantes para a realização da tarefa enquanto que as crianças mais velhas e os adultos seriam capazes de precisamente reorganizar a influência das diversas fontes sensoriais disponíveis (GODOI; BARELA, SUBMETIDO, GODOI, 2004), apresentando comportamentos mais adaptativos e/ou flexíveis.

Schmuckler (1997), também, observou respostas posturais menos eficientes das crianças com idades entre 3 e 6 anos, frente à manipulação de diferentes frequências do estímulo visual. Os resultados deste estudo indicaram que estas crianças foram capazes de modelar suas respostas posturais quando a frequência do estímulo visual foi aumentada ou diminuída após a metade da tentativa. Contudo, elas não apresentaram oscilações corporais totalmente correspondentes à segunda frequência do estímulo apresentado (SCHMUCKLER, 1997), o que demonstra a capacidade de adaptação do controle postural nestas crianças.

Em adição, Polastri, Bonfim e Barela (2005) verificaram que crianças de 8 anos de idade diminuíram a influência do estímulo visual proveniente dos movimentos de uma sala móvel sobre as oscilações corporais quando tocaram o dedo suavemente sobre uma barra estacionária. De maneira geral, o que ocorre nesta situação é uma forte influência da informação visual sobre a oscilação corporal que é reduzida quando informação somatossensorial adicional é fornecida. Novamente, entretanto, as crianças apresentaram acoplamentos mais fortes entre informação visual e oscilação corporal quando comparadas aos adultos mesmo com o toque na barra (POLASTRI; BONFIM; BARELA, 2005; BONFIM; POLASTRI; BARELA, 2006). Os autores sugeriram que, nas situações de toque suave, as crianças não conseguiram ignorar as informações visuais disponíveis e utilizar

adequadamente a informação somatossensorial obtendo estimativas mais precisas sobre a posição corporal provenientes deste estímulo.

De maneira geral, os resultados do presente estudo suportam as explicações sugeridas pelos estudos mencionados anteriormente, indicando que as crianças respondem adaptativamente às constantes mudanças nas informações sensoriais diminuindo a utilização de informações imprecisas, contudo, respostas mais eficientes parecem ser decorrentes de mudanças nos processos adaptativos (*reweighting*) que norteiam o funcionamento do sistema de controle postural. Os resultados indicaram que estes processos parecem não ser tão bem desenvolvidos em crianças de 4 e 8 anos, sendo observado de maneira eficiente apenas a partir dos 12 anos de idade.

Com relação à estabilidade temporal do acoplamento entre informação visual e oscilação corporal, os resultados indicaram que tanto as crianças quanto os adultos apresentaram oscilações corporais temporalmente próximas à frequência do estímulo visual em todas as tentativas demonstrando valores de fase próximos à zero. Vários estudos têm indicado relacionamentos temporais próximos à frequência de estímulo sensorial quando o mesmo é manipulado na frequência de 0,2 Hz tanto com relação ao estímulo visual (e.g. POLASTRI GODOI; BARELA, 2002; FREITAS JÚNIOR; BARELA, 2004; GODOI; BARELA, SUBMETIDO) quanto ao estímulo somatossensorial (e.g. JEKA, ET AL., 1998; BARELA; JEKA; CLARK, 2003; BOMFIM, POLASTRI, BARELA, 2006). Entretanto, apenas recentemente, resultados similares aos encontrados no presente estudo têm sido observados tanto em adultos (OIE; KIEMEL; JEKA, 2002) quanto em idosos (ALLISON; KIEMEL; JEKA, 2006; JEKA ET AL., 2006) em função das alterações na amplitude do estímulo de uma ou mais fontes sensoriais (visuais e somatossensoriais).

Embora, a estabilidade temporal neste relacionamento tenha se mantido constante mesmo com o aumento da amplitude/velocidade do estímulo visual, as crianças de 4 anos apresentaram-se ligeiramente à frente deste estímulo enquanto que as crianças de 8 e 12 anos mantiveram valores de fase ao redor de zero. Já os adultos mostraram pequenos atrasos temporais com relação ao estímulo visual. Estas diferenças não haviam sido observadas no sistema de controle postural de crianças com o estímulo visual sendo manipulado na frequência de 0,2 Hz (GODOI, 2004; POLASTRI; BONFIM; BARELA, 2005). Desta forma, os fatores que levaram às estas diferenças são desconhecidos e precisam ser melhor investigados.

É possível apenas especular que as diferenças no relacionamento temporal de crianças de 4 anos podem ter levado estas crianças a apresentarem acoplamentos mais fortes na tentativa de alta amplitude/velocidade do estímulo visual. No entanto, esta sugestão não parece convincente tendo em vista que crianças de 8 anos apresentaram valores de fase similares a crianças de 12 anos e, mesmo assim, foram mais influenciadas pelo estímulo visual nestas tentativas em comparação com as crianças mais velhas que por sua vez, apresentaram relacionamentos temporais diferentes de adultos jovens, mas conseguiram responder igualmente à influência do estímulo visual na tentativa de alta amplitude/velocidade.

Diferenças no relacionamento temporal também foram encontradas por Allison, Kiemel e Jeka (2006) em idosos. Estes autores induziram as oscilações corporais de idosos e adultos jovens submetendo-os à manipulação das amplitudes dos estímulos visual e somatossensorial. Os participantes apresentaram valores de fase ao redor de zero, contudo, os idosos apresentaram relacionamento temporal à frente do estímulo visual em

---

comparação com adultos jovens que mostraram este relacionamento próximo a zero ou com pequenos atrasos temporais. Os autores sugeriram que estes resultados poderiam ser explicados pelo aumento da rigidez (*stiffness*) do sistema de controle postural de idosos, o que poderia ter feito com que as oscilações corporais se mantivessem à frente do estímulo visual (ALLISON; KIEMEL; JEKA, 2006).

Apesar desta explicação, os fatores que levaram às mudanças no relacionamento temporal em idosos podem não ser os mesmos que provocaram estas diferenças em crianças. Desta forma, maiores investigações sobre as possíveis causas para as alterações no relacionamento temporal entre informação visual e oscilação corporal em crianças devem ser realizadas uma vez que estes resultados não tinham sido anteriormente verificados na literatura.

Os resultados de variabilidade de oscilação corporal mostraram claras mudanças com o aumento da idade, principalmente, no componente de velocidade de oscilação. As crianças de 4 anos apresentaram variabilidade maior do que os demais grupos, indicando que elas estiveram oscilando em frequências diferentes da frequência do estímulo visual (0,2 Hz) em todas as tentativas, o que pode estar relacionado ao fato delas estarem oscilando temporalmente à frente do estímulo visual como discutido anteriormente. Particularmente, na tentativa de alta amplitude/velocidade da sala, todos os grupos aumentaram a variabilidade de suas respostas. No entanto, em todas as tentativas esta variabilidade diminuiu com o aumento da idade. Outros estudos já haviam verificado maior variabilidade no sistema de controle postural de crianças (e.g. GODOI; BARELA, SUBMETIDO; GODOI, 2004; BARELA; JEKA; CLARK, 2003) juntamente com diferenças no acoplamento sensorio-motor.

Esta maior variabilidade em crianças mais novas indica que mesmo tendo suas respostas acopladas à frequência do estímulo visual, ainda assim, elas apresentam interferência de outros fatores – sensoriais ou mecânicos, que também produzem oscilação corporal em frequências diferentes daquelas do estímulo sensorial manipulado. Talvez esta interferência em frequências diferentes daquela do estímulo sensorial disponibilizado com maior ênfase, pode ter contribuído para que elas não conseguissem detectar adequadamente as mudanças no estímulo visual, no momento de alteração da amplitude/velocidade, de modo a diminuir (*downweight*) a influência desta informação sobre suas oscilações corporais. Sendo assim, menor variabilidade no acoplamento entre informação visual e oscilação corporal pode ser crucial para detectar e adaptativamente reorganizar as influências das informações sensoriais que não são úteis para controlar a postura.

Por outro lado, o aumento desta variabilidade na tentativa de alta amplitude/velocidade para todos os grupos parece ter sido necessária, podendo indicar uma tentativa dos participantes de ignorar ou de minimizar as respostas posturais na frequência do estímulo, aumentando estas respostas em outras frequências, a fim de diminuir a utilização da informação visual alterada (CARVER; KIEMEL; JEKA, 2006; ALLISON; KIEMEL; JEKA, 2006; JEKA ET AL., 2006). Responder a um estímulo que apresenta grandes alterações, especialmente, altas amplitudes e/ou velocidades e que não traz informações confiáveis sobre a orientação corporal, não é funcional para o sistema de controle postural podendo desequilibrá-lo com maior facilidade e levar, algumas vezes, até à quedas (VAN DER KOOIJ; ET AL., 2001; CARVER; ET. AL., 2005; CARVER; KIEMEL; JEKA, 2006). Este parece ter sido o caso das crianças com idade entre 13 e 16 meses do estudo de Lee e Aronson (1974). Neste estudo, a amplitude de movimento da sala utilizada para manipular o estímulo visual foi

abruptamente aumentada levando estas crianças a apresentarem inclusive quedas. Interessantemente, Lee e Aronson (1974), também, observaram que as crianças demonstraram grande variabilidade em suas respostas.

Sendo assim, de maneira geral, estes resultados sugerem que, em primeiro lugar, a variabilidade no acoplamento entre informação visual e oscilação corporal, observada em crianças mais novas, durante as tentativas de baixa amplitude/velocidade do estímulo visual, parece estar relacionada à dificuldade destas crianças na identificação precisa da importância de diversas fontes sensoriais em situações de constante mudança no ambiente prejudicando, desta forma, um funcionamento eficiente do sistema de controle postural.

Barela, Jeka e Clark (2003) sugeriram que uma das fontes de ruído responsáveis pela maior variabilidade encontrada no acoplamento entre informação somatossensorial e oscilação corporal de crianças quando comparadas aos adultos, pode ser decorrente de alterações dos processos de *reweighting* no sistema de controle postural de crianças. Neste sentido, redução da variabilidade de oscilação corporal ao longo dos anos, parece indicar que as crianças aprendem como selecionar dinamicamente a utilização de diversas fontes sensoriais disponíveis no ambiente uma vez que elas apresentam acoplamentos mais flexíveis.

Embora pareça contraditório, é preciso lembrar que, em situações de mudanças abruptas das informações sensoriais, desacoplar rapidamente ao estímulo sensorial alterado refletiu em um aumento ainda maior da variabilidade das oscilações corporais, o que por sua vez indica reorganização das informações sensoriais disponíveis (ALLISON; KIEMEL; JEKA, 2006; JEKA ET AL., 2006). Sendo assim, a partir dos resultados do presente estudo, pode-se sugerir que os processos de *reweighting* das informações parecem estar



relacionados diretamente ao aumento na variabilidade das oscilações corporais tanto em adultos quanto em crianças. Mais ainda, diminuição desta variabilidade, ao longo dos anos, pode estar relacionada a um funcionamento do sistema de controle postural mais eficiente frente às constantes alterações dos estímulos sensoriais em um ambiente em constante mudança. Para suportar esta afirmação, pode-se observar que crianças apresentaram maior instabilidade no acoplamento sensório-motor nas condições de baixa amplitude/velocidade da sala. Além disto, elas demonstraram dificuldade em minimizar a influência da informação visual na condição de alta amplitude/velocidade mantendo acoplamentos mais fortes com o estímulo visual. Em ambos os casos, comportamentos mais eficientes foram verificados em função de menor variabilidade de oscilação.

#### **4.4.3. Alterações no Funcionamento do Sistema de Controle Postural**

Quando os movimentos da sala foram alterados de alta para baixa amplitude/velocidade, os resultados mostraram que as crianças de 4 anos de idade retornaram rapidamente ao acoplamento observado nas primeiras tentativas (*upweight*). Já crianças de 8 anos também demonstram acoplamento ao estímulo visual similar às tentativas anteriores, contudo, este retorno foi mais lento, somente ocorrendo após a sexta tentativa. Em compensação, crianças de 12 anos se comportaram como adultos, apresentando acoplamento menor do que os verificados nas primeiras tentativas mesmo que as características do estímulo visual tenham sido as mesmas (baixa amplitude/velocidade).

Estes resultados sugerem que crianças por volta de 12 anos de idade já apresentam a capacidade de responder às demandas do ambiente com base em comportamentos anteriores que envolveram *reweighting* das informações sensoriais. Além de demonstrarem

funcionamento adaptativo do sistema de controle postural, frente ao aumento da amplitude/velocidade do estímulo visual, estas crianças conseguiram utilizar esta nova organização sensorial (diferente influência) para definir suas ações futuras assim como fazem os adultos. Em outras palavras, o sistema de controle postural diminuiu o acoplamento entre informação visual e oscilação corporal para se preparar para novas alterações no estímulo visual baseando-se no fato de que sua influência teve que ser minimizada para evitar instabilidade no controle da postura. Desta forma, a dinâmica intrínseca do sistema de controle postural foi alterada, mesmo em crianças de 12 anos de idade, para compensar as constantes mudanças nos estímulos sensoriais. Se esta dinâmica é alterada momentânea ou permanentemente, ou se ela se transfere para outras situações, são questões que, ainda, precisam ser investigadas.

Oie, Kiemel, Barela e Jeka (2005) verificaram que quando a amplitude do estímulo visual foi alterada de alta para baixa, adultos jovens aumentaram a influência do estímulo visual em suas oscilações corporais, retornando lentamente ao acoplamento verificado em situações similares de baixa amplitude deste estímulo. A explicação sugerida por Carver, Kiemel e Jeka (2006) foi que uma vez que as características deste estímulo não oferecem qualquer prejuízo para a estabilidade corporal, o sistema de controle postural aumenta lentamente a influência da informação visual para se tornar mais confiante de que não ocorrerão novas alterações abruptas neste estímulo (CARVER; KIEMEL; JEKA, 2006). Contudo, os resultados do presente estudo não indicaram qualquer retorno ao comportamento observado antes do aumento da amplitude/velocidade da sala. Uma das possíveis razões para as diferenças entre os resultados do presente estudo e do estudo anterior pode estar relacionada à situação experimental a qual os participantes foram

---

submetidos. No presente estudo, as alterações no estímulo visual foram realizadas entre as tentativas enquanto que no estudo de Oie, Kiemel, Barela e Jeka (2005), estas alterações foram realizadas continuamente, dentro da mesma tentativa.

Finalmente, com relação aos resultados obtidos pelas crianças de 4 anos, independente da direção de variação da amplitude (baixa para alta ou alta para baixa), estas crianças responderam rapidamente às alterações do estímulo visual. Os acoplamentos mais fortes e variáveis, demonstrados por estas crianças na tentativa de alta amplitude/velocidade, podem ter contribuído para que elas não apresentassem comportamentos tão eficientes como o de crianças mais velhas e adultos nas tentativas posteriores. Isto pode ter ocorrido porque elas tiveram dificuldade de balancear adequadamente a importância das informações sensoriais que poderiam fornecer estimativas precisas sobre a manutenção da postura. Sendo assim, em um sistema altamente variável qualquer informação que se sobressai as demais e não prejudica a estabilidade postural parece ser prontamente utilizada por este sistema.

Já crianças de 8 anos, em geral, demonstraram ser menos variáveis no relacionamento entre informação visual e oscilação corporal, apesar do forte acoplamento na tentativa de alta amplitude/velocidade. Esta menor variabilidade pode ter contribuído para que elas aumentassem lentamente a influência do estímulo visual por atribuir maior importância a outras fontes de informação sensorial (somatossensorial e vestibular) em detrimento da informação visual minimizada. Desta forma, como sugerido anteriormente, diminuição na variabilidade ao longo dos anos pode melhorar o funcionamento adaptativo do sistema de controle postural.

---

Por fim, alguns estudos têm apontado que a aquisição de acoplamentos flexíveis e estáveis entre informação sensorial e oscilação corporal tanto em bebês (BERTENTHAL; BAI, 1989; BARELA; POLASTRI; FREITAS JÚNIOR; GODOI, 2000) quanto em crianças (SCHMUCKLER, 1997) pode ser observada quando os mesmos são expostos repetidamente aos estímulos sensoriais indicando o importante papel da experiência no funcionamento do sistema de controle postural. Crianças parecem necessitar de mais tempo para ajustar constantemente os parâmetros de funcionamento do sistema de controle postural às contínuas mudanças nas informações sensoriais disponíveis no ambiente de modo a discriminar e utilizar dentre todas, aquelas mais importantes para o funcionamento adaptativo deste sistema. Levando em consideração os resultados do presente estudo e dos estudos anteriores, pode-se especular, então, que exposição prolongada ao estímulo visual poderia compensar as deficiências, observadas nas crianças mais novas, em repesar as informações sensoriais. Entretanto, esta é uma questão em aberto e deve ser melhor explorada.

Em síntese, contínuas modificações no acoplamento entre informação sensorial e oscilação corporal podem indicar flexibilidade no sistema de controle postural. Os resultados do presente estudo apontaram que crianças tão novas quanto 4 anos de idade apresentam a capacidade de rapidamente diminuir a influência do estímulo visual. Contudo, tanto as crianças de 4 quanto as de 8 anos apresentaram acoplamentos mais fortes e mais variáveis entre informação visual e oscilação corporal, indicando que o sistema de controle postural não demonstra funcionamento adaptativo tão bem desenvolvido quanto em crianças de 12 anos e adultos. Portanto, pode-se sugerir que em um ambiente que muda constantemente, demonstrar tal comportamento adaptativo pode ser crucial para

desenvolver acoplamentos flexíveis e estáveis entre informação sensorial e oscilação corporal.

## CAPÍTULO 5.

### ADAPTAÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE POSTURAL DE ADULTOS

#### FRENTE À MANIPULAÇÃO MULTISENSORIAL

##### RESUMO

As respostas posturais de 22 adultos jovens, frente às manipulações dos estímulos, visual e proprioceptivo do tornozelo, foram, simultaneamente, investigadas. Os participantes permaneceram sobre a plataforma que foi oscilada nas amplitudes de: 0,3 e 1,5 graus. A cena visual foi mantida em 0,08 graus. Duas condições foram realizadas: baixa/alta amplitude e alta/baixa amplitude da plataforma. Ganho, fase e variabilidade de posição e velocidade foram analisados. Os resultados indicaram que as respostas correspondentes ao movimento da plataforma, diminuíram, rapidamente, na alta amplitude da plataforma. Estas respostas aumentaram para o estímulo visual indicando *reweighting* simultâneo entre as duas modalidades sensoriais. Contudo, as respostas correspondentes aos movimentos da plataforma foram, lentamente, aumentadas e não diminuíram para o estímulo visual, quando a plataforma foi oscilada em baixa amplitude. Variabilidade de oscilação corporal foi menor quando a plataforma foi oscilada em baixa amplitude. Estes resultados podem indicar funcionalidade nas respostas posturais frente às alterações nas características dos estímulos sensoriais.

