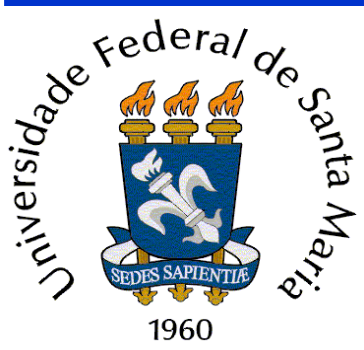


UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE EDUCAÇÃO FÍSICA E DESPORTOS
CURSO DE EDUCAÇÃO FÍSICA – Bacharelado
DISCIPLINA DE BIOMECÂNICA



EQUILÍBRIO CORPORAL



Gabriel Ivan Pranke
Prof. Dr. Carlos Bolli Mota

“Do ponto de vista mecânico, diz-se que um corpo está em equilíbrio quando diversas forças que agem sobre o corpo estão em direções opostas e se anulam”

Fonte: (Hammil e Knutzen, 1999)

Em Biomecânica...

Equilíbrio Estático

Um corpo está em equilíbrio estático quando a resultante E o momento resultante de todas as forças que atuam sobre ele for igual a zero.

Equilíbrio Estático

1ª condição de equilíbrio:

A força resultante de todas as forças que atuam sobre o corpo deve ser igual a zero.

$$\sum \mathbf{F} = 0$$

→ garante ausência de translação

Equilíbrio Estático

2ª condição de equilíbrio:

O momento resultante de todas as forças que atuam sobre o corpo em relação a qualquer eixo deve ser igual a zero.

$$\sum M = 0$$

→ garante ausência de rotação

“Estado de ser uniformemente equilibrado, ou o desempenho harmonioso da função. Sua aplicação fisiológica está nas respostas biomecânicas do sistema musculoesquelético quando se está em pé, caminhando, sentando e realizando outros movimentos. A estabilidade e o equilíbrio estão relacionados com a matemática do centro de gravidade do corpo”.

Fonte: DeCS

O equilíbrio consiste em manter o centro de gravidade (CG) dentro de uma base de suporte que proporcione maior estabilidade nos segmentos corporais, durante situações estáticas e dinâmicas.

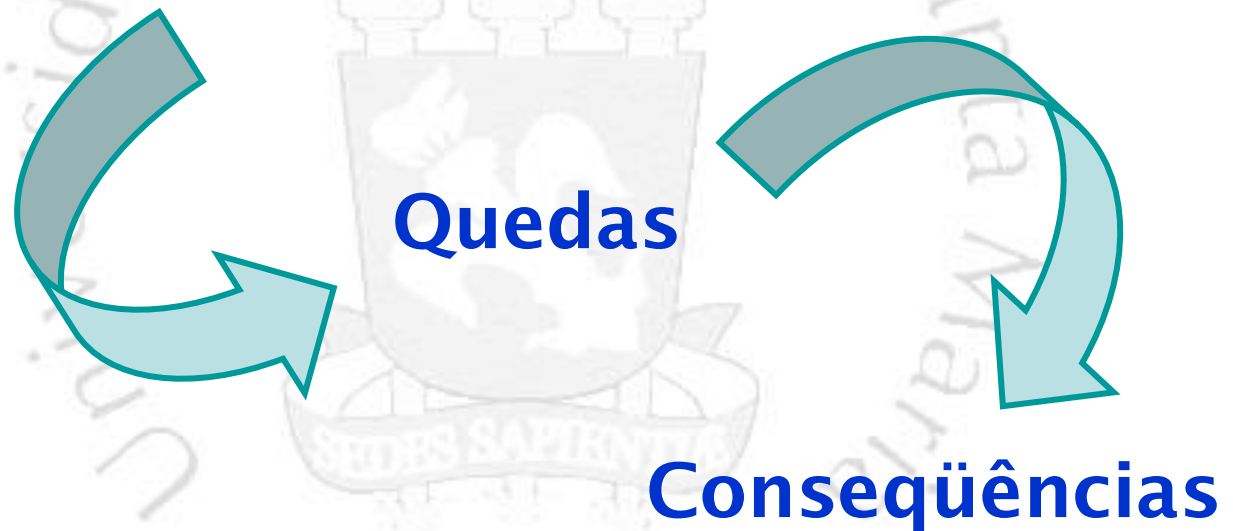
Fonte: (Faria, 2003)

O controle do equilíbrio é um crítico fator em termos de prevenção de quedas, pois disfunções no equilíbrio tem sido identificado como importante fator de risco para quedas.

Fonte: (Hue et al., 2007)

Importância de estudar equilíbrio

Equilíbrio Corporal



Fonte: (Corbeil et al., 2001)

Queda

Inabilidade do sistema de controle postural em compensar uma perturbação externa.

**Responsável pela manutenção
do equilíbrio**

Fonte: (Alves, 2000)