Palavras-chave: controle postural, informação visual, informação proprioceptiva, *reweighting*, adultos.

## 5.1. INTRODUÇÃO

Vários estudos têm identificado que o sistema de controle postural de adultos altera os seus parâmetros de funcionamento para se acoplar coerentemente às alterações nos parâmetros do estímulo sensorial (por exemplo, DIJKSTRA ET AL., 1994; JEKA ET AL., 1997; JEKA ET AL., 1998; SCHÖNER; DIJKSTRA; JEKA, 1998; BARELA ET AL., EM PREPARAÇÃO). Contudo, ainda não está clara, qual a natureza dos diferentes parâmetros do estímulo que são passíveis de alterar esta dinâmica intrínseca.

Embora comportamentos adaptativos, decorrentes da tentativa de se ajustar às alterações nas informações ambientais, sejam observados no funcionamento do sistema de controle postural de adultos, estas alterações parecem ser dependentes de vários aspectos como a magnitude do estímulo visual (SCHÖNER; DIJKSTRA; JEKA, 1998; POLASTRI; GODOI; BARELA, 2002; BARELA ET AL., EM PREPARAÇÃO) e conhecimento prévio sobre as alterações neste estímulo (HORAK; DIENER; NASHNER, 1989; GUERRAZ ET AL., 2001; FREITAS JÚNIOR; BARELA, 2004; PEROTTI JÚNIOR ET AL., 2005).

Alterações significativas no comportamento do sistema de controle postural têm sido observadas quando um indivíduo é submetido à situação de sala móvel visual ou somatossensorial e percebe explicitamente o estímulo móvel, ou seja, consegue verbalizar este estímulo (por exemplo, que as paredes da sala móvel ou uma barra de toque estão se movendo) (SCHÖNER; DIJKSTRA; JEKA, 1998; FREITAS JÚNIOR; BARELA, 2004; POLASTRI; BARELA; BARELA, 2001). Schöner, Dijkstra e Jeka, (1998), em estudo piloto, solicitaram que adultos na posição em pé tocassem uma barra de toque que foi movimentada em diferentes amplitudes (3 mm a 22 mm) com frequência constante de 0,2 Hz. Os resultados

mostraram que o movimento da cabeça dos participantes foi fortemente influenciado pelo movimento da barra quando a mesma foi movimentada em amplitudes abaixo dos 10 mm sendo que nestas amplitudes, o movimento da barra foi interpretado pelo participante como auto-movimento. Já em amplitudes acima destas, o movimento da barra foi claramente interpretado como movimento externo ao participante o que refletiu em uma menor influência do movimento da barra sobre a oscilação da cabeça do participante. A partir destes resultados, os autores sugeriram que nestas situações, o sistema de controle postural pode estar atuando em dois modos diferentes, sendo que quando o sistema percebe o estímulo sensorial como auto-movimento acopla coerentemente ao mesmo, contudo, quando este estímulo é percebido como movimento externo ao corpo (movimento do objeto), o sistema deixa de demonstrar comportamentos adaptativos tão coerentes à este estímulo.

Os resultados dos estudos de Freitas Júnior & Barela (2004) e Polastri, Godoi e Barela (2002) corroboram esta idéia. Em ambos os estudos, adultos foram submetidos a movimentos da sala com amplitude de 0,5 cm e velocidade de 0,6 cm/s. Indivíduos que sabiam previamente do movimento da sala apresentaram fracos acoplamentos entre os movimentos da sala e suas oscilações corporais enquanto que indivíduos que não sabiam que a sala movimentava apresentaram oscilações corporais fortemente acopladas aos movimentos da sala (FREITAS JÚNIOR; BARELA, 2004). É interessante notar, ainda, que no caso de adultos que não tinham o conhecimento sobre os movimentos da sala, mesmo exposição a estes parâmetros do estímulo visual, ao longo de sete dias, provocou diminuição no forte acoplamento entre os movimentos da sala e as oscilações corporais (POLASTRI; GODOI; BARELA, 2002).



Portanto, a partir destes resultados, parece que o sistema de controle postural de adultos é capaz de apresentar comportamentos adaptativos às alterações nos parâmetros dos estímulos sensoriais e, ainda, que mudanças significativas no modo de atuação deste sistema, em situações de conflito sensorial, como no caso da sala móvel, parecem ocorrer somente quando o mesmo percebe alterações explícitas nos parâmetros do estímulo. Entretanto, resultados de estudos recentes deixam claro que este não é um fenômeno fácil de ser entendido e que, ainda, merece muita atenção.

Recentemente, Barela, Polastri, Godoi, Weigelt e Jeka (em preparação) observaram que grandes mudanças na amplitude do estímulo visual podem alterar o funcionamento do sistema de controle postural de adultos. Estes autores submeteram os participantes à diferentes amplitudes do estímulo visual e verificaram que quando exposto à uma tentativa de alta amplitude deste estímulo, os mesmos diminuíram as respostas correspondentes ao mesmo. Ainda, os resultados mais surpreendentes foram aqueles observados após esta exposição, os participantes, mesmo sem conhecimento prévio sobre o movimento da sala, não apresentaram respostas similares aquelas que tinham sido observadas, anteriores ao aumento da amplitude do estímulo visual. Sendo assim, o funcionamento do sistema de controle postural parece ser alterado dinamicamente em função das propriedades dos estímulos. Mais ainda, esta alteração parece ocorrer sem conhecimento cognitivo explícito do participante. Neste caso, o sistema de controle postural parece ser capaz de extrair tal informação e utilizá-la em situações futuras.

Oie, Kiemel, Barela e Jeka (2005) observaram resultados divergentes com relação à utilização futura destas informações. Neste estudo, ao invés de submeterem participantes às alterações da amplitude do estímulo visual em diferentes tentativas, estes autores

aumentaram e diminuíram a amplitude do estímulo visual ao longo de uma mesma tentativa. Eles verificaram que o acoplamento entre informação visual e oscilação corporal diminuiu com o aumento da amplitude do estímulo visual, porém, retornou ao nível anterior quando a amplitude deste estímulo foi diminuída. É interessante destacar, que este estudo verificou assimetria temporal nas respostas ao estímulo visual. Isto significa que as respostas posturais diminuíram mais rapidamente na alta amplitude do estímulo visual do que aumentaram quando a amplitude foi reduzida.

Os processos que levam às alterações no acoplamento entre informação sensorial e oscilação corporal frente às alterações na amplitude dos estímulos sensoriais têm sido investigados (OIE, KIEMEL, JEKA, 2002; OIE ET AL., 2005; ALLISON; KIEMEL; JEKA, 2006) e, recentemente, modelados (CARVER ET AL., 2005; CARVER; KIEMEL; JEKA, 2006). Entretanto, as evidências destes processos, apontadas acima, têm sido observadas em apenas um canal sensorial, ou seja, intra-modalidade sensorial. Pouco se sabe, ainda, como o sistema de controle postural altera a influência das informações sensoriais, simultaneamente, e se seria possível, também, observar assimetria temporal nas respostas posturais entre duas modalidades sensoriais, ou seja, inter-modalidade sensorial.

Levando em consideração todos estes resultados, ainda não é possível entender como ocorrem os processos adaptativos no funcionamento de controle postural frente às alterações nos parâmetros dos estímulos sensoriais. Qual será a natureza das propriedades dinâmicas observadas no funcionamento adaptativo do sistema de controle postural de adultos? Alterações dinâmicas na utilização das informações sensoriais poderiam ocorrer simultaneamente? Se sim, assimetria temporal nas respostas posturais poderiam ser observadas em diferentes modalidades sensoriais simultaneamente. As respostas a estas

perguntas poderiam levar ao entendimento de como estes processos adaptativos ocorrem e qual seria a natureza destes processos entre as modalidades sensoriais.

Sendo assim, o objetivo deste estudo foi investigar os processos adaptativos no sistema de controle postural de adultos frente à manipulação simultânea de dois estímulos sensoriais. Especificamente, este estudo buscou: 1) comparar o acoplamento entre informação proprioceptiva do tornozelo e oscilação corporal frente às alterações na amplitude do estímulo proprioceptivo (intra-modalidade); 2) comparar, simultaneamente, o acoplamento entre informação visual e oscilação corporal frente às alterações na amplitude do estímulo proprioceptivo (inter-modalidade sensorial); e 3) comparar o acoplamento entre informação visual e oscilação corporal e o acoplamento entre informação proprioceptiva do tornozelo (inter-modalidade sensorial) e oscilação corporal, ao longo do tempo.

## **5.2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **5.2.1. Participantes**

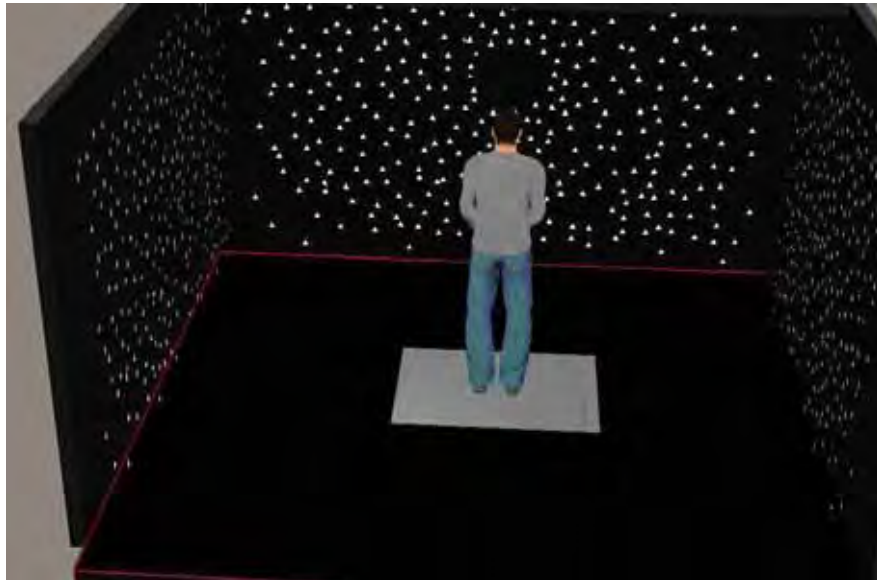
Participaram deste estudo 22 adultos jovens, estudantes da Universidade de Maryland (College Park – US), com idades entre 19 e 28 anos (média: 21,9 anos,  $\pm 2,84$ ) sendo 11 mulheres e 11 homens. Nenhum estudante reportou qualquer problema neurológico ou muscular que pudesse afetar sua habilidade para manter o equilíbrio e apresentavam visão normal ou corrigida durante todo o teste. Após terem sido informados sobre os procedimentos experimentais, eles assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido aprovado pelo Comitê de Ética da Universidade de Maryland (UMD/College Park-US).

### 5.2.2. Procedimentos

Os participantes foram solicitados a ficar em pé sobre uma plataforma móvel dentro de uma “sala móvel”, denominada de “caverna” (*CAVE*). Este aparato visual foi constituído de três telas translúcidas, formando “paredes” de 2,5 metros de altura x 2 metros de largura (Automatic Virtual Environment - Fakespace, Inc, Marshalltown, Iowa, USA) dispostas uma à frente, uma à direita e outra à esquerda dos participantes. Os sujeitos foram posicionados no meio desta sala e permaneceram aproximadamente a 1 metro da tela frontal e 1,5 metros das telas da direita e da esquerda, olhando para a parede da frente. Três projetores JVC (Modelo: DLA-M15U, Victor Company of Japan, Japan) foram usados para projetar um padrão randômico de triângulos brancos (3,4 x 3,4 x 3 cm) em três espelhos posicionados lateralmente e atrás de cada tela de forma que a imagem projetada em cada um destes espelhos fosse refletida nas respectivas telas da sala virtual. Assim, em cada tela, quinhentos pequenos triângulos foram projetados com uma resolução de 1,024 x 768 pixels e uma frequência de 60 Hz.

Para evitar ou suprimir a visibilidade de efeitos de alisamento previamente noticiados na região foveal do olho (DIJKSTRA, ET AL, 1994), nenhum triângulo foi mostrado na parede frontal desta sala, em uma faixa de  $\pm$  cinco graus na horizontal e vertical em relação à altura do olho dos participantes. Os participantes foram solicitados a permanecer focalizando o olhar nesta faixa preta durante todas as tentativas. Todo este aparato foi controlado por uma central de computadores (Intergraph, Inc) usando programas específicos (CaveLib – Fakespace, Inc) para gerar a cena visual (triângulos) escrita em linguagem C++ (OpenGL Libraries, 6.0 Microsoft Visual C++, Inc). Este sistema criou um ambiente visual e uma sensação de movimento das paredes desta sala que foi utilizado para

manipular o estímulo visual e induzir oscilações corporais dos participantes, invariavelmente, ao redor da articulação do tornozelo. Os movimentos da cena visual foram realizados em uma amplitude de 0,08 graus e em uma frequência constante de 0,35 Hz. A Figura 16 ilustra a situação experimental com os triângulos projetados nas telas frontal e lateral e um indivíduo posicionado sobre a plataforma móvel.



**Figura 16.** Desenho ilustrativo da situação experimental com um indivíduo sobre a plataforma móvel e os triângulos projetados nas telas frontais e laterais da sala virtual.

Além da sala virtual, uma plataforma móvel (40 cm x 60 cm, largura e comprimento, respectivamente) foi usada para fornecer uma perturbação sensório-mecânica no corpo dos participantes e, desta forma, manipular a informação proprioceptiva proveniente do tornozelo dos mesmos durante a manutenção da posição em pé. O

movimento desta plataforma foi controlado por um sistema de servo-mecanismo constituído de um controlador (Compumotor - GV6K-U12E G), um servo-motor (Compumotor – BE343LJ-K10NBE) e um cilindro de um eixo conectado a uma estrutura mecânica que possibilitava a rotação da plataforma para cima e para baixo a partir das rotações de um pivô acoplado à esta estrutura. Este sistema foi controlado por programas específicos (Compumotor - Motion Architect) que possibilitaram as rotações da plataforma em diferentes amplitudes.

A Figura 17 apresenta fotos do posicionamento de um participante na posição adotada na situação experimental, com destaque para o posicionamento dos pés sobre a plataforma móvel.

a)



b)



**Figura 17.** Foto da situação experimental, vista de cima e anteriormente (a) e posteriormente (b), com um participante posicionado na plataforma, com pés distantes 6,5 cm e maléolos mediais coincidindo com o eixo de rotação da plataforma.

Os participantes foram solicitados a posicionar os pés no meio da plataforma com aproximadamente 6,5 cm de distância entre eles. O maléolo medial do tornozelo dos mesmos coincidiu com o eixo de rotação da plataforma. Conseqüentemente, quando a plataforma foi oscilada, a rotação causou variação da posição articular do tornozelo dos participantes, provocando instabilidade corporal para frente e para trás. A plataforma móvel foi movimentada nas amplitudes de 0,3 e 1,5 graus e freqüência constante de 0,4 Hz.

Por meio do software Labview, tanto os movimentos provenientes da cena visual quanto os da plataforma móvel foram sincronizados a fim de que a manipulação dos estímulos sensoriais ocorresse e que os estímulos, manipulação da visão e da posição articular do tornozelo, fossem disponibilizados simultaneamente para os participantes.

Para obter informações sobre a oscilação corporal dos participantes bem como os movimentos da plataforma móvel nas direções ântero-posterior, médio-lateral e vertical foi utilizado o sistema de análise de movimento OPTOTRAK (Northern Digital, Inc). Este sistema possibilitou a captura de sinais provenientes de dez emissores infravermelhos sem a utilização de cabos (Tetherless, NDI). Quatro emissores foram afixados em marcos anatômicos do lado direito dos participantes sendo: no tornozelo (maléolo lateral), no joelho (epicôndilo lateral), no quadril (trocânter maior) e no ombro (processo acrômio). Outros três emissores foram afixados na cabeça, formando um triângulo, sendo a base deste triângulo afixado na região occipital da cabeça por meio de uma faixa elástica. Finalmente, os três últimos emissores foram afixados na superfície da plataforma móvel, sendo dois emissores na extremidade esquerda (frente e atrás) e um na extremidade direita (frente). A freqüência de coleta destes emissores foi de 120 Hz.

Ainda, atividade eletromiográfica de sete músculos posturais foi registrada por meio de um sistema de telemetria de oito canais EMG (Telemetry 900, Noraxon), também, do lado direito dos participantes. Este sistema foi constituído de uma unidade transmissora (IWC-Telemetry-T), uma antena (Antenex, Y8963, Noraxon, Inc.) e um receptor (IWC-Telemetry-R). O receptor capturou, por meio de ondas de rádio, os sinais provenientes da unidade transmissora que foi afixada no cinto do participante. Esta unidade foi conectada, por meio de cabos, a eletrodos afixados nos músculos dos indivíduos e, desta forma, forneceu sinais amplificados da ativação destes músculos. Estes dados foram armazenados utilizando uma unidade de dados analógicos (ODAU), acessório do sistema OPTOTRAK, descrito anteriormente.

Os músculos registrados por este sistema foram: gastrocnêmio lateral, soleus, tibial anterior, bíceps femoral, rectus femoral, rectus abdominal, eretor espinhal (porção da coluna lombar) e extensores do pescoço. A superfície de cada músculo foi preparada e limpa com gaze embebida em álcool (solução de 70%). Em seguida, eletrodos bipolares descartáveis com 1 cm de diâmetro (Standard, M-00-S, Noraxon) foram afixados paralelamente às fibras de cada músculo como sugerido pelas normas do *ABC of EMG* (KONRAD, 2005), com uma distância de 2,5 cm de centro a centro. Também, um eletrodo monopolar foi afixado no maléolo medial direito dos participantes. Faixas elásticas foram utilizadas para fixar os eletrodos na superfície dos músculos e isolar os cabos dos mesmos evitando ruídos que pudessem comprometer a análise dos dados. Os sinais EMG foram registrados, passa banda de 16 a 500 Hz, e frequência de coleta de 1080 Hz. A Figura 18 apresenta foto da situação experimental com um participante preparado para a aquisição de



dados, posicionado sobre a plataforma móvel com os emissores e eletrodos afixados do lado direito e na cabeça.



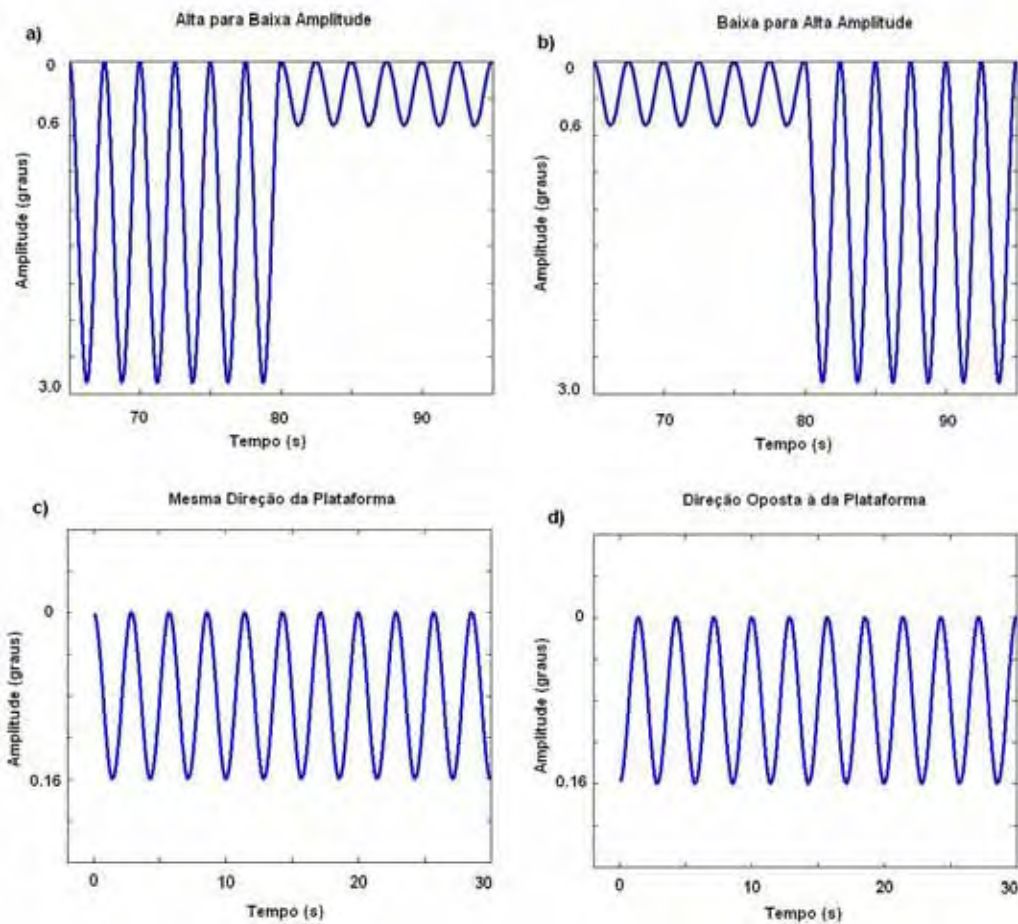
**Figura 18.** Foto de um participante mantendo a posição em pé sobre a plataforma e com exposição da manipulação visual, com os emissores infravermelhos e eletrodos de eletromiografia afixados.

Após a preparação dos participantes com a colocação dos emissores e eletrodos, os mesmos foram solicitados a permanecer em pé dentro da sala virtual sobre a plataforma móvel, com braços cruzados à frente, por 13 tentativas. Cada tentativa teve duração de 250 segundos, contudo, a duração da manipulação sensorial (movimentos da cena visual e da plataforma) totalizou 240 segundos. Os dez segundos adicionais foram incluídos para

---

garantir a aquisição dos dados e evitar perdas decorrentes de possíveis atrasos no início de aquisição de dados.

A primeira tentativa foi estacionária, sendo que nem a plataforma nem a cena visual foram movimentadas. Nas demais 12 tentativas, tanto a cena visual quanto a plataforma foram simultaneamente osciladas em diferentes amplitudes e frequências. A plataforma foi oscilada nas amplitudes de 0,3 e 1,5 graus as quais foram alteradas após 80 segundos do início da oscilação da mesma de acordo com duas condições: Alta para Baixa Amplitude (1,5/0,3 graus) e Baixa para Alta Amplitude (0,3/1,5 graus) da plataforma. A amplitude do estímulo visual permaneceu constante durante todas as tentativas (0,08 graus). Contudo, em metade das tentativas, de cada condição (6 tentativas), o estímulo visual começou na mesma direção dos movimentos da plataforma e na outra metade (6 tentativas) começou na direção oposta. Este procedimento buscou evitar qualquer efeito de direção do estímulo visual. A Figura 19 apresenta exemplares de séries temporais dos estímulos utilizados para movimentar a cena visual e a plataforma móvel e, desta forma, induzir oscilações corporais dos participantes.



**Figura 19.** Exemplos de séries temporais dos estímulos utilizados para a manipulação dos movimentos da plataforma móvel nas condições de Alta para Baixa Amplitude (painel a) e Baixa para Alta Amplitude (painel b) e para a manipulação dos estímulos visuais apresentados na mesma direção de movimento da plataforma móvel (painel c) e na direção oposta aos movimentos da plataforma (painel d).

A cada duas tentativas, os participantes tiveram um período de descanso de três a quatro minutos. Todos eles vestiram um colete de segurança, afixado no teto do laboratório, que foi ajustado a fim de permitir livres movimentos corporais, mas caso necessário, evitar possíveis quedas. Entretanto, em nenhum momento este dispositivo foi utilizado, pois nenhum participante perdeu o equilíbrio corporal. Nenhum participante relatou os

movimentos da cena visual. Contudo, todos os participantes relataram os movimentos da plataforma, quando a mesma estava oscilando na alta amplitude de movimento. Já quando a plataforma estava oscilando em baixa amplitude, alguns participantes reportaram que não tinham certeza se a plataforma estava parada ou se movimentando, principalmente, na condição de Alta para Baixa Amplitude.

### **5.2.3. Tratamento e Análise dos Dados**

Após o término da coleta, os dados provenientes dos emissores, correspondentes à oscilação corporal dos participantes e aos movimentos da plataforma móvel, foram armazenados em arquivos e, posteriormente, carregados e analisados por um conjunto de programas específicos escritos na linguagem MATLAB (7.0 MathWorks, Inc).

Inicialmente, a partir das trajetórias dos emissores afixados nas articulações do tornozelo, joelho, quadril e ombro foi estimada a trajetória do centro de massa (CM), nas direções ântero-posterior, médio-lateral e vertical, baseado no modelo de três segmentos sugerido por Winter (1990). Neste modelo, assume-se que a estrutura anatômica é formada por um grupo de três segmentos rígidos representados pela cabeça-braços-tronco (HAT), coxas e pernas (WINTER, 1990). A partir das medidas antropométricas sugeridas por Winter (1990), o CM total foi computado a partir da somatória dos centros de massa de cada um destes segmentos. Esta estimativa do CM foi, então, utilizada para computar o ângulo de rotação do CM dos participantes no plano sagital. Este ângulo foi definido como o ângulo formado por um vetor tendo como vértices a posição do CM e do tornozelo em relação a outro vetor imaginário no plano vertical.

Devido a problemas técnicos na captura dos emissores infravermelhos posicionados nos centros articulares e na plataforma móvel, dentre as 264 tentativas possíveis de serem analisadas, 14 delas tiveram que ser excluídas das análises. Com relação aos dados da atividade eletromiográfica dos músculos posturais, embora os mesmos tenham sido armazenados, análises para estes dados que possam identificar o comportamento das ativações musculares com relação à manipulação simultânea de dois canais sensoriais (visual e proprioceptiva) ainda estão sendo realizadas e, desta forma, não serão apresentadas neste estudo.

A fim de verificar o relacionamento entre os estímulos sensoriais provenientes da cena visual e da plataforma móvel e o CM, na frequência de cada estímulo, foi computada a análise de *Frequency-Response Function* (FRF). Esta análise foi computada ciclo por ciclo dos estímulos, sendo calculada em intervalos de 2,5 segundos para o estímulo visual e 2,8 segundos para o estímulo proveniente da plataforma móvel. A mesma consistiu em dividir as transformações de Fourier da trajetória do CM pelas transformações de Fourier da trajetória do estímulo visual na mesma frequência deste estímulo, gerando uma função de valores complexos para cada tentativa. O mesmo procedimento foi realizado entre o ângulo do CM e os movimentos da plataforma móvel.

O “valor absoluto” desta função correspondeu ao ganho entre as oscilações corporais e os estímulos sensoriais (visual e os provenientes da plataforma móvel), sendo a amplitude das respostas posturais dividida pela amplitude dos estímulos sensoriais. Valores de ganho de 1 significam que a amplitude do espectro do CM foi igual a amplitude do espectro do estímulo visual ou do movimento da plataforma. Valores maiores ou menores

que 1 indicam que a amplitude das respostas posturais foi maior ou menor, respectivamente, que a amplitude dos estímulos sensoriais.

O “argumento” da função, mencionada anteriormente, correspondeu a fase, indicando o relacionamento temporal entre a resposta postural e os estímulos sensoriais. Fase foi computada em radianos e convertida para graus e valores positivos e negativos indicaram que as respostas posturais estiveram à frente dos movimentos da cena visual e da plataforma móvel ou estiveram atrasadas com relação aos estímulos sensoriais, respectivamente.

Além das variáveis ganho e fase, a variável variabilidade da posição e da velocidade de oscilação da trajetória angular do CM (cf. JEKA ET AL., 2000) foi calculada. Para isto, a posição média dos valores de oscilação corporal foi subtraída de cada sinal de oscilação corporal da respectiva tentativa. A variabilidade foi, então, computada obtendo o desvio padrão da trajetória de oscilação do CM, após a remoção da oscilação correspondente à frequência dos estímulos sensoriais, constituindo assim a trajetória residual. Esta variável indicou a amplitude de oscilação corporal (variabilidade de oscilação) em frequências diferentes da frequência do estímulo visual (0,35 Hz) e da plataforma móvel (0,4 Hz). Esta análise foi realizada com janelamento de 40 segundos e resolução de 0,1 segundos resultando em 6 intervalos de análise ao longo da tentativa, sendo 2 intervalos nos primeiros 80 segundos e 4 intervalos nos demais 160 segundos de manipulação sensorial.

Por fim, para descrever possíveis mudanças nas respostas posturais antes, durante e após as alterações na amplitude da plataforma móvel, regressão linear (ajustes de curva) foi obtida para os valores de ganho e fase, excluindo os dois primeiros ciclos antes e após as alterações do estímulo da plataforma móvel. Estes ciclos foram excluídos para evitar

qualquer influência do comportamento transiente das respostas posturais na obtenção da regressão linear. As análises de regressão linear foram realizadas tanto para as respostas posturais relacionadas às manipulações do estímulo visual quanto para as respostas posturais relacionadas às manipulações do estímulo proveniente do movimento da plataforma móvel.

#### **5.2.4. Análises Estatísticas**

O efeito da manipulação simultânea dos estímulos sensoriais provenientes do movimento da cena visual e da plataforma móvel nas respostas posturais de adultos jovens foi verificado por meio de análises estatísticas para valores complexos (análises não-lineares), assumindo-se distribuição normal para o conjunto de valores referentes às variáveis analisadas. Estas análises foram realizadas separadamente para as respostas posturais relacionadas com cada estímulo sensorial.

O ganho e a fase foram extraídos dos valores médios de FRF obtidos nas análises de regressão para cada participante formando, então, um “Grupo Ganho” e um “Grupo Fase” (KIEMEL; OIE; JEKA, 2006) para cada estímulo (visual e plataforma móvel) e condição (Alta/Baixa amplitude e Baixa/Alta amplitude). Foram realizadas comparações entre os valores iniciais e finais nos intervalos de tempo antes (80 segundos) e após (160 segundos) a alteração da amplitude da plataforma móvel. Ainda, para examinar as respostas posturais logo após a alteração de amplitude da plataforma, o último valor antes da alteração de amplitude foi comparado ao primeiro valor após a alteração da amplitude da plataforma.

Por fim, testes de contraste para medidas complexas (KIEMEL; OIE; JEKA, 2006; CARVER; KIEMEL; JEKA, 2006) foram utilizados para examinar se possíveis mudanças nas

respostas posturais logo após a alteração da amplitude da plataforma móvel foram proporcionais entre os dois estímulos e nas duas condições. Estes testes buscaram testar se ocorreu assimetria temporal entre as respostas posturais e os estímulos apresentados. Para isto, foi testada, separadamente para os dois estímulos sensoriais, se a soma das mudanças em FRF, na mesma quantidade de tempo (último ciclo antes e primeiro ciclo depois da alteração da amplitude da plataforma), comparando as duas condições (Alta para Baixa Amplitude e Baixa para Alta Amplitude) resultaria em zero, indicando similaridade entre as mudanças em FRF mesmo em diferentes condições.

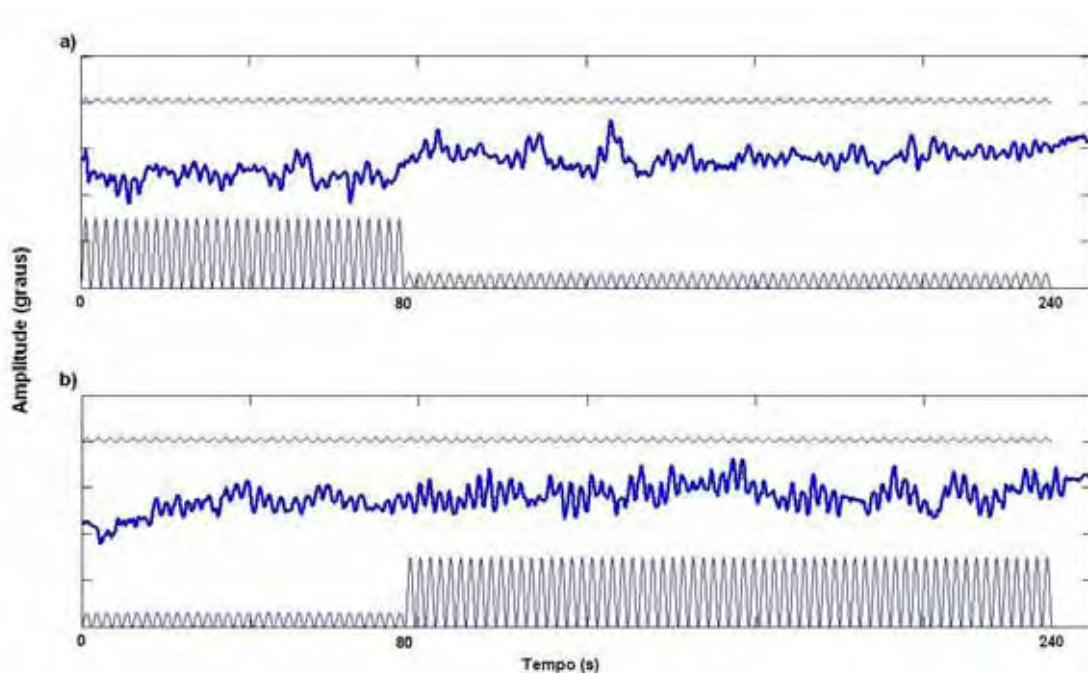
Para examinar possíveis diferenças nas medidas de variabilidade de posição e velocidade de oscilação em função das alterações na amplitude da plataforma, foram realizadas duas análises de multivariância tendo como fator os intervalos de análise de variabilidade (2 intervalos antes e 4 intervalos após a alteração da amplitude da plataforma móvel), sendo este considerado como medida repetida. As variáveis dependentes para a primeira análise foram as medidas de variabilidade de posição e velocidade na condição Alta para Baixa Amplitude da plataforma e, para a segunda análise, foram as medidas de variabilidade de posição e velocidade na condição Baixa para Alta Amplitude da plataforma. O nível de significância para todas as análises foi mantido em 0,05.

### **5.3. RESULTADOS**

Os participantes foram influenciados pelos estímulos sensoriais provenientes da cena visual e dos movimentos da plataforma móvel. Contudo, esta influência foi dependente das alterações na amplitude da plataforma móvel. Os resultados deste estudo



demonstraram, claramente, que as respostas posturais correspondentes à manipulação simultânea dos estímulos visuais e proprioceptivos apresentaram processos adaptativos na utilização das informações sensoriais (*reweighting*). Estas alterações nas respostas posturais em virtude da manipulação dos estímulos sensoriais apenas tinham sido sugeridas em modelos teóricos ou testadas a partir da manipulação de um canal sensorial, neste caso, visual (KIEMEL; OIE; JEKA, 2002; KIEMEL; OIE; JEKA, 2005; OIE ET AL., 2005; CARVER; KIEMEL; JEKA, 2006; BARELA ET AL., EM PREPARAÇÃO). A Figura 20 apresenta exemplares da trajetória do CM de um participante e os movimentos simultâneos da cena visual e da plataforma móvel na condição Alta para Baixa Amplitude (a) e na condição Baixa para Alta Amplitude (b) da plataforma.



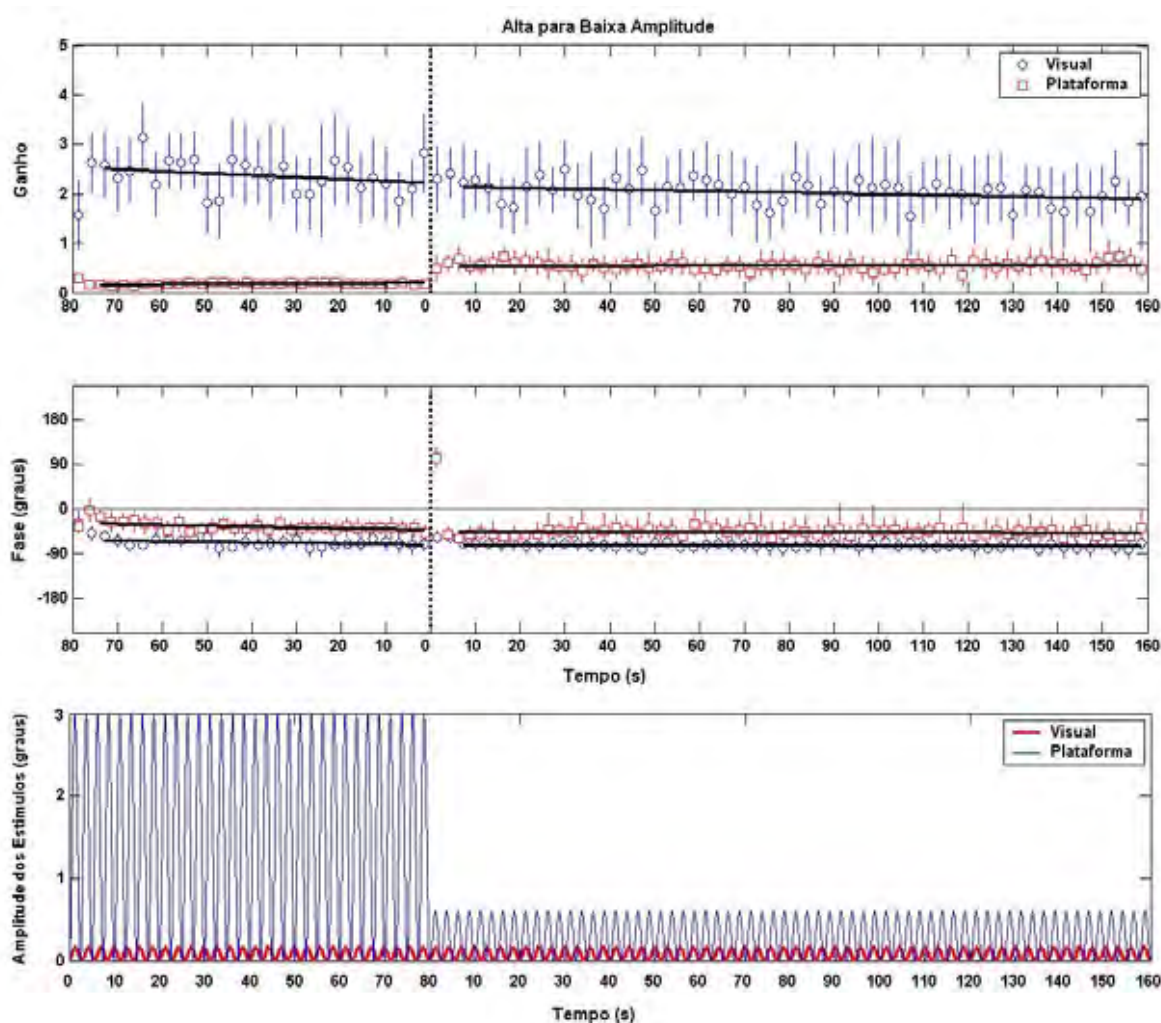
**Figura 20.** Exemplares das séries temporais da trajetória angular do Centro de Massa (linha escura) de um participante e os movimentos da cena visual (linha clara superior) e da plataforma móvel (linha clara inferior) nas condições de Alta para Baixa Amplitude (a) e de Baixa para Alta Amplitude (b).