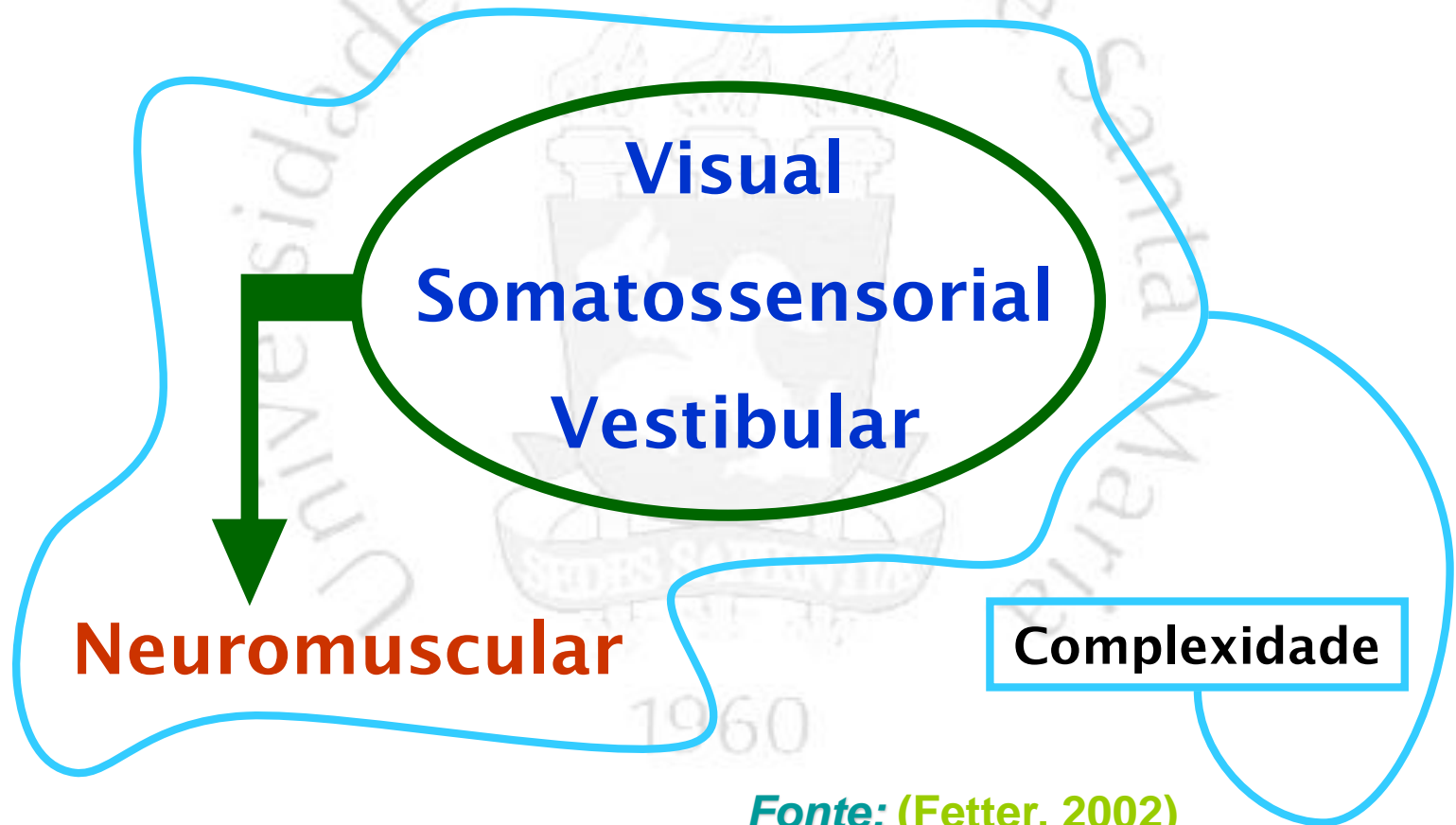
Sistema de Controle Postural

Informações aferentes

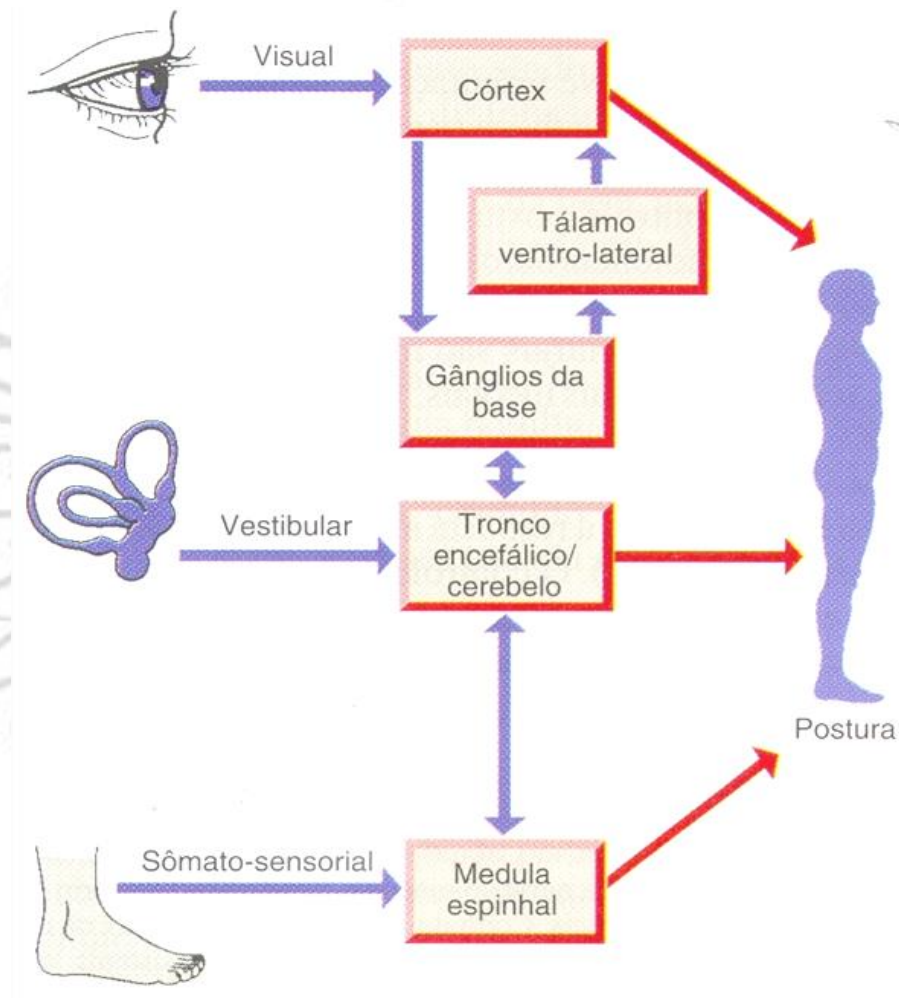
SNC

Respostas eferentes

Sistema de Controle Postural



Fonte: (Fetter, 2002)



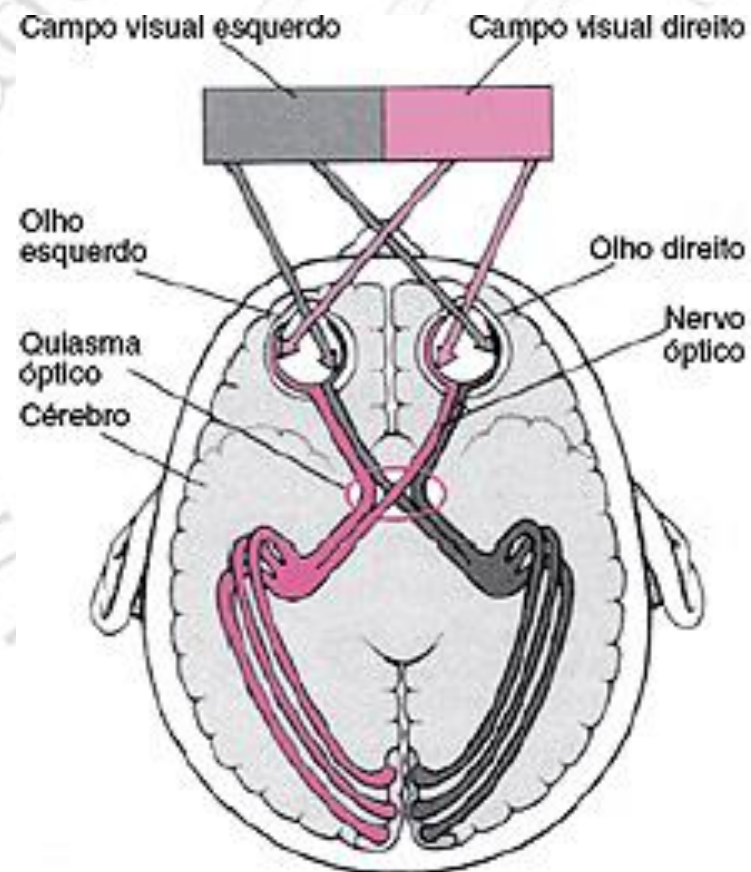
Fonte: (Lundy-Ekman, 2000)