### 5.3.1. Ganho e Fase

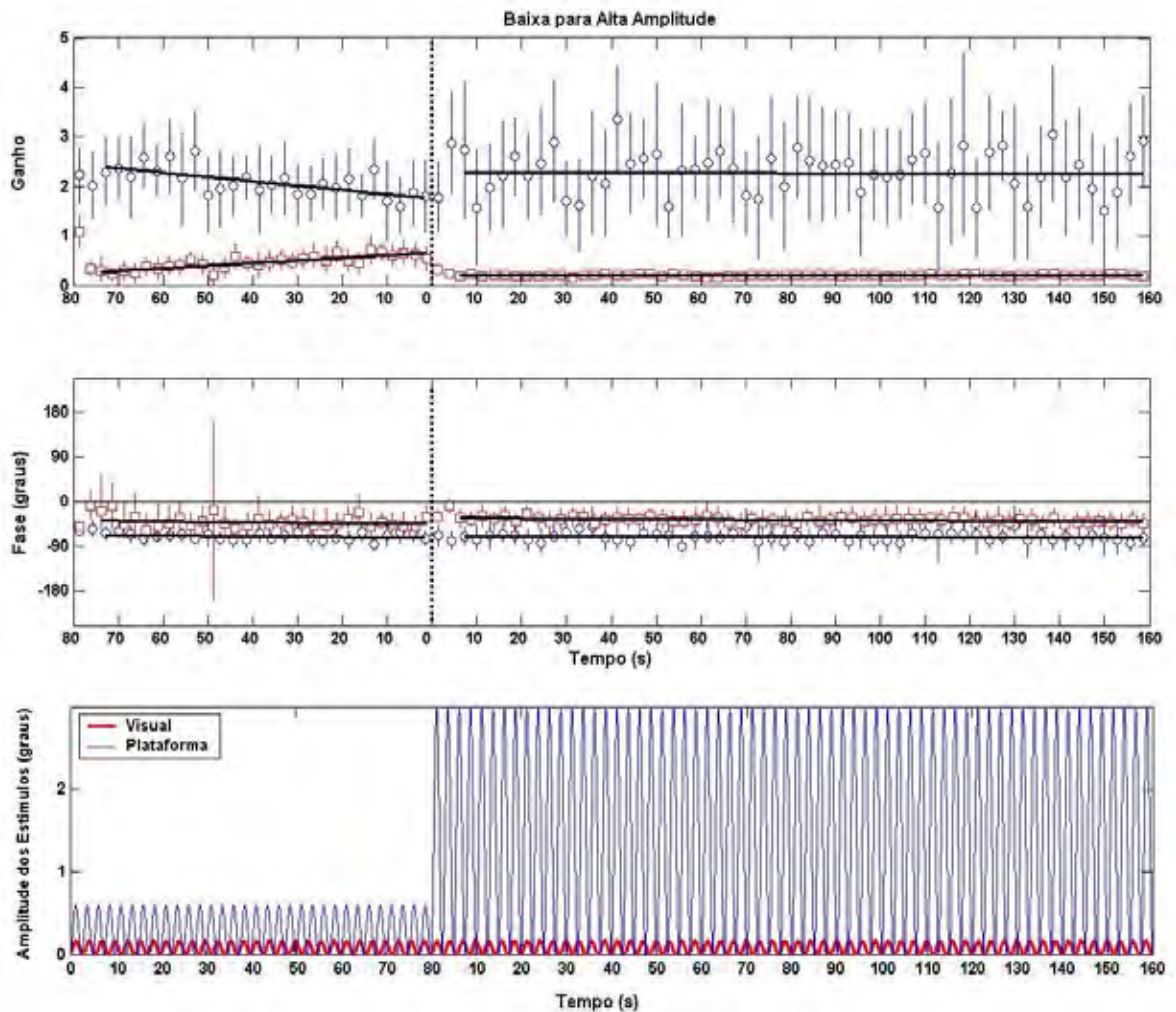
Os valores de ganho entre o CM e o estímulo visual foram maiores do que aqueles obtidos entre o CM e os movimentos da plataforma móvel tanto na condição Alta para Baixa Amplitude quanto na condição Baixa para Alta Amplitude. As Figuras 21 e 22 apresentam o ganho e a fase entre o CM e o estímulo visual proveniente dos movimentos da cena visual e o ganho e a fase entre o CM e os movimentos da plataforma móvel na condição de Alta para Baixa Amplitude e na condição de Baixa para Alta Amplitude, respectivamente. Os painéis inferiores de ambas as Figuras apresentam exemplares de séries temporais dos estímulos utilizados para manipular as informações visuais e as informações proprioceptivas do tornozelo dos participantes.

Ao examinar o comportamento do CM frente à influência dos estímulos sensoriais (visual e proprioceptivo) em ambas as condições, pôde-se observar que o ganho entre o CM e os movimentos da plataforma móvel foi menor quando a plataforma movimentou na amplitude mais alta (1,5 graus). Por outro lado, ganhos mais altos foram observados quando a plataforma movimentou na amplitude mais baixa (0,3 graus) da plataforma. Esta dependência das respostas posturais em decorrência de alterações na amplitude do estímulo sensorial tem sido apontada em estudos prévios que manipularam as amplitudes do estímulo visual e observaram ganhos mais baixos para amplitudes visuais mais altas e ganhos mais altos para amplitudes visuais mais baixas (por exemplo, KIEMEL ET AL., 2006; PETERKA; BENOLKEN, 1995; BARELA ET AL., EM PREPARAÇÃO). Sendo assim, os resultados indicam que manipulações na amplitude de uma plataforma móvel induzindo perturbações nas informações proprioceptivas do tornozelo podem levar às mesmas características nas

respostas posturais aquelas observadas quando as amplitudes dos estímulos visuais são alteradas.



**Figura 21.** Ganho (painel superior) e fase (painel do meio) entre o centro de massa e o estímulo visual (círculos) e entre o centro de massa e os movimentos da plataforma móvel (quadrados) ciclo por ciclo (intervalos de 2,5 para o estímulo visual e 2,8 seg. para os movimentos da plataforma móvel). A linha vertical tracejada indica o momento de alteração da amplitude de movimento da plataforma móvel de Alta para Baixa Amplitude. Retas de regressão (linha escura) são apresentadas antes e depois da alteração da amplitude da plataforma para ambos os estímulos. O painel inferior apresenta um exemplar de uma série temporal, com o estímulo visual (linha vermelha) e o movimento da plataforma (linha azul) durante toda a tentativa.



**Figura 22.** Ganho (painel superior) e fase (painel do meio) entre o centro de massa e o estímulo visual (círculos) e entre o centro de massa e os movimentos da plataforma móvel (quadrados) ciclo por ciclo (intervalos de 2,5 para o estímulo visual e 2,8 seg. para os movimentos da plataforma móvel). A linha vertical tracejada indica o momento de alteração da amplitude de movimento da plataforma móvel de Baixa para Alta Amplitude. Retas de regressão (linha escura) são apresentadas antes e depois da alteração da amplitude da plataforma para ambos os estímulos. O painel inferior apresenta um exemplar de uma série temporal, com o estímulo visual (linha vermelha) e o movimento da plataforma (linha azul) durante toda a tentativa.

Interessantemente, embora a amplitude do estímulo visual proveniente dos movimentos da cena visual tenha permanecido constante durante todas as tentativas, os resultados mostraram alterações nos valores de ganho do CM para este estímulo. Mais ainda, estas alterações foram dependentes das alterações na amplitude da plataforma móvel indicando *reweighting* das informações sensoriais.

#### 5.3.1.1. Condição de Alta para Baixa Amplitude da Plataforma

As análises indicaram que os baixos valores de ganho do CM dos participantes quando a plataforma móvel estava oscilando na amplitude mais alta (1,5 graus), aumentaram ligeiramente no final dos primeiros 80 segundos ( $F(1,21)=10,249$ ,  $p=0,004$ ). Mais ainda, neste mesmo período, houve diminuição dos valores de ganho do CM para o estímulo visual ( $F(1,21)=5,92$ ,  $p=0,02$ ).

Logo após a alteração da amplitude da plataforma de Alta para Baixa Amplitude, os valores de ganho, indicando as respostas posturais decorrentes dos movimentos da plataforma móvel, aumentaram ( $F(1,21)=91,7$ ,  $p=0,0001$ ) e se mantiveram altos até o final da tentativa ( $F(1,21)=0,051$ ,  $p=0,82$ ). Já os valores de ganho para o estímulo visual não foram alterados com a diminuição da amplitude da plataforma móvel ( $F(1,21)=0,62$ ,  $p=0,43$ ), no entanto, estes foram menores no final da tentativa ( $F(1,21)=8,60$ ,  $p=0,008$ ).

Os valores negativos de fase, obtidos para ambos os estímulos, indicaram atrasos temporais nas respostas posturais com relação aos movimentos tanto da cena visual quando da plataforma móvel. É interessante notar que, nos primeiros 80 segundos antes da alteração da amplitude da plataforma, a fase tornou-se ligeiramente mais negativa em comparação com os valores iniciais da tentativa tanto para o estímulo visual,

( $F(1,21)=12,63$ ,  $p=0,001$ ), quanto para os movimentos da plataforma móvel ( $F(1,21)=16,86$ ,  $p=0,0005$ ). Entretanto, este relacionamento temporal do CM não se alterou nem para o estímulo visual ( $F(1,21)=1,54$ ,  $p=0,22$ ), nem para os movimentos da plataforma ( $F(1,21)=0,02$ ,  $p=0,87$ ) até o final da tentativa.

#### 5.3.1.2. Condição de Baixa para Alta Amplitude da Plataforma

Quando a plataforma móvel estava oscilando numa amplitude mais baixa nos primeiros 80 segundos da tentativa, os valores de ganho do CM aumentaram para os movimentos da plataforma ( $F(1,21)=27,759$ ,  $p=0,0001$ ) e diminuíram para o estímulo visual ( $F(1,21)=26,828$ ,  $p=0,0001$ ). Logo após a amplitude da plataforma aumentar, os valores de ganho das respostas posturais diminuíram para os movimentos da plataforma ( $F(1,21)=73,81$ ,  $p=0,0001$ ) e se mantiveram baixos durante os 160 segundos finais da tentativa ( $F(1,21)=0,43$ ,  $p=0,51$ ), sendo similares aos valores obtidos no início da tentativa. Ainda, neste caso, os valores de fase indicaram atraso temporal ligeiramente maior quando comparado ao início da tentativa ( $F(1,21)=5,04$ ,  $p=0,02$ ). Contrariamente, os valores de ganho das respostas posturais aumentaram para o estímulo visual ( $F(1,21)=15,25$ ,  $p=0,0005$ ) e mantiveram-se altos até o final da tentativa ( $F(1,21)=0,46$ ,  $p=0,89$ ) sendo, também, similares aos valores iniciais da tentativa. Nenhuma alteração foi observada nos valores da fase, indicando nenhuma alteração no relacionamento temporal, com relação ao estímulo visual ( $p>0,05$ ).

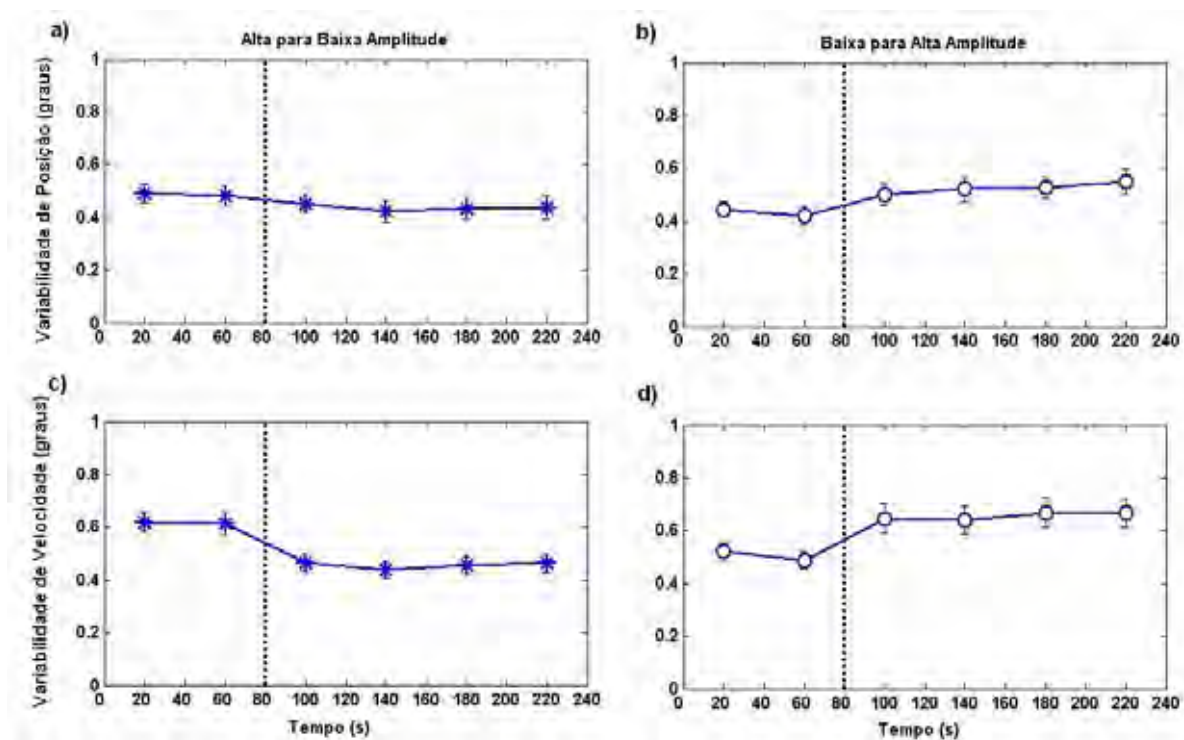
### 5.3.1.3. Assimetria Temporal nas respostas posturais

Os testes de contraste revelaram que as respostas do CM dos participantes apresentaram assimetria temporal para se adaptar às alterações na amplitude da plataforma móvel. Os resultados apontaram que ocorreram mudanças muito maiores (i.e., mais rápidas) nos valores de ganho entre o CM e o estímulo visual quando a amplitude da plataforma aumentou do que quando a mesma foi reduzida ( $p=0,0085$ ). Da mesma forma, mudanças nos valores de ganho entre o CM e os movimentos da plataforma móvel foram maiores (i.e., mais rápidas) quando a amplitude da plataforma foi aumentada do que quando a mesma foi reduzida ( $p=0,0027$ ). Sendo assim, o ganho diminuiu mais rapidamente na condição Baixa para Alta Amplitude do que aumentou na condição Alta para Baixa Amplitude, para a propriocepção do tornozelo, e ocorreu em direção oposta para o estímulo visual, ou seja, o ganho aumentou mais rapidamente na condição Baixa para Alta Amplitude do que diminuiu na condição Alta para Baixa Amplitude, demonstrando diferentes mecanismos de funcionamento do sistema de controle postural. Os resultados de assimetria temporal podem ser observados nas Figuras 21 e 22, visualizando os valores de ganho, inicial e final, da reta de regressão, durante a alteração da amplitude da plataforma, em ambas as condições.

### **5.3.2. Variabilidade de Posição e Velocidade do CM**

A Figura 23 apresenta a variabilidade de posição e velocidade para todos os participantes, nas duas condições (Alta para Baixa Amplitude e Baixa para Alta Amplitude).





**Figura 23.** Variabilidade de Posição e Velocidade do Centro de Massa antes e após a alteração da amplitude da plataforma móvel na condição de Alta para Baixa Amplitude (“a” e “c”, asteriscos) e na condição de Baixa para Alta Amplitude (“b” e “d”, círculos). A linha vertical tracejada indica o momento de alteração da amplitude de movimento da plataforma móvel.

A variabilidade do CM em frequências diferentes da frequência do estímulo visual (variabilidade residual) foi dependente das alterações na amplitude da plataforma móvel. MANOVA revelou efeito de Intervalos na condição Alta para Baixa Amplitude, Wilks’ Lambda=0,057,  $F(2,10)=19,93$ ,  $p<0,001$ . Análises univariadas apontaram que este efeito foi tanto para a medida de variabilidade de posição,  $F(5,105)=3,27$ ,  $p<0,01$ , quanto para a medida de variabilidade de velocidade de oscilação,  $F(5,105)=78,81$ ,  $p<0,001$ . Testes *post hoc* indicaram que a variabilidade de posição foi maior quando a plataforma estava oscilando na alta amplitude (1,5 graus) e diminuiu somente no segundo intervalo após a



diminuição da amplitude da plataforma (0,3 graus). Já com relação à variabilidade de velocidade, os resultados, claramente, mostraram que os participantes apresentaram maior variabilidade quando a plataforma estava oscilando em alta amplitude, reduzindo a mesma quando a plataforma foi oscilada em baixa amplitude (0,3 graus).

Quando a variabilidade residual foi examinada na condição de Baixa para Alta Amplitude da plataforma, MANOVA também revelou efeito para Intervalos, Wilks' Lambda=0.093,  $F(2,10)=11,74$ ,  $p<0,001$ . Análises univariadas indicaram, novamente, que este efeito foi tanto para a variabilidade de posição,  $F(5,105)=8,92$ ,  $p<0,001$ , quanto para a variabilidade de velocidade de oscilação,  $F(5,105)=33,47$ ,  $p<0,001$ . Testes *post hoc* apontaram que a variabilidade do CM foi dependente da amplitude de movimento da plataforma. Na amplitude de movimento mais baixa, os participantes apresentaram variabilidade menor do que quando a plataforma estava oscilando na amplitude mais alta. Neste caso, os indivíduos demonstraram maior variabilidade tanto de posição quanto de velocidade de oscilação do CM.

#### 5.4. DISCUSSÃO

O presente estudo teve como objetivo investigar se os processos de *reweighting* sensorial, observados no funcionamento do sistema de controle postural, poderiam ser dinamicamente demonstrados entre duas modalidades sensoriais (inter-modalidade) manipuladas simultaneamente. Ainda, se estes processos adaptativos pudessem ser verificados, quais seriam as características temporais desta dinâmica reorganização multisensorial.

Os resultados do presente estudo apontaram alterações dinâmicas nos pesos atribuídos aos estímulos visuais e proprioceptivos do tornozelo para se obter estimativas precisas sobre a posição e orientação corporal durante a posição em pé, quando estas informações foram manipuladas simultaneamente. A influência das informações visuais e proprioceptivas foi dependente das mudanças na amplitude dos movimentos de uma plataforma móvel. Os resultados, ainda, apontaram que os valores de ganho do CM para a propriocepção do tornozelo diminuíram (*downweight*) mais rapidamente na transição de Baixa para Alta amplitude da plataforma do que aumentaram (*upweight*) na transição de Alta para Baixa amplitude. Interessantemente, o ganho do CM para o estímulo visual apresentou direções opostas indicando assimetria temporal intra- e inter-modalidade sensorial. Por fim, maior variabilidade de oscilação corporal foi observada quando a plataforma foi movimentada em alta amplitude do que quando a mesma foi movimentada em baixa amplitude.

Primeiramente, os resultados do presente estudo demonstraram que os processos de *reweighting* no sistema de controle postural ocorrem, dinamicamente, tanto intra- como inter-modalidades sensoriais. Por meio da manipulação simultânea de duas fontes de informação sensorial foi possível verificar não somente como o sistema de controle postural, adaptativamente, ajusta os parâmetros de diferentes canais sensoriais frente às constantes mudanças na confiabilidade de suas informações, como também, se existe alguma relação temporal entre as modalidades durante este processo. Evidências de processos de *reweighting* e as suas características temporais haviam sido observadas a partir de um único estímulo, o estímulo visual (OIE ET AL., 2005; BARELA ET AL., EM PREPARAÇÃO) ou em condições estáticas e dinâmicas dos estímulos visuais e

somatossensoriais (BONFIM; POLASTRI; BARELA, 2006; OIE ET AL., 2002; ALLISON; KIEMEL; JEKA, 2006; JEKA ET AL., 2006). Porém, nenhum estudo havia demonstrado, anteriormente, como ocorrem os processos dinâmicos de *reweighting* entre as modalidades sensoriais e ao longo do tempo. Desta forma, estes aspectos são discutidos a seguir.

#### **5.4.1. *Reweighting* entre duas modalidades sensoriais: visão e propriocepção.**

As oscilações corporais dos participantes estiveram fortemente acopladas às informações visuais provenientes dos movimentos da cena visual durante todas as tentativas e condições. Fortes acoplamentos à baixa amplitude dos estímulos sensoriais já haviam sido verificados em estudos anteriores tanto quando informação visual (OIE; KIEMEL; JEKA, 2001; POLASTRI; GODOI; BARELA, 2002; OIE ET AL., 2005) quanto informação somatossensorial (e.g. JEKA, ET AL., 1998; OIE; KIEMEL; JEKA, 2002) foram manipuladas.

Já a força do acoplamento entre as informações provenientes da propriocepção do tornozelo e as oscilações corporais foi dependente da amplitude dos movimentos de uma plataforma móvel cujo eixo de rotação coincidiu com o eixo de rotação do tornozelo dos participantes. Os resultados apontaram que as oscilações corporais foram correspondentes aos movimentos de baixa amplitude da plataforma e apresentaram pouca influência dos movimentos de alta amplitude da mesma. Alguns estudos têm indicado que alterações na superfície de suporte podem provocar perturbações nas informações proprioceptivas provenientes da articulação do tornozelo, levando ao aumento das oscilações corporais quando outras fontes de informação não são confiáveis ou não estão disponíveis (PETERKA, 2002; BLUMLE, ET. AL., 2006; CREATH ET AL., 2006).

Para explicar as diferenças encontradas no acoplamento entre estas duas modalidades sensoriais, especialmente, na condição de baixa amplitude de movimento da plataforma, é necessário ressaltar, as duas estratégias de controle postural quando as constantes alterações nas informações sensoriais são percebidas enquanto movimentos do próprio corpo (*self-motion*) ou movimentos dos objetos no ambiente (*object-motion*) (SCHONER; DIJKSTRA; JEKA, 1998; OIE; KIEMEL; JEKA, 2002; FREITAS JÚNIOR; BARELA, 2004). Por exemplo, nas situações nas quais os participantes percebem que as oscilações corporais são decorrentes de movimentos ambientais e não do próprio corpo, eles diminuem o acoplamento com o estímulo sensorial que está induzindo suas oscilações. Por outro lado, quando o estímulo sensorial, especialmente em baixas amplitudes, induz oscilações corporais que são interpretados enquanto movimentos relativos ao próprio corpo, os participantes acoplam fortemente à este estímulo (SCHONER; DIJKSTRA; JEKA, 1998).

Considerando estes dois modos de funcionamento, pode-se sugerir que o acoplamento mais forte observado para o estímulo visual em comparação com o estímulo proprioceptivo do tornozelo, pode estar relacionado, com a baixa e constante amplitude deste estímulo (0,08 graus) (OIE; KIEMEL; JEKA, 2001), que impossibilitou que os participantes distinguíssem entre os próprios movimentos e os movimentos da cena visual. Por outro lado, constantes alterações na amplitude de movimento da plataforma podem ter levado os participantes a discriminarem estes movimentos, mesmo quando a plataforma foi oscilada em baixa amplitude (0,3 graus), considerando os baixos valores de ganho obtidos no início da tentativa na condição Baixa para Alta Amplitude da plataforma. O desacoplamento do CM aos movimentos da plataforma foi, claramente, observado quando a plataforma foi oscilada em alta amplitude.

É importante ressaltar que, neste estudo, os ajustes na utilização das informações visuais e proprioceptivas do tornozelo foram necessários para minimizar o torque estimado na articulação do tornozelo e, desta forma, reduzir as oscilações corporais (PERTERKA, 2002; CARVER; KIEMEL; JEKA, 2006). Quando a plataforma foi movimentada, independentemente de sua amplitude, as informações proprioceptivas do tornozelo, por terem sido interpretadas pelo sistema como provenientes de uma perturbação, foram minimizadas e exigiu uma reorganização de outras fontes sensoriais que pudessem estimar o posicionamento preciso do corpo no espaço e com relação à superfície de suporte.

Desta forma, quando a plataforma foi oscilada em alta amplitude, ocorreram grandes desvios do posicionamento articular do tornozelo com relação à superfície de suporte, o que possibilitou que os movimentos da plataforma fossem prontamente discriminados pelos participantes como movimentos externos ao corpo, produzindo diminuição da influência destas informações para o controle da postura. Por outro lado, na baixa amplitude de movimento da plataforma, não houve significativos prejuízos para a estabilidade corporal, então, a fim de minimizar a discrepância entre as informações proprioceptivas do tornozelo e a superfície de suporte, a posição articular do tornozelo foi mantida relativa à superfície da plataforma induzindo as oscilações corporais. O aspecto mais intrigante destes resultados, porém, foi que a influência dos estímulos proprioceptivos foi maior apenas no final dos primeiros 80 segundos de exposição a esta condição experimental.

Sendo assim, não ficou claro se os baixos valores de ganho verificados no início da condição Baixa para Alta Amplitude foram decorrentes do fato dos participantes terem discriminado os movimentos da plataforma com base em outras fontes sensoriais (e.g.

mecanorreceptores, receptores vibratórios, etc) que detectaram, por exemplo, informações provenientes da superfície da plataforma ou se este comportamento foi decorrente dos processos de *reweighting* entre as informações sensoriais. Estes aspectos são discutidos com mais detalhes a seguir.

Primeiramente, pode-se observar que os resultados do presente estudo corroboram os resultados encontrados na literatura que demonstraram e modelaram a dependência das respostas posturais em decorrência de alterações na amplitude do estímulo sensorial (PETERKA; BENOLKEN, 1995; KIEMEL ET AL., 2006; OIE; KIEMEL; JEKA, 2002; VAN DER KOOIJ ET AL., 2001; PETERKA, 2002; JEKA ET. AL., 2006; ALLISON; KIEMEL; JEKA, 2006; BARELA ET AL., EM PREPARAÇÃO). O acoplamento entre as informações proprioceptivas do tornozelo e as oscilações corporais diminuiu com o aumento da amplitude da plataforma e, por outro lado, aumentou com a diminuição da amplitude deste movimento.

Estes resultados indicam que o sistema de controle postural apresenta capacidade adaptativa de se desacoplar à informação proprioceptiva, particularmente do tornozelo, quando a mesma é relativa ao ambiente externo e não fornece uma estimativa precisa do posicionamento corporal com relação à superfície de suporte. Resultados similares têm sido verificados também para as altas amplitudes das informações visuais (BARELA ET. AL, SUBMETIDO) e somatossensoriais (OIE; KIEMEL; JEKA, 2002). No presente estudo, as perturbações na posição articular do tornozelo reduziram a confiabilidade do sistema sobre o posicionamento do corpo em relação à superfície de suporte. Se o sistema não diminuísse a influência desta informação durante a alta amplitude de movimento da plataforma, ganhos maiores correspondentes a este estímulo poderiam levar aos grandes prejuízos na estabilidade corporal ou até mesmo em quedas. No entanto, o sistema rapidamente

discriminou esta situação e atribuiu pesos menores a esta fonte de informação sensorial, possivelmente, aumentando estes pesos para outras fontes.

Entretanto, os resultados do presente estudo confirmam, parcialmente, as evidências anteriores (OIE; KIEMEL; JEKA, 2002) de que os processos de *reweighting* ocorreriam entre as modalidades sensoriais (*reweighting* inter-modalidade). Neste estudo não foram verificadas alterações na influência dos estímulos visuais na condição de Baixa para Alta Amplitude da plataforma no momento em que elas ocorreram para os estímulos proprioceptivos. Na condição de Alta para Baixa Amplitude, os valores de ganho para as informações visuais permaneceram altos, independentemente do aumento destes valores para as informações proprioceptivas com a diminuição abrupta para a baixa amplitude da plataforma. Mais intrigante é que a influência dos estímulos visuais foi diminuindo lentamente ao longo da tentativa.

Pode-se sugerir, então, que o sistema de controle postural parece não modificar os pesos entre as diferentes fontes de informações sensoriais sempre da mesma maneira para controlar a postura. As diferenças encontradas entre as condições parecem sugerir que este sistema determina continuamente a influência das informações sensoriais, embora, elas aparentemente estejam constantes, alterando seus parâmetros adaptativos, ou seja, a atribuição de pesos entre as informações sensoriais disponíveis (CARVER; KIEMEL; JEKA, 2006). Outro resultado que parece confirmar esta sugestão pode ser observado nos primeiros 80 segundos, antes da mudança abrupta de amplitude da plataforma. Independentemente das condições, as oscilações corporais correspondentes aos estímulos visuais diminuíram enquanto aquelas correspondentes aos estímulos proprioceptivos aumentaram.

Especificamente, com relação à condição de Baixa para Alta amplitude, durante os primeiros 80 segundos (baixa amplitude), possivelmente, os participantes podem ter discriminado os movimentos relativos à plataforma tendo em vista que os valores de ganho observados no início da tentativa foram similares aqueles obtidos quando a amplitude da plataforma foi abruptamente aumentada e, então, os participantes reportaram os movimentos da plataforma. Sendo assim, o aumento e diminuição gradual das informações proprioceptivas e visuais, respectivamente, podem ser decorrentes do fato de que o sistema de controle postural parece não conseguir ignorar totalmente uma informação sensorial quando a mesma está disponível (FREITAS JÚNIOR; BARELA, 2004; STROFFREGEN ET AL., 2006; BONFIM; POLASTRI; BARELA, 2006). Então, parece que é mais funcional para o sistema diminuir o conflito entre estas informações sensoriais do que descartar estímulos que estão em aparente constância. Resultados similares foram encontrados por Freitas Júnior e Barela (2004) que observaram que mesmo os indivíduos que tinham conhecimento prévio sobre os movimentos de uma sala móvel tiveram suas oscilações corporais influenciados pelo estímulo visual, porém, menos do que os indivíduos que não sabiam sobre estes movimentos (FREITAS JÚNIOR; BARELA, 2004).

No caso da condição de Alta para Baixa Amplitude, os resultados mais intrigantes foram aqueles relacionados à diminuição na influência do estímulo visual quando a plataforma foi movimentada na alta amplitude nos primeiros 80 segundos. Mais ainda, esta influência foi diminuindo ao longo da tentativa e não apresentou alterações adaptativas com os processos de *reweighting* verificados nas informações proprioceptivas do tornozelo. A partir destes resultados, pode-se observar que o sistema de controle postural calibra lentamente seus parâmetros de funcionamento adaptativo em situações nas quais as



informações parecem relativamente constantes sugerindo que os processos de *reweighting* parecem ser contínuos entre as modalidades sensoriais.

#### **5.4.2. Funcionalidade no Comportamento do Sistema de Controle Postural: Assimetria Temporal.**

Os resultados do presente estudo indicaram assimetria temporal nas respostas posturais correspondentes tanto às informações visuais quanto às informações proprioceptivas do tornozelo com as alterações na amplitude da plataforma móvel. Quando a amplitude da plataforma foi alterada repentinamente de baixa para alta amplitude, os valores de ganho para a plataforma diminuíram mais rapidamente do que aumentaram quando a plataforma foi movimentada de alta para baixa amplitude. Respostas em direções opostas foram verificadas para as informações visuais.

Resultados similares foram encontrados em estudos recentes que verificaram assimetria temporal nas respostas posturais quando a amplitude das informações visuais foi alterada (OIE ET AL., 2005; BARELA, ET AL., EM PREPARAÇÃO). Desta forma, além de confirmar as evidências de assimetria temporal das informações sensoriais em função de alterações na amplitude do estímulo, os resultados do presente estudo apontam que esta assimetria ocorre simultaneamente em diferentes modalidades sensoriais. Contudo, qual seria a razão para o sistema de controle postural apresentar respostas temporalmente diferentes nestas situações?

Para manter a estabilidade corporal é crucial que o sistema de controle postural minimize suas respostas a um estímulo sensorial que apresenta grandes alterações (i.e. amplitude e velocidade) evitando, por exemplo, a ocorrência de quedas. Por outro lado,

uma vez que a estabilidade não está sendo prejudicada, o sistema parece aumentar gradativamente a influência de informações que foram previamente minimizadas a fim de se certificar de que não ocorrerão novas mudanças nas características dos estímulos (CARVER; KIEMEL; JEKA, 2006). Desta forma, os processos de *reweighting* parecem ter mecanismos diferentes para minimizar e maximizar as informações sensoriais, sendo que a minimização (*downweight*) ocorre rapidamente enquanto que a maximização (*upweight*) ocorre de forma mais lenta e ao longo de um período de tempo maior.

Considerando os resultados de assimetria temporal nos processos de *reweighting* das informações visuais, pode-se sugerir, ainda, que estes mecanismos parecem ocorrer em direções opostas entre as modalidades sensoriais. Quando a influência dos movimentos da plataforma foi rapidamente minimizada em virtude de aumento da amplitude, pôde-se observar um rápido aumento dos valores de ganho para as informações visuais, indicando maximização das respostas posturais ao estímulo visual, ou seja, atribuição de novos pesos entre as modalidades sensoriais. Sendo assim, da mesma forma que é crucial minimizar (*downweight*) a influência de uma determinada informação sensorial, maximizar rapidamente (*upweight*) estas respostas para outros canais sensoriais, também, é necessário para uma efetiva resposta adaptativa do sistema de controle postural, como já havia sido sugerido anteriormente e observado para um único canal sensorial (OIE; KIEMEL; JEKA, 2002; OIE ET AL., 2005; KIEMEL; OIE; JEKA, 2006; BARELA, ET AL., EM PREPARAÇÃO), contudo, não havia sido demonstrado simultaneamente.

Algumas considerações, contudo, devem ser feitas na transição de alta para baixa amplitude. Quando as respostas posturais foram maximizadas (*upweight*) para os movimentos de baixa amplitude da plataforma, não foi possível observar diminuição da

influência das informações visuais sobre as oscilações corporais (*downweight*), ou seja, *reweighting* entre as modalidades sensoriais. Ao se considerar toda a tentativa, pode-se sugerir que a alta amplitude da plataforma desestabilizou a postura em pé fazendo com que o sistema maximizasse as respostas ao estímulo visual. Esta influência foi mantida mesmo com a transição de alta para baixa amplitude, sendo gradativamente diminuída ao longo da tentativa, o que pode indicar que o sistema minimiza lentamente (*downweight*) a influência de fontes de informação que parecem confiáveis para manter a estabilidade corporal. Este comportamento pode ser funcionalmente eficiente para o sistema de controle postural, permitindo maior flexibilidade nas respostas.

Finalmente, com relação aos resultados de variabilidade de oscilação corporal em geral, os participantes aumentaram suas respostas posturais em frequências diferentes daquelas dos estímulos visuais (0,35 Hz) e dos movimentos da plataforma (0,4 Hz) quando a plataforma foi movimentada em alta amplitude. Por outro lado, as oscilações corporais foram menos variáveis quando a plataforma foi movimentada em baixa amplitude.