Sistema Visual

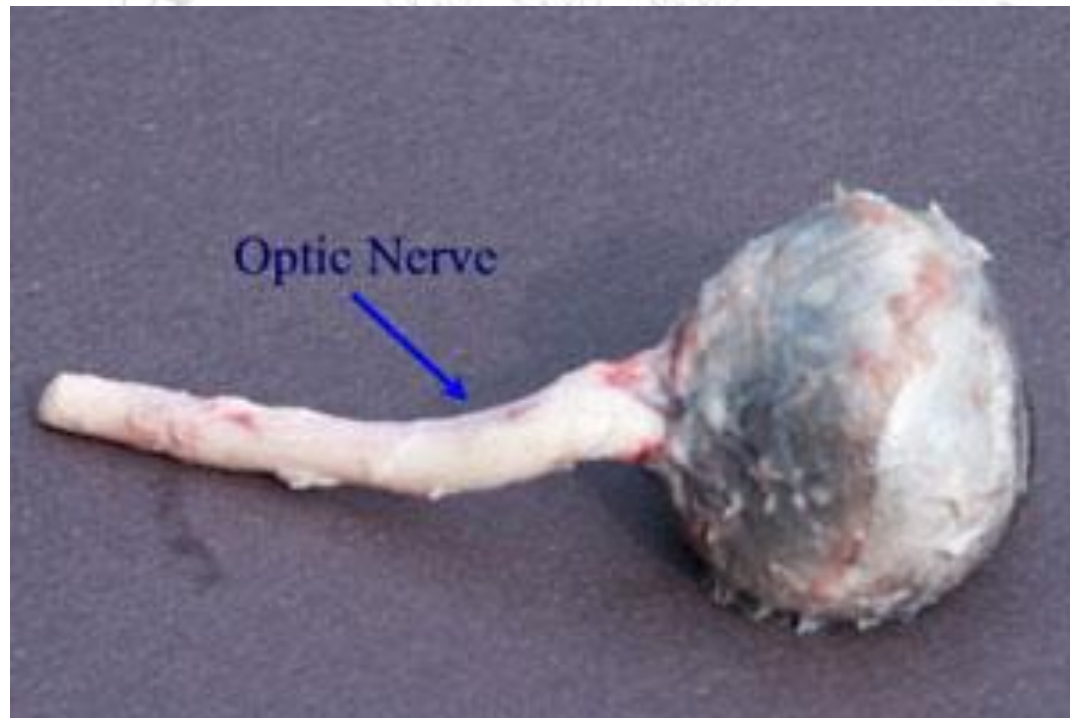
**Baseado nas características
externas do ambiente**

nervo óptico (2º par craniano)

Sistema Visual



Sistema Visual



Sistema Visual

Localização e a distância de objetos no ambiente, o tipo de superfície onde se dará o movimento e a posição das partes corporais uma em relação à outra e ao ambiente.

Sistema Visual

Componentes essenciais:

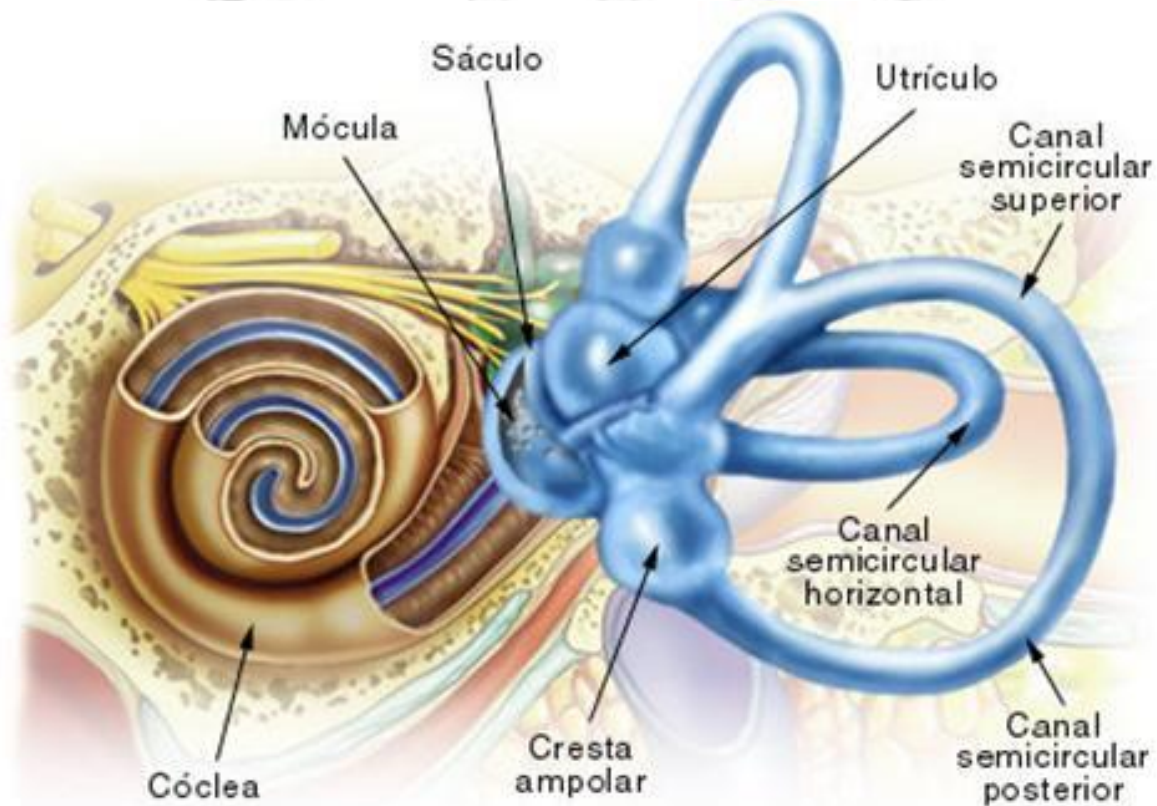
- a visão periférica
- a sensibilidade ao contraste
- a acuidade dinâmica e estática
- a percepção de profundidade

Sistema Vestibular

Baseado nas acelerações angulares e lineares

nervo vestibulo-coclear (8º par craniano)

Sistema Vestibular



Sistema Vestibular

Acelerações angulares

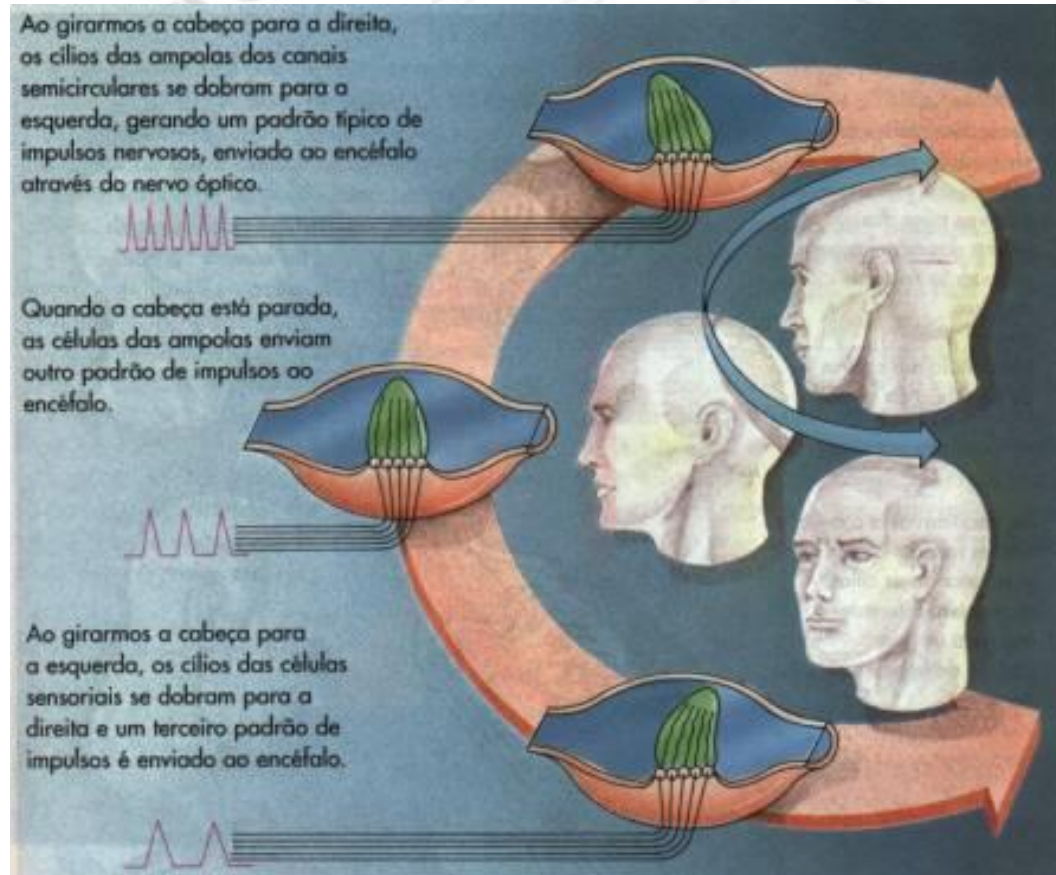
→ Canais semicirculares (3, um em cada plano)

Acelerações lineares

→ Utrículo (horizontais)

→ Sáculo (verticais)

Sistema Vestibular



Sistema Vestibular

Reflexo vestibulo-ocular

Reflexo vestibulo-espinhal

Sistema Somatossensorial

Baseado nas informações referentes do contato com o meio

Permite a orientação necessária à medida que se movimenta ou fica estático em relação às próprias partes do corpo, seu apoio e superfície do solo.

Sistema Somatossensorial

- **receptores tendinosos e musculares**
- **mecanorreceptores articulares**
- **barorreceptores profundos nos aspectos plantares dos pés**

Sistema do Controle Postural

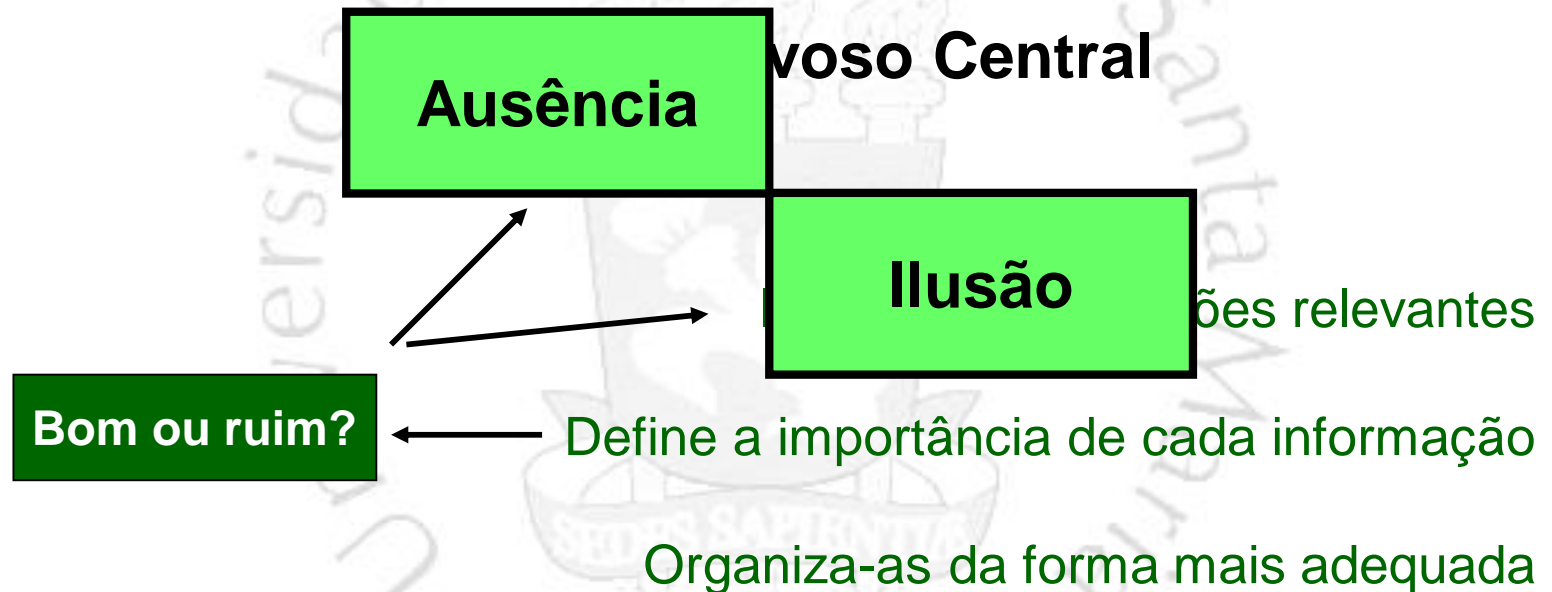
Sistema Nervoso Central

- Recebe informações
- Interpreta-as
- Emite respostas

Como?