Corroborando estes resultados, alguns estudos têm indicado que as alterações na variabilidade de oscilação estão diretamente relacionadas às alterações nos pesos sensoriais (ALLISON, KIEMEL; JEKA, 2006; OIE ET AL., 2005; CARVER, KIEMEL; JEKA, 2006; JEKA ET AL., 2006; BARELA ET AL., EM PREPARAÇÃO). Os resultados destes estudos indicaram que o aumento na amplitude do estímulo visual levou à uma diminuição nas respostas posturais correspondentes à este estímulo e, também, produziu um aumento na variabilidade de oscilação corporal tanto em adultos jovens (JEKA ET AL., 2006) quanto em idosos (ALLISON, KIEMEL; JEKA, 2006). Cabe ressaltar que nestes estudos os processos de *reweighting* foram observados apenas para uma modalidade sensorial, no caso, para o estímulo visual.

---

Jeka e colegas (ALLISON, KIEMEL; JEKA, 2006; OIE ET AL., 2005; CARVER, KIEMEL; JEKA, 2006; JEKA ET AL., 2006; BARELA ET AL., EM PREPARAÇÃO) sugeriram que as alterações na variabilidade de oscilação em função da atribuição dos pesos sensoriais podem ser decorrentes do fato de que quando a utilização de uma informação sensorial é minimizada, em virtude de grandes perturbações à estabilidade do sistema, diminui-se a resposta à frequência daquele estímulo, o que pode levar ao aumento da resposta em outras frequências e, por conseguinte, aumento da variabilidade de oscilação. Por outro lado, o sistema torna-se menos variável quando a resposta é maximizada para um estímulo que não traz qualquer prejuízo à estabilidade corporal (baixa amplitude), tendo em vista que fortes acoplamentos serão mantidos na frequência deste estímulo (JEKA ET AL., 2006; ALLISON, KIEMEL; JEKA, 2006).

Os resultados do presente estudo parecem consistentes com esta sugestão quando o acoplamento das respostas posturais aos movimentos da plataforma é observado. Alterações em direções opostas dos valores de ganho em relação aos valores de variabilidade de oscilação podem ser observadas em ambas as condições. Apesar disto, quando os processos de *reweighting*, entre as informações proprioceptivas e as informações visuais, são considerados, poder-se-ia esperar que as alterações na variabilidade de oscilação fossem compensadas pela alteração dos pesos sensoriais entre estas modalidades (ALLISON, KIEMEL; JEKA, 2006). Para isto deve-se considerar o forte acoplamento entre as oscilações corporais e as informações visuais quando a plataforma foi oscilada em alta amplitude. No entanto, o aumento da variabilidade ocorreu mesmo com o aumento do peso dado à informação visual sugerindo que os processos de *reweighting* entre as modalidades

---

sensoriais não levam à diminuição da variabilidade de oscilação dos indivíduos. Os fatores que levam a estas diferenças ainda não estão claros e necessitam ser melhor examinados.

Em síntese, os resultados indicaram que aumentar os pesos dados aos estímulos sensoriais em determinadas situações é um mecanismo lento que requer que as mudanças nas condições sensoriais sejam relativamente constantes. Aumentar rapidamente a influência de um estímulo em constante mudança pode gerar instabilidade postural. Por outro lado, reduzir esta influência frente a grandes perturbações é uma característica extremamente funcional e adaptativa do sistema de controle postural. Ainda, foi possível observar como os processos de *reweighting* intra-modalidade estão dinamicamente relacionados aos processos adaptativos que ocorrem inter-modalidade, sugerindo que este é um aspecto crucial para responder às contínuas alterações no ambiente. Por fim, os resultados apontaram que o quão rápido ou lento o sistema se adapta às novas condições ambientais depende de como a estabilidade postural é afetada, sugerindo um aspecto funcional nos processos de *reweighting* entre as informações sensoriais.

## **CAPÍTULO 6.**

### **SÍNTESE DOS RESULTADOS, IMPLICAÇÕES E CONCLUSÕES**

Viver neste ambiente que, muitas vezes, é variável, imprevisível e cheio de situações novas e desafiadoras, nos permite adquirir o vasto repertório de movimentos que desenvolvemos ao longo da vida. Contudo, esta não é uma tarefa fácil considerando o conjunto de restrições que o indivíduo deve aprender para interagir funcionalmente neste ambiente em constante mudança. Ao mesmo tempo em que é necessário encontrar um relacionamento coerente e estável entre o que percebemos e como agimos, é, também, fundamental tornar-se habilidoso em modificar este relacionamento de modo a descobrir outros relacionamentos que se adequem às novas exigências do meio (THELEN, 2000). Sendo assim, estabelecer acoplamentos estáveis e, ao mesmo tempo, flexíveis entre informação sensorial e ação motora é uma característica crucial para aquisição e refinamento das habilidades motoras ao longo dos anos. Prova disto, é que a falta de estabilidade e flexibilidade no acoplamento entre percepção e ação pode refletir em um

---

reduzido repertório motor, como aquele observado, em indivíduos com necessidades especiais (POLASTRI; BARELA, 2002; 2005).

Estabilidade e flexibilidade no relacionamento entre informação sensorial e ação motora são caracterizadas pela capacidade do indivíduo ativar adequadamente a musculatura com base em informações sensoriais provenientes dos sistemas visual, vestibular e somatossensorial e manter este relacionamento mesmo quando o sistema é perturbado (SCHONER, 1991; SCHONER, 1994A; 1994B) por forças internas e/ou externas (LATASH, 1998). Mais ainda, o indivíduo não pode deixar de ajustar suas respostas, adaptativamente, às contínuas alterações nas características das informações sensoriais disponíveis, selecionando fontes mais precisas e confiáveis quando necessário (LEE & LISHMAN, 1975; DIJKSTRA; SCHONER; GIELEN, 1994; POLASTRI; BARELA; BARELA, 2001; OIE; KIEMEL; JEKA, 2002; GODOI, 2004; JEKA ET AL., 2006; ALLISON; KIEMEL; JEKA, 2006). Embora possam parecer contraditórias, estas duas características representam o quão apto o indivíduo se encontra para entender o mundo ao seu redor (THELEN; BRADLEY, 1988; THELEN, 2000).

Embora há pelo menos duas décadas, estudiosos tenham mencionado a importância de compreender como este sistema detecta e utiliza as informações sensoriais frente às alterações no ambiente ao longo dos anos (WOOLLACOTT; DEBÚ; MOWATT, 1987; SHUMWAY-COOK; WOOLLACOTT, 1995), poucos estudos exploraram estas questões e demonstraram os processos que levam o indivíduo a apresentar respostas adaptativas às demandas do meio. Com base no entendimento de que estes aspectos são cruciais para a aquisição e refinamento das habilidades motoras, a contribuição desta tese foi examinar como ocorrem os processos adaptativos ao longo do desenvolvimento, buscando entender,

---

especificamente, o funcionamento adaptativo do sistema de controle postural. A partir destes resultados, os maiores avanços alcançados foram: 1) Evidenciar que mudanças nos processos de *reweighting* podem ser cruciais para dar flexibilidade o sistema de controle postural nos primeiros meses de vida (CAPÍTULO 3); 2) Demonstrar, quantitativamente, como crianças e adultos modificam a utilização do estímulo visual frente às alterações na amplitude/velocidade deste estímulo (CAPÍTULO 4); e, finalmente, 3) Demonstrar, simultaneamente, os processos de *reweighting* entre duas modalidades sensoriais e ao longo do tempo, observando assimetria temporal nas respostas do sistema de controle postural de adultos (CAPÍTULO 5).

Em geral, os resultados do Capítulo 3 indicaram que bebês foram muito pouco influenciados pelo estímulo visual, proveniente da sala móvel, durante a manutenção da posição sentada e, desta forma, não apresentaram alterações nas respostas da cabeça quando a amplitude/velocidade deste estímulo foi aumentada. O resultado mais interessante, porém, foi o aumento da variabilidade da oscilação da cabeça, de bebês experientes no sentar independente, com o aumento da amplitude/velocidade do estímulo. No Capítulo 4, os resultados indicaram que crianças tão novas quanto 4 anos de idade apresentaram a capacidade de diminuir a influência do estímulo visual com o aumento da amplitude/velocidade deste estímulo. Contudo, crianças mais novas (4 e 8 anos) não apresentaram esta capacidade tão bem desenvolvida quanto crianças mais velhas e adultos e nem utilizaram esta informação para ações futuras. Finalmente, os resultados do Capítulo 5 apontaram que processos de *reweighting* ocorrem tanto intra- como inter-modalidades sensoriais (visual e proprioceptiva do tornozelo). Contudo, a assimetria temporal verificada



---

nas respostas corporais dos adultos sugere que estes processos podem estar relacionados às respostas funcionais para o sistema de controle postural.

### **6.1. COMPORTAMENTOS ADAPTATIVOS FRENTE ÀS ALTERAÇÕES NAS INFORMAÇÕES SENSORIAIS**

Embora, os resultados do Capítulo 3 tenham apontado um fraco acoplamento entre informação visual e oscilação da cabeça de bebês com diferentes experiências no sentar, que foi contrário aos estudos que verificaram respostas correspondentes aos estímulos visuais (POR EXEMPLO, BERTENTHAL; BAI, 1989; ROSE; BERTENTHAL, 1995; HIGGINS; CAMPOS; KERMOIAN, 1996; JOUEN ET AL., 2000), os mesmos evidenciaram aspectos muito importantes nos processos que levam os bebês a se adaptarem ao ambiente nos primeiros meses de vida.

Bebês muito jovens apresentam adaptações frente às alterações no ambiente (JOUEN ET AL., 2000; HEDBERG; FORSSBERG; HADDERS-ALGRA, 2004). Em geral, logo após o nascimento, estas respostas adaptativas atendem dois objetivos fundamentais: proteção e sobrevivência (CLARK, 1994). Apesar de estereotipados, estes comportamentos permitem que os bebês aprendam a discriminar diferentes fontes de informação sensorial e vivenciar as conseqüências percepto-motoras das alterações no meio. O resultado deste primeiro “diálogo com o ambiente”, proporcionado por estes movimentos espontâneos ou reflexivos (CLARK, 1994), os quais Barela (2007) denominou de “*kit nascimento*”, são ciclos repetitivos entre percepção e ação, que por sua vez, possibilitam a descoberta de acoplamentos coerentes e estáveis entre informação sensorial e ação motora. Contudo,

---

comportamentos estereotipados não permitem maiores interações com as constantes mudanças no ambiente tornando estas respostas inconsistentes em muitas situações.

Uma análise comparativa entre os resultados do Capítulo 3 e os resultados encontrados na literatura (BERTENTHAL; BAI, 1989; ROSE; BERTENTHAL, 1995; HIGGINS; CAMPOS; KERMOIAN, 1996; JOUEN ET AL., 2000; BARELA ET AL., 2000; 2003) pode contribuir com a discussão de dois aspectos. Nos resultados da tese, os bebês não conseguiram discriminar dentre as fontes de informações sensoriais disponíveis, as pequenas alterações no ambiente e acoplar suas respostas ao estímulo visual. Já nos estudos mencionados acima, bebês foram capazes de discriminar estas alterações e acoplar suas respostas a grandes alterações deste estímulo. Quanto maior a experiência nos principais marcos motores, dois resultados podem ser observados. Se expostos continuamente às pequenas amplitudes do estímulo, ocorre o enfraquecimento do acoplamento entre informação visual e oscilação corporal (ROSE; BERTENTHAL, 1995; BARELA ET AL., 2000; 2003). No entanto, quanto mais experientes, respostas mais correspondentes aos estímulos são verificadas (BERTENTHAL; BAI, 1989; ROSE; BERTENTHAL, 1995; HIGGINS; CAMPOS; KERMOIAN, 1996).

Este funcionamento do sistema de controle postural é pouco adaptativo para as constantes alterações do ambiente. Isto porque pode levar o bebê a não conseguir detectar as pequenas alterações ou, por outro lado, responder erroneamente a grandes alterações no ambiente o que pode ser prejudicial para manter a estabilidade corporal. Os resultados dos Capítulos 4 e 5 indicaram que adultos são capazes de diminuir rapidamente a influência de uma informação sensorial que se altera em grandes proporções (aumento de amplitude), dificultando a obtenção de estimativas confiáveis da posição e velocidade corporal. Bebês

---

apresentam esta capacidade somente após serem submetidos a repetidas exposições ao estímulo visual (ciclos percepção-ação) (BARELA ET AL., 2000). Ainda, os resultados da tese apontaram que estes processos que levam às constantes adaptações ao ambiente se modificam, pelo menos até os 8 anos, sendo que aos 12 anos de idade, crianças passam a apresentar comportamentos similares ao de adultos jovens.

Pode-se sugerir, então, que é preciso, não apenas adquirir acoplamentos coerentes e estáveis entre informação sensorial e ação motora, mas também, deve-se aprender como modificar estes acoplamentos para se adaptar às exigências do meio, tornando os comportamentos cada vez mais flexíveis e menos estereotipados. Esta flexibilidade no sistema de controle postural é alcançada por meio de mudanças nos processos adaptativos que permitem balancear adequadamente a influência das informações sensoriais de acordo com a confiabilidade e funcionalidade para o sistema. Desta forma, é necessário tornar-se habilidoso nestes processos o que implica em um acoplamento flexível e dinamicamente responsivo às demandas da tarefa (THELEN, 2000).

## **6.2. VARIABILIDADE DE OSCILAÇÃO CORPORAL**

Desde os primeiros meses de vida, parece que somos impelidos a nos tornar cada vez mais flexíveis. Suporte para esta afirmação pode ser encontrado nos resultados de alta variabilidade no comportamento das respostas posturais tanto de bebês como de crianças mais novas, nos Capítulos 3 e 4, que se reduz com o aumento da idade (i.e. experiência) até atingir um nível ótimo como aquele observado em adultos, no Capítulo 5. No Capítulo 5, com o aumento da amplitude da plataforma móvel, os adultos aumentaram a variabilidade

---

de oscilação em outras frequências diferentes do estímulo alterado. Neste caso, maior variabilidade pode refletir flexibilidade para encontrar um novo acoplamento entre informação sensorial e oscilação corporal. Desta forma, o comportamento adaptativo do sistema parece estar associado a certo nível ótimo de variabilidade.

Com base nisto, observando os resultados da tese, pode-se dizer que embora, o sistema de controle postural de bebês tenha sofrido pouca influência do estímulo visual, os mesmos foram capazes de detectar alguma alteração no ambiente quando a amplitude do estímulo visual foi aumentada, apresentando maior variabilidade de oscilação. Neste caso, esta variabilidade foi decorrente da dificuldade do bebê em utilizar adequadamente as informações sensoriais disponíveis para ativar a musculatura necessária para manter a cabeça na posição vertical. Por outro lado, esta mesma variabilidade pode desempenhar um papel importante nestes primeiros meses de vida, tendo em vista, que o sistema é exposto continuamente ao meio e precisa aprender as relações entre as diversas fontes sensoriais de acordo com as restrições impostas pelo ambiente, pela tarefa e pelas características individuais (THELEN, 1995; 2000). Recentemente, Chen, Metcalfe, Jeka e Clark (2007) verificaram que no momento de aquisição do andar independente, maior variabilidade de oscilação corporal foi verificada no marco desenvolvimental anterior, o sentar independente, sugerindo reorganização na forma como o bebê interage no ambiente.

Ainda, clara mudança desenvolvimental foi observada na variabilidade de oscilação corporal entre crianças e adultos do Capítulo 4, sendo esta variabilidade menor com o aumento da idade. É interessante, que esta variabilidade nas crianças mais novas não refletiu em diferenças no acoplamento entre informação visual e oscilação corporal nas primeiras tentativas de baixa amplitude/velocidade do estímulo visual, mas pode ter sido a

---

causa para as diferenças encontradas durante e após a tentativa de amplitude/velocidade do estímulo visual. Dificuldade no processo de *reweighting* tem sido sugerida como uma das fontes desta maior variabilidade nas ações motoras, nos primeiros anos de vida (BARELA; JEKA; CLARK, 2003; GODOI, 2004; GODOI; BARELA, SUBMETIDO).

Outro aspecto interessante, revelado pelos resultados do Capítulo 4, é que mesmo crianças de 4 anos apresentaram aumento da variabilidade na mesma direção dos adultos nos Capítulos 4 e 5, sendo o aumento da amplitude/velocidade do estímulo visual associado ao aumento da variabilidade de oscilação. Crianças de 12 anos foram um pouco mais variáveis no acoplamento entre informação visual e oscilação corporal em comparação com os adultos jovens, porém, conseguiram reorganizar suas informações sensoriais de modo a utilizar esta nova reorganização das informações para ações futuras. Desta forma, mudanças desenvolvimentais no processo de *reweighting* parecem estar associadas à diminuição da variabilidade de oscilação ao longo dos anos.

### **6.3. ADAPTAÇÃO FRENTE À MANIPULAÇÃO ENTRE DUAS MODALIDADES SENSORIAIS**

Um dos principais resultados da tese foi a demonstração dos processos de *reweighting* entre duas modalidades sensoriais e a verificação se estes processos ocorrem simultaneamente e com a mesma magnitude de resposta (*downweight* e *upweight*) entre estas modalidades. Estudos recentes apenas tinham demonstrado estes processos intra-modalidade sensorial (OIE; KIEMEL; JEKA, 2002; OIE ET AL, 2005).

Os resultados do Capítulo 5 mostraram que como sugerido e modelado (CARVER ET AL., 2005; CARVER; KIEMEL; JEKA, 2006), o sistema de controle postural apresenta

---

características não-lineares de funcionamento uma vez que diminui a influência de um determinado estímulo sensorial em suas respostas quando a amplitude deste estímulo é aumentada. Esta característica pode ser observada tanto intra- como inter-modalidade sensorial. Ainda, a diminuição da utilização de informações proprioceptivas da articulação do tornozelo, em decorrência dos movimentos da plataforma, pode apontar que o processo de *reweighting* ocorre independentemente das modalidades sensoriais (informações visuais, proprioceptivas, somatossensoriais). A partir destes resultados, é possível, então, afirmar que ocorre uma reorganização no peso das informações sensoriais nas respostas posturais, com a diminuição da influência de um canal sensorial e aumento em outro canal, simultaneamente. Ainda, estes resultados podem suportar as discussões dos Capítulos 3 e 4.

Os resultados do Capítulo 5, também, evidenciaram uma propriedade adaptativa dinâmica no sistema de controle postural, assimetria temporal nas respostas posturais. Aumentar e/ou diminuir a influência tanto intra- como inter-modalidade sensorial foi dependente do quanto as alterações nas informações prejudicaram a estabilidade corporal. Diminuir (*downweight*) a influência de uma informação rapidamente (diminuir as respostas correspondentes ao estímulo) é essencial quando ocorrem grandes alterações no ambiente. Já aumentar (*upweight*) a influência desta informação lentamente pode ser uma estratégia do sistema de controle postural para garantir rápidas respostas caso novas alterações possam ocorrer (OIE ET AL., 2005, BARELA ET AL., EM PREPARAÇÃO). Direções opostas nas respostas para outro canal sensorial parecem ocorrer pela mesma razão. Estes resultados sugerem que múltiplos mecanismos podem estar envolvidos nos processos de *reweighting* entre as modalidades sensoriais.