Fonte: Horak e McPherson, 1996

Sistema do Controle Postural



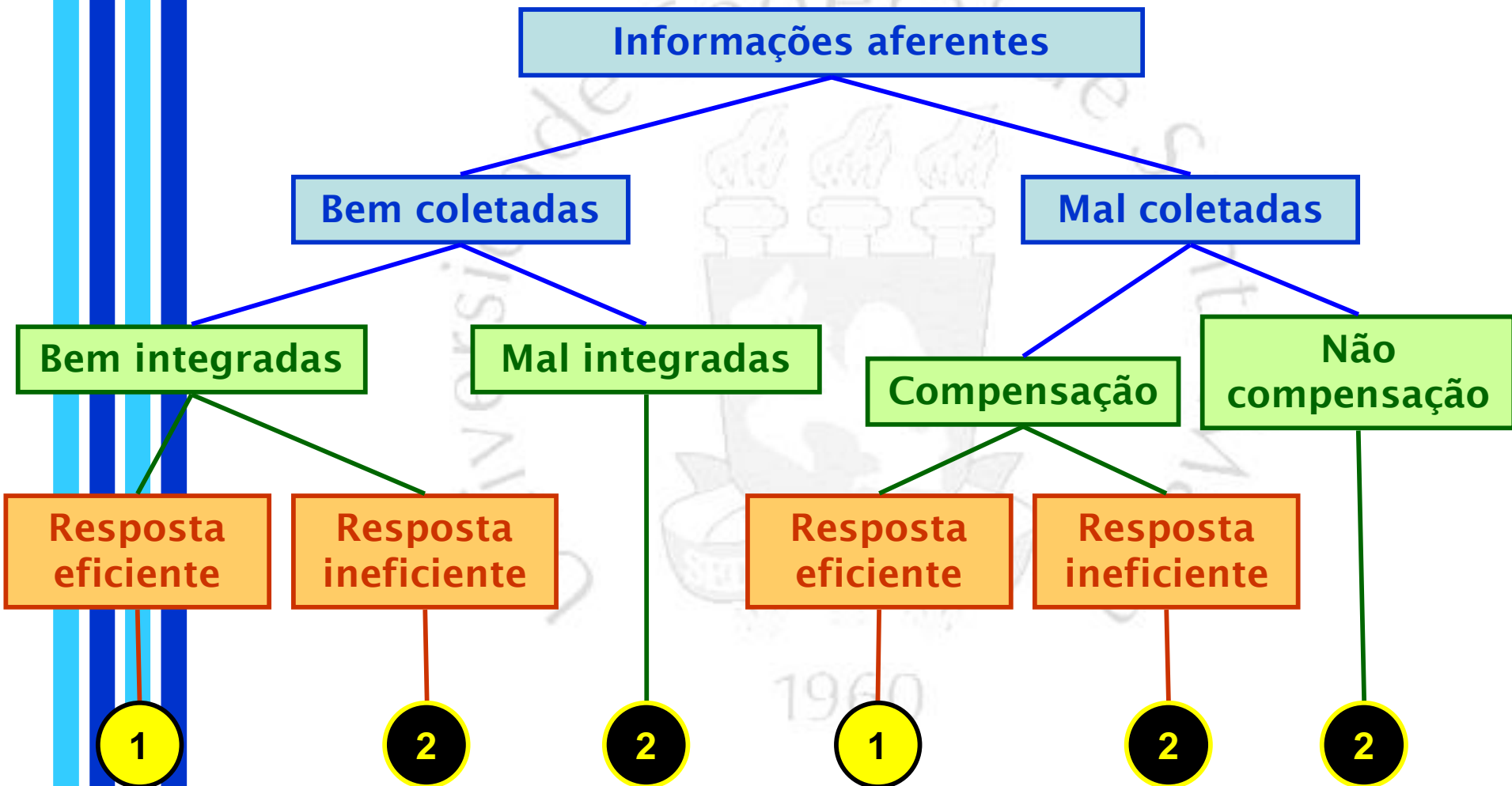
Fonte: McCollum et al., 1996; Horak e McPherson; 1996; Oie et al., 2002

Sistema do Controle Postural



Fonte: Horak e McPherson, 1996

Sistema do Controle Postural



Estudo do Controle Postural

Centro de massa
Centro de pressão

Centro de massa (COM)

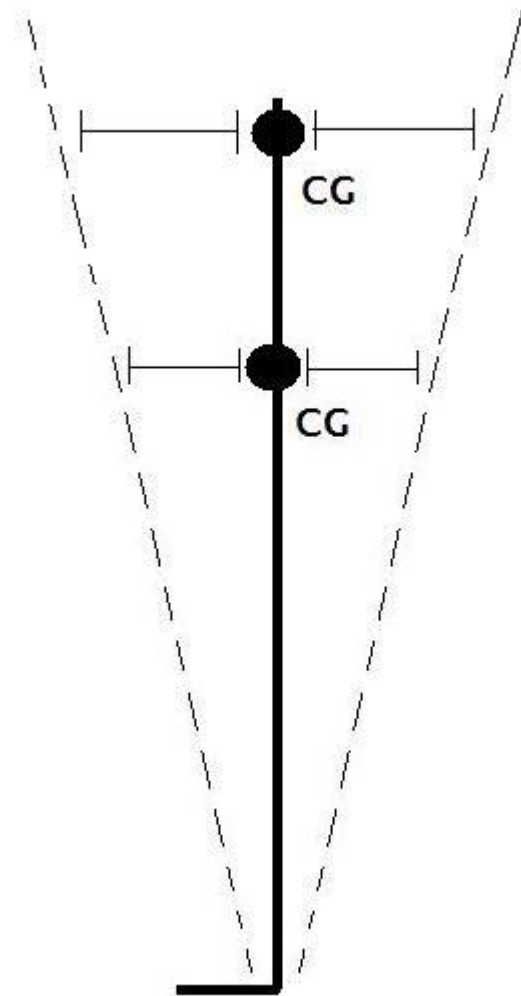
Grandeza que realmente indica o balanço do corpo.

Ponto em que se concentra toda a massa de um corpo.

Centro de gravidade (CG)

Ponto em que se concentra toda o peso de um corpo.

Pêndulo Invertido



Relação (ou diferença) entre centro de massa e centro de gravidade

Sinônimos → variação da força da gravidade é
pequena

Não sinônimos → variação da força da
gravidade é grande

Centro de Pressão



Centro de Pressão

Ponto onde está localizado o vetor resultante da força vertical do solo, que representa a média ponderada de todas as pressões da área da superfície em contato com o solo.

Fonte: Tookuni et al., 2005

Resultado das forças aplicadas no apoio como resposta neuromuscular ao balanço do centro de massa.

Fonte: Mochizuki e Amadio, 2003

Centro de Pressão

Usado como uma medida de deslocamento influenciado pela posição do centro de massa e classicamente associada aos estudos do controle postural pela sua relação com este.

Fonte: Amadio et al., 1999

- Quantitativo
- Qualitativo
- Equilíbrio dinâmico
- Equilíbrio estático

Equilíbrio estático → Quantitativa

Equiteste

Posturografia dinâmica computadorizada

Posturografia dinâmica *foam-laser*

Plataforma de força

Balance Rehabilitation Unit (BRU)

Método cinemático

Plataforma de Força AMTI OR6-5



Plataforma de Força AMTI OR6-5

Força de reação do solo (FRS)

Estabilograma



Centro de pressão a cada instante



Trajetória

*Avaliação do
equilíbrio*

Plataforma de Força AMTI OR6-5

$$COP_x = (My + h \cdot F_x) / F_z \cdot (-1)$$

$$COP_y = (M_x - h \cdot F_y) / F_z$$

Onde:

COP_x = coordenada do centro de força na direção antero-posterior;

COP_y = coordenada do centro de força na direção médio-lateral;

M_x = momento em torno do eixo antero-posterior;

M_y = momento em torno do eixo médio-lateral;

F_x = componente antero-posterior da força de reação do solo;

F_y = componente médio-lateral da força de reação do solo;

F_z = componente vertical da força de reação do solo;

h = distância da superfície até o centro geométrico da plataforma de força.

Plataforma de Força AMTI OR6-5

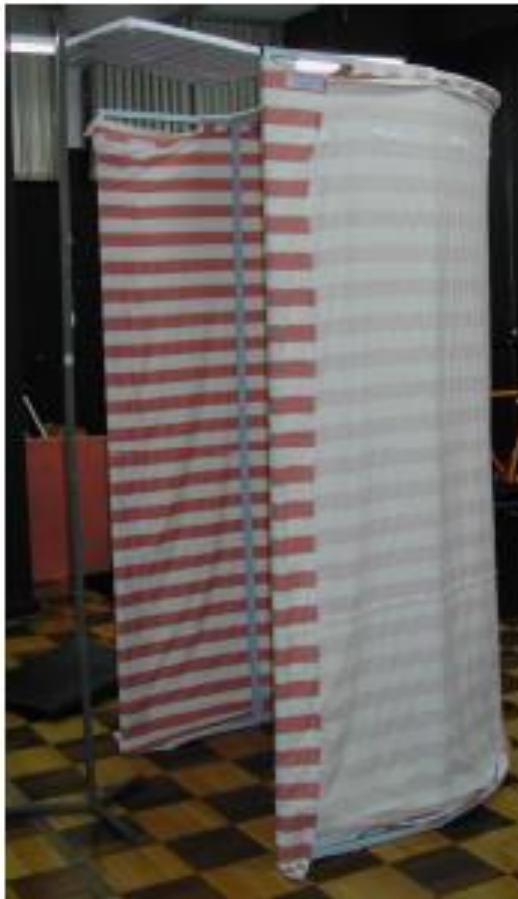
Variáveis

- Amplitude do deslocamento
- Média do deslocamento
- Comprimento total do centro de pressão
- Velocidade média de deslocamento
- Área da elipse 95%