#### 6.4. IMPLICAÇÕES DOS RESULTADOS E DIREÇÕES FUTURAS

A partir dos resultados observados, pode-se sugerir que os processos envolvidos no funcionamento adaptativo do sistema de controle postural não são similares ao longo dos anos. Mais ainda, mudanças desenvolvimentais nestes processos são fundamentais para trazer flexibilidade aos acoplamentos coerentes e estáveis entre informação sensorial e ação motora, o que implica na possibilidade de interagir funcionalmente com o meio em que se vive.

Processos adaptativos (*reweighting*) permitiram que adultos conseguissem adequar suas respostas às influências do ambiente, respondendo, rapidamente, quando solicitados e, cautelosamente, quando necessário. Já crianças apresentaram estes processos não tão bem desenvolvidos, o que refletiu em maior magnitude de respostas ao estímulo alterado e maior influência de outras informações que, embora, disponíveis, não eram confiáveis. Por fim, bebês apresentaram estes processos muito pouco desenvolvidos quando pequenas alterações do estímulo deveriam ter sido detectadas e balanceadas.

A partir dos resultados da tese, é importante compreender, como os indivíduos estabelecem estas relações ótimas com o ambiente e como estas relações se modificam em função de diferentes contextos. Especificamente, algumas questões que surgiram e necessitam ser melhor investigadas são:

- 1) Seria a magnitude do estímulo ou o tempo de exposição aos estímulos que possibilitaria bebês e crianças mais novas a desenvolverem os processos que permitem balancear as informações sensoriais (*reweighting*) de acordo com o contexto?

2) Se o tempo de exposição ao estímulo propiciasse processos de *reweighting* mais adequados, será que isto se refletiria na redução da variabilidade observada nas ações de crianças mais novas?

3) Como seriam os processos de *reweighting* inter-modalidades sensoriais ao longo do desenvolvimento? Crianças, também, apresentariam alterações simultâneas entre as modalidades sensoriais? Seria possível observar assimetria temporal nestas respostas?

4) Qual a razão para a maior variabilidade de oscilação verificada com o aumento da amplitude da plataforma móvel, tendo em vista, o forte acoplamento das respostas posturais aos estímulos visuais? Haveria outros mecanismos adaptativos no sistema de controle postural de adultos?

Estas e outras questões, ainda, necessitam de respostas para que possamos compreender os fatores que levam às mudanças no processo de *reweighting* sensorial, uma vez que estas mudanças parecem basear as mudanças desenvolvimentais que ocorrem ao longo dos anos.

## 6.5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, é possível concluir que:

- Pequenas alterações do estímulo visual têm fraca influência sobre as oscilações corporais de bebês com pouca experiência e experientes no sentar independente, o que pode ter sido a causa para eles não apresentassem adaptações às alterações na amplitude do estímulo visual;



- 
- Crianças mesmo de 4 anos de idade já apresentam a capacidade adaptativa de rapidamente diminuir a influência do estímulo visual quando a amplitude deste estímulo é aumentada. Entretanto, pelo menos, até os 8 anos, crianças ainda apresentam diferenças na magnitude de adaptação comparado com o observado em crianças mais velhas e adultos;
  - Alteração na amplitude do estímulo proprioceptivo do tornozelo, produz reorganização da influência dos estímulos, visual e proprioceptivo, simultaneamente, nas respostas posturais de adultos;
  - Diminuir a influência frente ao aumento na amplitude de estímulo é mais rápido do que aumentar esta influência quando a amplitude do estímulo é diminuída;
  - Comportamento adaptativo, observado nos primeiros anos de vida, pode ser crucial para desenvolver um relacionamento estável, e ao mesmo tempo, flexível entre as informações sensoriais e atividade motora frente às constantes alterações no ambiente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGULO-KINZLER, R. M.; HORN, C. L. Selection and memory of a lower limb motor-perceptual task in 3-month-old infants. Infant Behavior and Development, v. 24, p. 239-257, 2001.

ALLISON, L.; KIEMEL, T.; JEKA, J. Multisensory reweighting of vision and touch is intact in healthy and fall-prone older adults. Experimental Brain Research, v. 175, p. 342-352, 2006.

ASHMEAD, D.A.; MCCARTY, M.E. Postural sway of human infants while standing in light and dark. Child Development, v.62, p.1276-1287, 1991.

BARDY, B. G.; OULLIER, O.; BOOTSMA, R. J.; STOFFREGEN, T. A. Dynamics of human postural transitions. Journal of Experimental Psychology, v. 28, n. 3, p. 499-514, 2002.

BARELA, J. A. Development of postural control: the coupling between somatosensory information and body sway. 1997. 352f. Tese (Doctor of Philosophy) - College Park, University of Maryland, Maryland, 1997.

- 
- BARELA, J.A. Estratégias de controle em movimentos complexos: ciclo percepção-ação no controle postural. Revista Paulista de Educação Física, v. s.3, p.79-88, 2000.
- BARELA, J. A.; JEKA, J. J.; CLARK, J. E. The use of somatosensory information during the acquisition of independent upright stance. Infant Behavior and Development, v. 22, n. 1, p. 87-102, 1999.
- BARELA, J. A.; JEKA, J. J.; CLARK, J. E. Postural control in children: coupling to dynamic somatosensory information. Experimental Brain Research, v. 150, p. 434-442, 2003.
- BARELA, J. A.; POLASTRI, P. F.; GODOI, D. Controle postural em crianças: oscilação corporal e frequência de oscilação. Revista Paulista de Educação Física, v.14, n.1, p.68-77, 2000.
- BARELA, J. A.; GODOI, D.; FREITAS JÚNIOR, P. B.; POLASTRI, P. F. Visual information and body sway coupling in infants during sitting acquisition. Infant Behavior and Development, v. 23, n. 3-4, p. 285-297, 2000.
- BARELA, J. A.; GODOI, D.; FREITAS JÚNIOR, P. B.; POLASTRI, P. F. The coupling between visual information and trunk sway in infants and children. Journal of Sport & Exercise Psychology, v. 23, n. s48, 2001.
- BARELA, J. A.; POLASTRI, P. F.; FREITAS JÚNIOR, P. B.; GODOI, D. Efeito da exposição visual no acoplamento entre informação visual e controle postural em bebês. Revista Paulista de Educação Física, v. 17, n. 1, p. 16-31, 2003.
- BARELA, J. A.; POLASTRI, P. F.; GODOI, D.; WEIGELT, M.; JEKA, J. J. Explicit and implicit knowledge of environment states in postural control (em preparação).
- BERTENTHAL, B. I.; BAI, D. L. Infants' sensitivity to optical flow for controlling posture. Developmental Psychology, v. 25, n. 6, p. 936-945, 1989.

- 
- BERTENTHAL, B.; BOKER, S. M.; XU, M. Analysis of the perception-action cycle for visually induced postural sway in 9-month-old sitting infants. Infant Behavior and Development, v. 23, p.299-315, 2000.
- BERTENTHAL, B. I.; CLIFTON, R. K. Perception and action. In: K. Kuhn; R. Siegler (Eds.) Handbook of child physiology: cognition, perception and language (1-120). Wiley, v. 2, 1997.
- BERTENTHAL, B. I.; ROSE, J. L.; BAI, D. L. Perception-action coupling in the development of visual control of posture. Journal of Experimental Psychology, v. 23, n. 6, p. 1631-1643, 1997.
- BLUMLE, A.; MAURER, C.; SCHWEIGART, G.; MERGNER, T. A cognitive intersensory interaction mechanism in human postural control. Experimental Brain Research, v. 173, n. 3, p. 357-363, 2006.
- BONFIM, T. R.; POLASTRI, P. F.; BARELA, J. A. Efeito do toque suave e da informação visual no controle da posição em pé de adultos. Revista Brasileira de Educação Física e Esporte, v. 20, n. 1, p. 15-25, 2006.
- BUTTERWORTH, G.; HICKS, L. Visual proprioception and postural stability in infancy: a developmental study. Perception, London, v.6, 256-263, 1977.
- CARVER, S.; KIEMEL, T., VAN DER KOOIJ, H.; JEKA, J. J. Comparing internal models of the dynamics of the visual environment. Biological Cybernetics, v. 92, 147-163, 2005.
- CARVER, S.; KIEMEL, T., JEKA, J. J. Modeling the dynamics of sensory reweighting. Biological Cybernetics, v. 92, n. 2, 123-134, 2006.

- 
- CHEN, L.; METCALFE, J. S.; JEKA, J. J.; CLARK, J. E. Two steps forward and one back: learning to walk affects infant's sitting posture. Infant Behavior and Development, v. 30, p. 16-25, 2007.
- CHERNG, R. J.; LEE, H. Y.; SU, F. C. Frequency spectral characteristics of standing balance in children and young infants. Medical Engineering & Physics, v. 25, p. 509-515, 2003.
- CLARK, J. E. Motor Development. Encyclopedia of Human Behavior, v. 3, p. 245-255, 1994.
- CORDO, P. J.; NASHNER, L. M. Properties of postural adjustments associated with rapid arm movements. Journal of Neurophysiology, v. 47, n. 2, p. 28-302, 1982.
- CORRÊA, U.; TANI, G. Estrutura de prática e processo adaptativo em aprendizagem motora: por uma nova abordagem de prática. In: G. Tani (Ed.) Comportamento Motor: Aprendizagem e Desenvolvimento (pp.141-161). Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2005.
- CREATH, R.; KIEMEL, T.; HORAK, F.; PETERKA, R.; JEKA, J. J. A unified view of quiet and perturbed stance: simultaneous co-existing excitable modes. Neuroscience Letters, v. 377, p. 75-80, 2005.
- CUPPS, B. Postural control: a current view. Neuro Developmental Treatment, jan/fev p.3-8, 1997.
- DELORME, A.; FRIGON, J.Y.; LAGACÉ, C. Infant's reactions to visual movement of the environment. Perception, v.18, p. 667-673, 1989.
- DIJKSTRA, R. M. H.; SHÖNER, G.; GIELEN, C. C. A. M. Temporal stability of the action-perception cycle for postural control in a moving visual environment. Experimental Brain Research, v. 97, p. 477-486, 1994.

DIJKSTRA, R. M. H.; SHÖNER, G.; GIESE, M.A.; GIELEN, C .C. A. M. Frequency dependence of the action-perception cycle for postural control in a moving visual environment: relative phase dynamics. Biological Cybernetics, n. 71, p. 489-501, 1994.

FIGURA, F.; CAMA, G.; CAPRANICA, L.; GUIDETTI, L.; PULEJO, C. Assessment of static balance in children. The Journal of Sport Medicine and Physical Fitness, v.31, n.2, p.235-242, 1991.

FREITAS JÚNIOR, P.B.; BARELA, J.A. Postural control as a function of self- and object-motion perception. Neuroscience Letters, v.369 n. 1, p. 64-68, 2005.

FOSTER, E. C.; SVEISTRUP, H.; WOOLLACOTT, M. H. Transitions in visual proprioception: a cross-sectional developmental study of the effect of visual flow on postural control. Journal of Motor Behavior, v. 28, n.2, p.101-112, 1996.

GILMORE, R. O.; BAKER, R. J.; GROBMAN, K. H. Stability in young infant' discrimination of optic flow. Developmental Psychology, v.40, n.2, p.259-270, 2004.

GODOI, D. Efeitos da manipulação do estímulo visual no controle postural nas faixas etárias de 4 a 14 anos de idade. 2004. 123f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Motricidade) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.

GUERRAZ, M.; THILO, K. V.; BRONSTEIN, A. M.; GREY, M. A. Influence of action and expectation on visual control of posture. Cognitive Brain Research, v. 11, p. 259-266, 2001.

HEDBERG, A.; FORSSBERG, H.; HADDERS-ALGRA, M. Postural adjustments due to external perturbations during sitting in 1 month-old infants: evidence for the innate origin of direction specificity. Experimental Brain Research, v. 157, p. 10-17, 2004.

---

HIGGINS, C.I.; CAMPOS, J.J.; KERMOIAN, R. Effect of self-produced locomotion on infant postural compensation to optic flow. Developmental Psychobiology, v.32, n.5, p.836-841, 1996.

HIRABAYASHI, S.; IWASAKI, Y. Developmental perspective of sensory organization on postural control. Brain & Development, v.17, p. 111-113, 1995.

HOLDEN, M., VENTURA, J., LACKNER, J. R. Stabilization of posture by precision contact of index finger. Journal of Vestibular Research, v. 4, p. 285-301, 1994.

HORAK, F. B.; DIENER, H. C.; NASHNER, L. M. Influence of central set on human postural responses. Journal of Neurophysiology, v.62, n. 4, p. 841-853, 1989.

HORAK, F.B., MACPHERSON, J.M. Postural orientation and equilibrium. In: L.B.Rowell; J.T. Shepherd (Eds.), Handbook of Physiology (pp. 255-292). New York: Oxford University Press, 1996.

JEKA, J.J.; LACKNER, J.R. Fingertip contact influences human postural control. Experimental Brain Research, v.100, p.495-502, 1994.

JEKA, J.J.; LACKNER, J.R. The role of haptic cues from rough and slippery surfaces in human postural control. Experimental Brain Research, v.103, p.267-276, 1995.

JEKA, J.J.; SCHÖNER, G.; DIJKSTRA, T.; RIBEIRO, P.; LACKNER, J. R. Coupling of fingertip somatosensory information to head and body sway. Experimental Brain Research, v.113, p.475-483, 1997.

JEKA, J.J.; OIE, K.; SCHÖNER, G.; DIJKSTRA, T.; HENSON, E. Position and velocity coupling of postural sway to somatosensory drive. Journal of Neurophysiology, v.79, p.1661-1674, 1998.

- 
- JEKA, J. J.; OIE, K.; KIEMEL, T. Multisensory information for human postural control: integration touch and vision. Experimental Brain Research, v.134, 107-125, 2000.
- JEKA, J. J.; ALLISON, L.; SAFFER, M.; ZHANG, Y.; CARVER, S.; KIEMEL, T. Sensory reweighting with translational visual stimuli in young and elderly adults: the role of state-dependent noise. Experimental Brain Research, v.174, 517-527, 2006.
- JOUEN, F. Visual-proprioceptive control of posture in newborn infants. In: Amblard, B.; Berthoz, A.; Clarac, F., Posture and gait: development, adaptation and modulation (pp. 13-22). Elsevier, 1988.
- JOUEN, J. J.; LEPECQ, J.; GAPENNE, O.; BERTENTHAL, B. L. Optic flow sensitivity in neonates. Infant Behavior and Development, v. 23, p. 271-284, 2000.
- KELLY, J. P. The sense of balance. In: Kandel, E.R.; Schwartz, J.H.; Jessel, T.M. (Eds.) Principles of Neural Science (pp. 420-439). Elsevier, 1991.
- KIEMEL, T., OIE, K. S., & JEKA, J. J. Multisensory fusion and the stochastic structure of postural sway. Biological Cybernetics, v. 262, p. 262-277, 2002.
- KIEMEL, T., OIE, K. S., & JEKA, J. J. Slow dynamics of postural sway are in the feedback loop. Journal of Neurophysiology, v. 95, p. 1410-1418, 2006.
- KONRAD, P. The ABC of EMG: a practical introduction to kinesiological electromyography, 2005.
- LATASH, M. L. Neurophysiological basis of movement. Human Kinetics, 1998. p. 163-178.
- LEE, D. N.; ARONSON, E. Visual proprioceptive control of standing in human infants. Perception & Psychophysics, v. 15, n.3, p. 529-532, 1974.
- LEE, D. N.; LISHMAN, J. R. Visual proprioceptive control of stance. Journal of Human Movement Studies, n. 1, p. 87-95, 1975.



- 
- MANOEL, E. J. Adaptação e Desenvolvimento Motor. In: G. Tani (Ed.) Comportamento Motor: Aprendizagem e Desenvolvimento (pp.71-81). Guanabara Koogan, 2005.
- METCALFE, J.; CHEN, L., CHANG, T.; MCDOWELL, K.; JEKA, J. J., CLARK, J. E. The changing temporal organization of posture across the first year of independent walking. Experimental Brain Research, v. 161, p. 405-416, 2005.
- NASHNER, L. M. Analysis of stance posture in humans. In. Towe, A. L.; Luschei, E. S. (Eds), Handbook of Behavioral Neurology (pp. 527-565). New York: Plenum, 1981.
- OIE, K.; KIEMEL, T.; JEKA, J. Human multisensory fusion on vision and touch: detecting non-linearity with small changes in the sensory environment. Neuroscience Letters, v. 315, p. 113-116, 2001.
- OIE, K.; KIEMEL, T.; JEKA, J. Multisensory fusion: simultaneous re-weighting of vision and touch for the control of human posture. Cognition Brain Research, v.14, n. 1, p. 164-176, 2002.
- OIE, K. S., KIEMEL, T., BARELA, J. A., & JEKA, J. J. The dynamics of sensory reweighting: a temporal asymmetry. Gait & Posture, v. 21, n. 1, S29, 2005.
- PAULUS, M.; STRAUBE, A.; BRANDT, T. Visual stabilization of posture: physiological stimulus characteristics and clinical aspects. Brain: a journal of neurology, v. 107, p. 1143-1163, 1984.
- PEROTTI JÚNIOR, A.; BARELA, J. A.; POLASTRI, P. F.; TANI, G. Influência da informação verbal no ciclo percepção-ação. In: Congresso Brasileiro de Comportamento Motor e IV Seminário de Comportamento Motor, v. 1, 2004, Belo Horizonte. Anais ...Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.

- 
- PEROTTI JÚNIOR, A.; BARELA, J. A.; TANI, G.; POLASTRI, P. F. Efeitos da informação verbal no controle postural: dados preliminares. In: III Congresso Científico Latino-Americano de Educação Física e Esportes/Unimep e I Simpósio Latino-Americano da Universidade do Futebol e I Simpósio Latino-Americano de Motricidade Humana, 2004, Piracicaba. Anais... São Paulo : Divultec Ltda, 2004. p. 1410-1410.
- PETERKA, R. J. Sensorimotor integration in human postural control. Journal of Neurophysiology, v. 88, p. 1097-1118, 2002.
- PETERKA, R. J.; BENOLKEN, M. S. Role of somatosensory and vestibular cues in attenuating visually induced human postural sway. Experimental Brain Research, v. 105, p. 101-110, 1995.
- PETERKA, R. J.; LOUGHLIN, P. J. Dynamic regulation of sensorimotor integration in human postural control. Journal of Neurophysiology, v. 91, p. 410-423, 2004.
- PETERSEN, M. L.; CHRISTOU, E.; ROSENGREN, K. S. Children achieve adult-like sensory integration during stance at 12-years-old. Gait and Posture, 2006 (doi:10.1016/j.gaitpost.2005.05.003).
- POLASTRI, P. F.; BARELA, A. F.; BARELA, J. A. Controle postural em idosos: relacionamento entre informação visual e oscilação corporal. In: Congresso Brasileiro de Biomecânica, v. 2, 2001, Gramado. Anais... Porto Alegre: Escola de Educação Física da UFRGS.
- POLASTRI, P. F.; BARELA, J. A. Percepção-ação no desenvolvimento motor de portadores de Síndrome de Down. Revista da Sociedade Brasileira de Atividade Motora Adaptada, v. 7, p. 1-8, 2002.