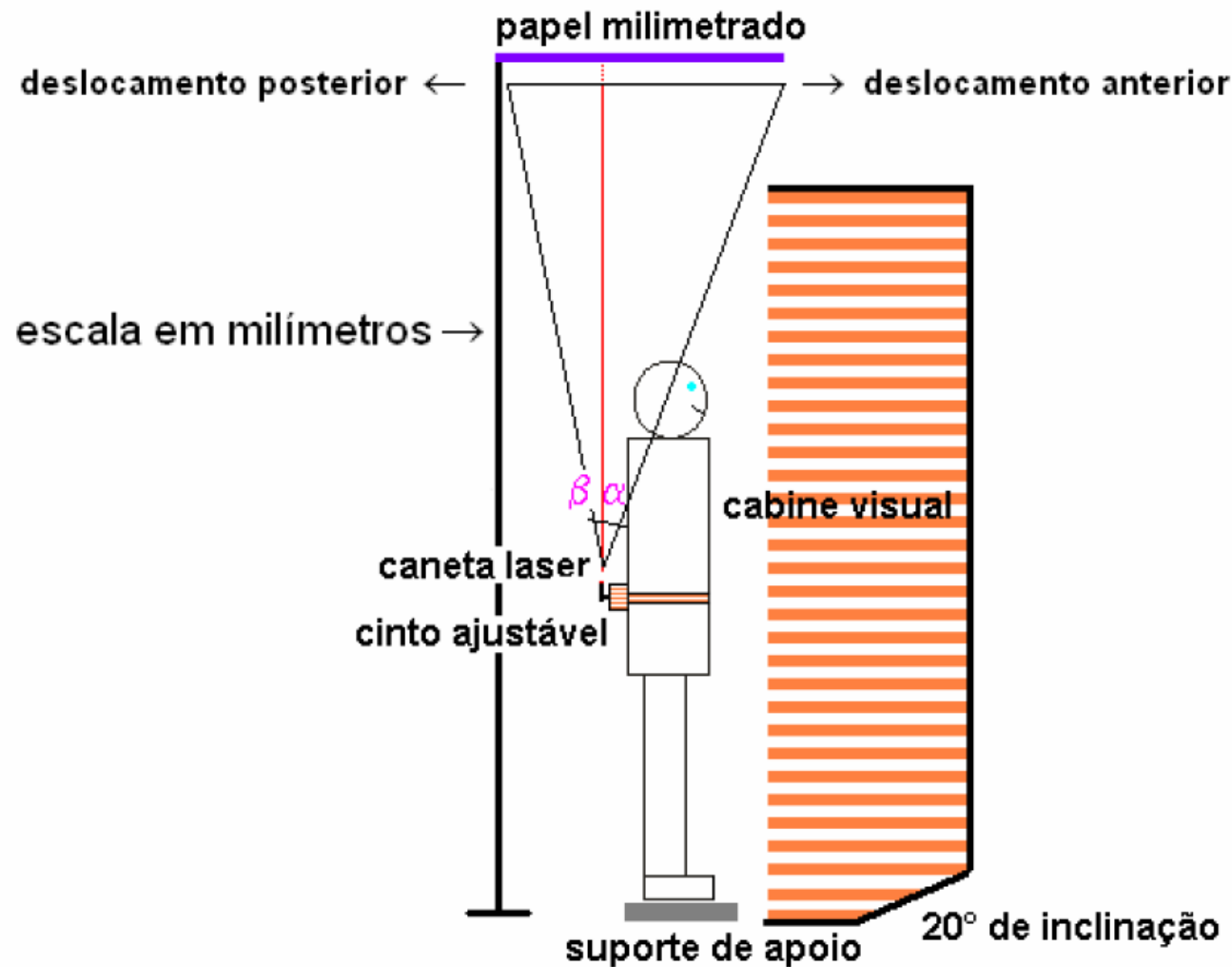


- Castagno (1994)
- Cabina 1 m²;
- Altura 2 m;
- Imagem com conflito visual;
- Caneta laser;
- Papel milimetrado;
- Esponja densidade média.

posturografia dinâmica foam-laser

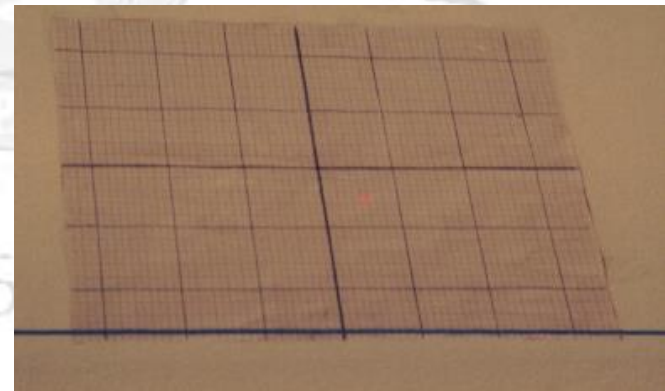


posturografia dinâmica foam-laser

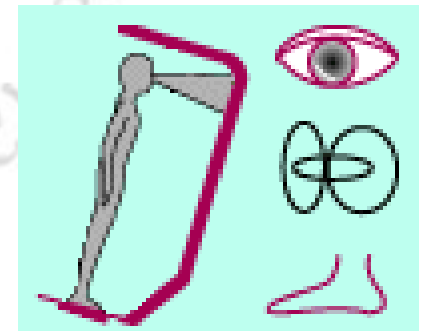
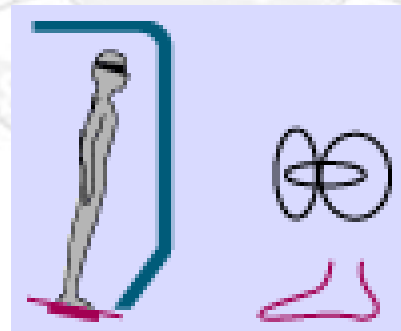
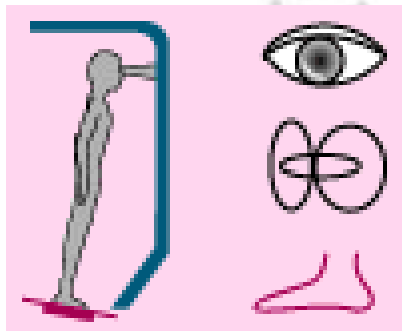
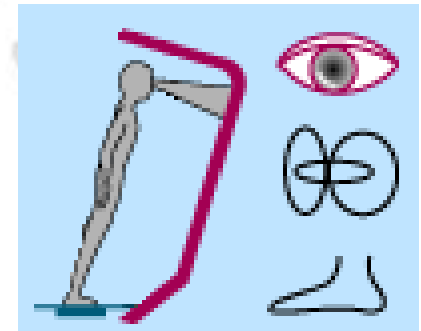
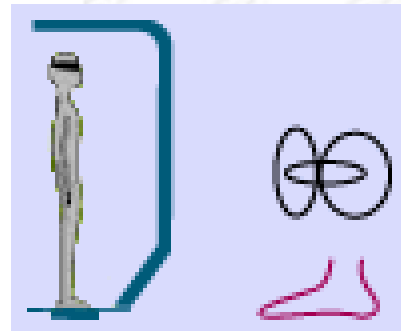
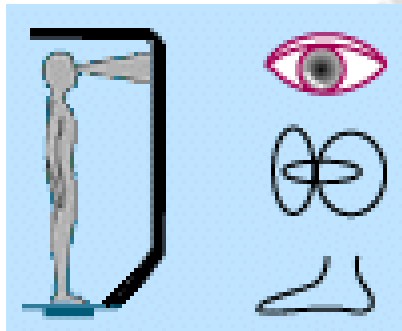