---

POLASTRI, P. F.; BONFIM, T. R.; BARELA, J. A. Efeito do toque suave no acoplamento entre informação visual e oscilação corporal em crianças. Motriz, Rio Claro, v. 11, n. 1, p. S142, 2005.

POLASTRI, P. F.; GODOI, D.; BARELA, J. A. Efeitos da prática sobre a dinâmica intrínseca do sistema de controle postural em adultos jovens. In: III Seminário de Comportamento Motor. 2002, Gramado. Anais... Porto Alegre: Escola de Educação Física. UFRGS, 2002.

PORTFORS-YEOMANS, C.; RIACH, C.L. Frequency characteristics of postural control of children with and without visual impairment. Developmental Medicine and Child Neurology, v.37, p. 456-463, 1995.

PRIOLI, A. C., FREITAS JÚNIOR, P. B., & BARELA, J. A. Physical activity and postural control in the elderly: Coupling between visual information and body sway. Gerontology, v. 51, p. 145-148, 2005.

RIACH, C. L.; HAYES, K. C. Maturation of postural sway in young children. Developmental Medicine and Child Neurology, v. 29, p.650-658, 1987.

RIACH, C. L.; STARKES, J. L. Visual fixation and postural sway in children. Journal of Motor Behavior, v. 21, n.3, p. 265-276, 1989.

RIACH, C. L.; STARKES, J. L. Velocity of centre of pressure excursions as an indicator of postural control systems in children. Gait & Posture, v. 2, p. 167-172, 1994.

RIVAL, C.; CEYTE, H.; OLIVIER, I. Developmental changes of static standing balance in children. Neuroscience Letters, v. 376, p.133-136, 2005.

ROSE, J. L.; BERTENTHAL, B. I. A longitudinal study of the visual control of posture in infancy. In B. G. Bardy; R. J. Bootsma; Y. Guiard (Eds.) Studies in perception and action III (pp.251-253). Lawrence Erlbaum Associates, 1995.

- 
- SCHÖNER, G. Dynamic theory of action-perception patterns: the “moving room” paradigm. Biological Cybernetics, v. 64, p. 455-462, 1991.
- SCHÖNER, G.; DIJKSTRA, T.M.H.; JEKA, J.J. Action-perception patterns emerge from coupling and adaptation. Ecological Psychology, v.10, n.3-4, p.323-346, 1998.
- SCHÖNER, G.; KELSO, J. A. S. Dynamic pattern generation in behavioral and neural systems. Science, v. 239, n. 4847, p. 1513-1520, 1988a.
- SCHÖNER, G.; KELSO, J. A. S. A synergetic theory of environmentally-specified and learned patterns of movement coordination. I. Relative phase dynamics. Biological Cybernetics, v. 58, n.2, p. 71-80, 1988b.
- SCHÖNER, G.; KELSO, J. A. S. A synergetic theory of environmentally-specified and learned patterns of movement coordination. II. Component oscillator dynamics, Biological Cybernetics, v. 58, n.2, p. 81-89, 1988c.
- SCHUMUCKLER, M. A. Children postural sway in response to low- and high-frequency visual information for oscillation. Journal of Experimental Psychology, v. 23, n.2, p.528-545, 1997.
- SHUMWAY-COOK, A.; WOOLLACOTT, M. H. Dynamic of postural control in child with Down syndrome. Physical Therapy, v. 65, n. 9, p. 1315-1322, 1985.
- STOFFREGEN, T. A., HOVE, P., SCHMIT, J., & BARDY, B. G. Voluntary and involuntary postural responses to imposed optic flow. Motor Control, v. 10, p. 24-33, 2006.
- STREEPEY, J. W.; ANGULO-KINZLER, R. M. The role of task difficult in the control of dynamic balance in children and adults. Human Movement Science, v.21, n.4, p. 423-438., 2002.

- SOAMES, R. W.; ATHA, J. The spectral characteristics of postural sway behavior. European Journal of Applied Physiology, v.49, p. 169-177, 1982.
- TAGUCHI, K.; TADA, C. Change of body sway with growth of children. In: Amblard, B.; Berthoz, A.; Clarac, F. (Eds.) Posture and gait: development, adaptation and modulation (pp.59-65). Oxford: Excerpta Medica, 1988.
- TANI, G. Processo adaptativo: uma concepção de aprendizagem motor além da estabilização. In: G. Tani (Ed.) Comportamento Motor: Aprendizagem e Desenvolvimento (pp. 60-70). Guanabara Koogan, 2005.
- THELEN, E. Motor development: a new synthesis. American Psychologist, v. 50, n.2, p. 79-95, 1995.
- THELEN, E.; BRADLEY, N. S. Motor development: posture and locomotion. In: E. Meisami; P. S. Timiras (Eds.) Handbook of human growth and developmental biology (pp. 221-236). CRS Press, v. 1, 1988.
- USUI, N.; MAEKAWA, K.; HIRASAWA, Y. Development of the upright postural sway of children. Developmental Medicine and Child Neurology, v.37, p.985-996, 1995.
- VAN DER KOOIJ, H.; JACOBS, R.; KOOPMAN, B.; GROOTENBOER, H. A multisensory integration model of human stance control. Biological Cybernetics, v. 80, p. 299-308, 1999.
- VAN DER KOOIJ, H.; JACOBS, R.; KOOPMAN, B.; VAN DER HELM, F. An adaptive model of sensory integration in a dynamic environment applied to human stance control. Biological Cybernetics, v. 84, p. 103-115, 2001.
- VON HOFSTEN, C.; ROSANDER, K. The development of gaze control and predictive tracking in young infants. Vision Research, v. 36, n. 1, p. 81-96, 1996.
- WINTER, D.A. Biomechanics and Motor Control of Human Movement. Wiley, 1990.

---

WOOLLACOTT, M.H. Posture and gait from newborn to elderly. In: Amblard, B.; Berthoz, A.; Clarac, F. (Eds.) Posture and gait: development, adaptation and modulation (pp. 3-12). Excerpta Medica, 1988.

WOLFF, D. R.; ROSE, J.; JONES, V. K.; BLOCH, D. A.; OEHLERT, W.; GAMBLE, J. G. Postural balance measurements for children and adolescents. Journal of Orthopedical Research, v. 16, n. 2, p. 271-275, 1998.

WOOLLACOTT, M.H.; SHUMWAY-COOK, A. Changes in posture control across the life span - A systems approach. Physical Therapy, v.70, n.12, p.799-807, 1990.

WOOLLACOTT, M.H.; DEBÚ, B.; MOWATT, M. Neuromuscular control of posture in the infant and child: is vision dominant? Journal of Motor Behavior, v.19, n.2, p.167-186, 1987.

ZERNICKE, R.F.; GREGOR, R.J.; CRATTY, B.J. Balance and visual proprioception in children. Journal of Human Movement Studies, v.8, p.1-13, 1982.

# **A**NEXO 1.

**PARECER DE APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA DO  
IB/UNESP/RC**



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Câmpus de Rio Claro  
Seção Técnica Acadêmica  
Comitê de Ética em Pesquisa



Rio Claro, 25 de março de 2004.


Ofício CEP 24/2004

Prezado senhor:

Informo que em reunião realizada em 16.03.2004, o Comitê de Ética em Pesquisa do Instituto de Biociências, UNESP, Câmpus de Rio Claro (CEP-IB-UNESP), aprovou o projeto de pesquisa intitulado *Acoplamento entre informação sensorial com diferentes amplitudes e velocidades e oscilação corporal em bebês, crianças e adultos*, sob sua responsabilidade, protocolo 007942, datado de 18/12/2003.

Sendo o que se apresenta para o momento, reitero meus protestos de consideração e coloco-me à disposição para eventuais esclarecimentos.

Atenciosamente,



Prof. Dra. Rosa Maria Feiteiro Cavallari  
Coordenadora do Comitê

Ilmo. Sr.  
**Prof. Dr. JOSÉ ANGELO BARELA**  
DD. Docente do Departamento de Educação Física - IB  
UNESP - CRC

Instituto de Biociências  
Avenida 24-A nº 1515 - CEP 13506-900 - Rio Claro - S.P. - Brasil  
tel 19 3526-4100 - fax 19 3534-0009 - <http://www.ib.unesp.br>

UNESP - RIO CLARO - 25/03/2004 - 11:15 AM



# **A**NEXO 2.

## **TERMOS DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

**TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

**Projeto:** *PROCESSOS ADAPTATIVOS NO SISTEMA DE CONTROLE POSTURAL DE BEBÊS, CRIANÇAS E ADULTOS*

**Declaração:** Eu declaro que tenho mais que 18 anos e permito que meu (minha) filho (a) participe do projeto de pesquisa conduzido pela doutoranda Paula F. Polastri Zago sob a orientação do Prof. José Angelo Barela no Laboratório para Estudos do Movimento (LEM) - Depto. de Educação Física - Instituto de Biociências - UNESP/RC.

**Objetivo:** Eu entendo que o objetivo deste projeto é examinar o acoplamento entre informação visual e oscilação corporal em bebês de 5 e 7 meses de idade frente à diferentes parâmetros de informação visual.

**Procedimentos:** Os procedimentos deste projeto requerem uma visita ao LEM quando meu (minha) filho (a) deverá permanecer na posição sentada, dentro de uma “sala móvel” durante 60 segundos, tendo que permanecer olhando para frente.

**Riscos:** Eu entendo que meu (minha) filho (a) não corre risco algum decorrente da participação neste projeto.

**Confidencialidade:** Eu entendo que todas as informações coletadas no estudo são confidenciais e que o nome de meu (minha) filho (a) não será divulgado em momento algum. Ainda, toda e qualquer informação será utilizado para fins acadêmicos.

**Benefícios:** Eu entendo que o desenvolvimento deste projeto e a participação de meu (minha) filho (a) não proporcionará qualquer benefício para ele (a), sendo que este projeto busca apenas compreender o relacionamento entre informação visual e controle postural.

**Liberdade para interromper a participação:** Eu entendo que a qualquer momento posso pedir para interromper a participação de meu (minha) filho (a) na realização do experimento. Eu também entendo que, se assim eu desejar, o responsável pelo estudo irá fornecer os resultados da participação de meu (minha) filho (a) em outra oportunidade.

**Identificação do responsável pelo estudo:**

Doutoranda PAULA F. POLASTRI ZAGO  
Laboratório para Estudos do Movimento  
Depto de Educação Física - IB - UNESP/RC  
Av: 24-A, 1515 - Bela Vista  
Rio Claro - SP CEP: 13505-900  
Fone: (19) 3526-4312

**Identificação do orientador do estudo:**

Prof. Dr. JOSÉ ANGELO BARELA  
Laboratório para Estudos do Movimento  
Depto de Educação Física - UNESP/RC  
Av: 24-A, 1515 - Bela Vista  
Rio Claro - SP CEP: 13505-900  
Fone: (19) 3526-4108

Nome do responsável: \_\_\_\_\_

Endereço: \_\_\_\_\_ Cidade/Estado: \_\_\_\_\_

CEP: \_\_\_\_\_ Telefone: (\_\_\_\_) \_\_\_\_\_

RG: \_\_\_\_\_

Assinatura do Responsável

Assinatura do Responsável pelo Estudo

**TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

**Projeto:** *PROCESSOS ADAPTATIVOS NO SISTEMA DE CONTROLE POSTURAL DE BEBÊS, CRIANÇAS E ADULTOS.*

**Declaração:** Eu declaro que tenho mais que 18 anos e permito que meu (minha) filho (a) participe do projeto de pesquisa conduzido pela doutoranda Paula F. Polastri Zago sob a orientação do Prof. José Angelo Barela no Laboratório para Estudos do Movimento (LEM) - Depto. de Educação Física - Instituto de Biociências - UNESP/RC.

**Objetivo:** Eu entendo que o objetivo deste projeto é examinar o acoplamento entre informação visual e oscilação corporal em crianças de 4, 8 e 12 anos frente a diferentes parâmetros de informação visual.

**Procedimentos:** Os procedimentos deste projeto requerem uma visita ao LEM quando meu (minha) filho (a) deverá permanecer em pé, com os braços colocados ao lado do corpo, dentro de uma “sala móvel” durante 60 segundos, tendo que permanecer olhando para frente.

**Riscos:** Eu entendo que meu (minha) filho (a) não corre risco algum decorrente da participação neste projeto.

**Confidencialidade:** Eu entendo que todas as informações coletadas no estudo são confidenciais e que o nome de meu (minha) filho (a) não será divulgado em momento algum. Ainda, toda e qualquer informação será utilizado para fins acadêmicos.

**Benefícios:** Eu entendo que o desenvolvimento deste projeto e a participação de meu (minha) filho (a) não proporcionará qualquer benefício para ele (a), sendo que este projeto busca apenas compreender o relacionamento entre informação visual e controle postural.

**Liberdade para interromper a participação:** Eu entendo que a qualquer momento posso pedir para interromper a participação de meu (minha) filho (a) na realização do experimento. Eu também entendo que, se assim eu desejar, o responsável pelo estudo irá fornecer os resultados da participação de meu (minha) filho (a) em outra oportunidade.

**Identificação do responsável pelo estudo:**

Doutoranda PAULA F. POLASTRI ZAGO  
Laboratório para Estudos do Movimento  
Depto de Educação Física - IB - UNESP/RC  
Av: 24-A, 1515 - Bela Vista  
Rio Claro - SP CEP: 13505-900  
Fone: (19) 3526-4312

**Identificação do orientador do estudo:**

Prof. Dr. JOSÉ ANGELO BARELA  
Laboratório para Estudos do Movimento  
Depto de Educação Física - UNESP/RC  
Av: 24-A, 1515 - Bela Vista  
Rio Claro - SP CEP: 13505-900  
Fone: (19) 3526-4108

Nome do responsável: \_\_\_\_\_

Endereço: \_\_\_\_\_ Cidade/Estado: \_\_\_\_\_

CEP: \_\_\_\_\_ Telefone: (\_\_\_\_) \_\_\_\_\_


RG: \_\_\_\_\_

Assinatura do Responsável

Assinatura do Responsável pelo Estudo

**TERMO DE CONSENTIMENTO (IBR- UNIVERSITY OF MARYLAND)**

<b>CONSENT FORM</b>	
<b>Project Title</b>	<i>Multisensory Integration and Human Postural Control</i>
<b>Why is this research being done?</b>	<i>This is a research project being conducted by Dr. John Jeka at the University of Maryland, College Park. We are inviting you to participate in this research project because you are over 18 years of age and you have no neurological or biomechanical problems that would affect your control of upright standing. The purpose of this research project is to investigate how sensory information influences how you stand.</i>
<b>What will I be asked to do?</b>	<i>The procedures involve approximately 1-2 hours of testing which includes a series of trials during which you will stand as still as possible while surrounded by a visual images projected on large screens. Your task is to maintain a standing posture while looking straight ahead during the entire trial. At the end of the trial, you will hear a tone. You may then sit down and relax for 2 minutes before the next trial. The platform that you are standing on is capable of tilting slowly forward or backward gradually. The platform does not move suddenly and does not tilt to the sides. During each trial the platform may or may not tilt.</i>
<b>What about confidentiality?</b>	<i>We will do our best to keep your personal information confidential. To help protect your confidentiality: (1) your name will not be included with the collected data; (2) a code will be placed on the collected data; (3) through the use of an identification key, the researcher will be able to link your data to your identity; and (4) only the researcher will have access to the identification key. If we write a report or article about this research project, your identity will be protected to the maximum extent possible.</i>  <i>Your information may be shared with representatives of the University of Maryland, College Park or governmental authorities if you or someone else is in danger or if we are required to do so by law.</i>
<b>What are the risks of this research?</b>	<i>There is a slight possibility of losing your balance during the experiment. If you lose your balance, you can lean into the support harness which will prevent your fall. A technician will also be standing behind you to help prevent a fall.</i>
<b>What are the benefits of this research?</b>	<i>This research is not designed to help you personally, but the results may help the investigator learn more about postural control and the prevention of falls. We hope that, in the future, other people might benefit from this study through improved understanding of how people fall and prevent injuries due to falls.</i>



3

Page 2 of 2  
Initials \_\_\_\_\_ Date \_\_\_\_\_

<b>Project Title</b>	<b>Multisensory Integration and Human Postural Control</b>	
<b>Do I have to be in this research? May I stop participating at any time?</b>	<i>Your participation in this research is completely voluntary. You may choose not to take part at all. If you decide to participate in this research, you may stop participating at any time. If you decide not to participate in this study or if you stop participating at any time, you will not be penalized or lose any benefits to which you otherwise qualify.</i>	
<b>Is any medical treatment available if I am injured?</b>	<i>The University of Maryland does not provide any medical, hospitalization or other insurance for participants in this research study, nor will the University of Maryland provide any medical treatment or compensation for any injury sustained as a result of participation in this research study, except as required by law.</i>	
<b>What if I have questions?</b>	<i>This research is being conducted by Dr. John Jeka in the Department of Kinesiology at the University of Maryland, College Park. If you have any questions about the research study itself, please contact Dr. John Jeka at 301-405-2512 or <a href="mailto:jjeka@umd.edu">jjeka@umd.edu</a>. If you have questions about your rights as a research subject or wish to report a research-related injury, please contact: Institutional Review Board Office, University of Maryland, College Park, Maryland, 20742; (e-mail) <a href="mailto:irb@deans.umd.edu">irb@deans.umd.edu</a>; (telephone) 301-405-0678 This research has been reviewed according to the University of Maryland, College Park IRB procedures for research involving human subjects.</i>	
<b>Statement of Age of Subject and Consent</b> <i>[Please note: Parental consent always needed for minors.]</i>	<i>Your signature indicates that: you are at least 18 years of age; the research has been explained to you; your questions have been fully answered; and you freely and voluntarily choose to participate in this research project.</i>	
<b>Signature and Date</b>	NAME OF SUBJECT	
	SIGNATURE OF SUBJECT	
	DATE	

IRB APPROVED VALID UNTIL <b>MAR 11 2007</b> UNIVERSITY OF MARYLAND COLLEGE PARK
---

4