Fonte: Teixeira, 2008

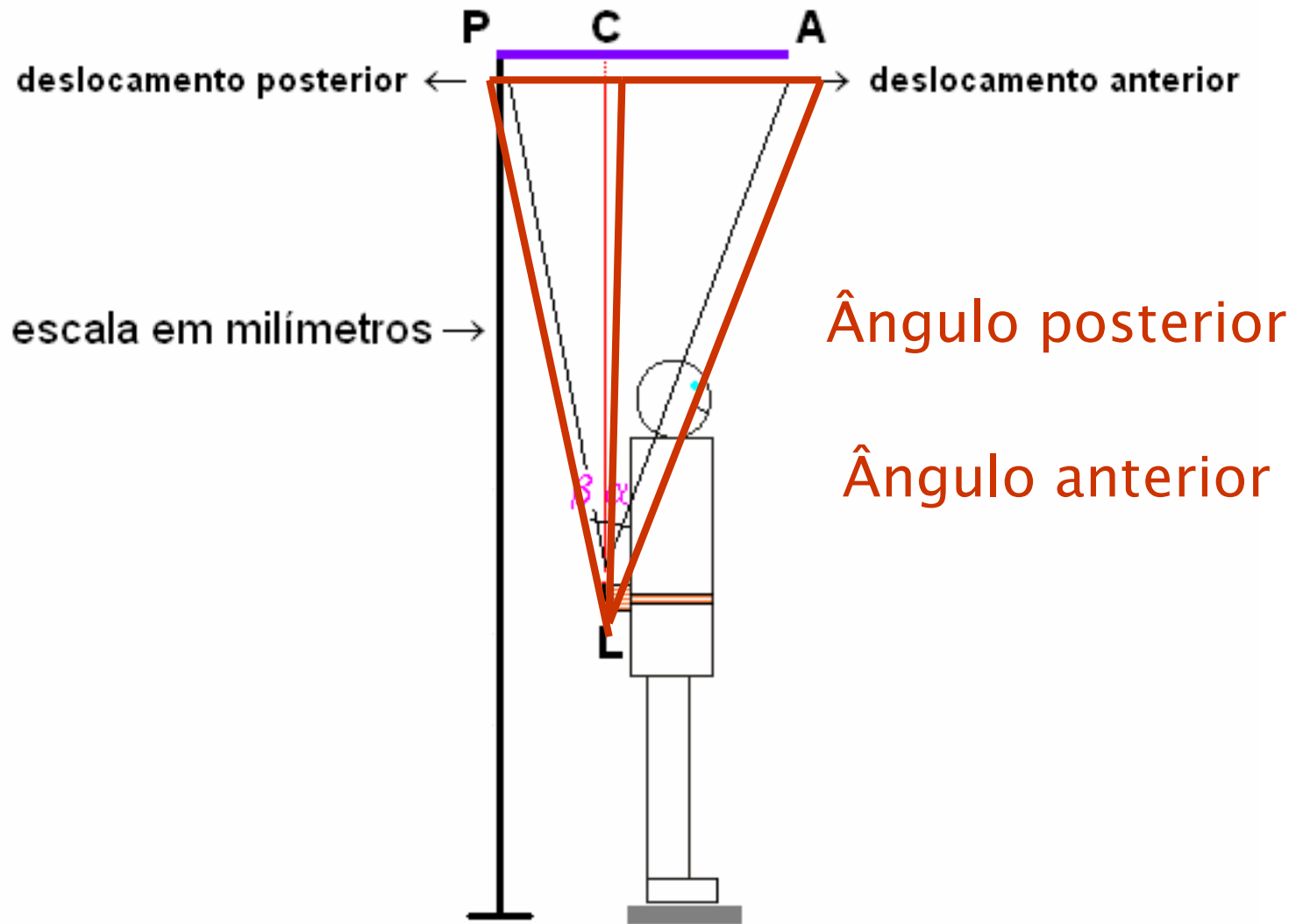
Teste de Organização Sensorial



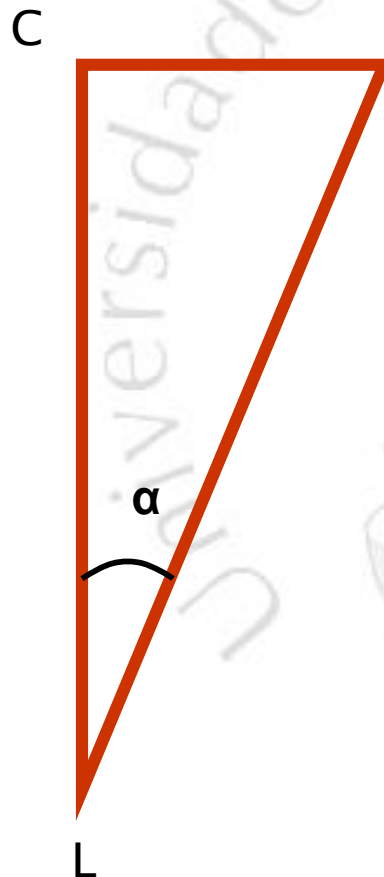
Teste de Organização Sensorial



posturografia dinâmica foam-laser



Ângulo anterior



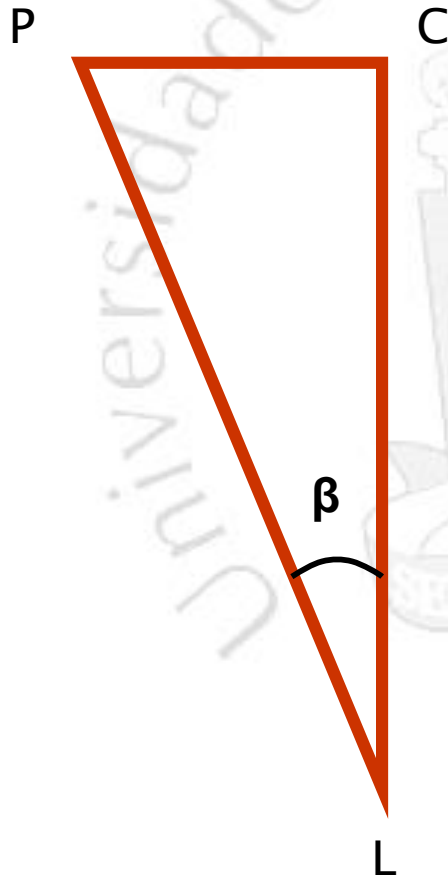
$$\text{sen}\alpha = \frac{CA}{AL}$$

$$AL^2 = CA^2 + CL^2$$

$$AL = \sqrt{CA^2 + CL^2}$$

$$\text{sen}\alpha = \frac{CA}{\sqrt{CA^2 + CL^2}}$$

Ângulo posterior



$$\text{sen}\beta = \frac{CP}{PL}$$















$$PL^2 = CP^2 + CL^2$$

$$PL = \sqrt{CP^2 + CL^2}$$

$$\text{sen}\beta = \frac{CP}{\sqrt{CP^2 + CL^2}}$$

$$TOS(\%) = 100 - \left(100 \cdot \frac{(\alpha + \beta)}{12,5^\circ} \right)$$

posturografia dinâmica foam-laser

Análise sensorial	Razão	Condições para a razão	
 SOM	$TOS II/TOS I$		
 VIS	$TOS IV/TOS I$		
 VEST	$TOS V/TOS I$		
 PREF	$(TOS III + TOS VI)/(TOS II + TOS V)$	 	 

Valores de Referência

Teste de Organização Sensorial

POSIÇÃO	FLP	EQUITEST
SOT I	90%	90%
SOT II	83%	85%
SOT III	82%	86%
SOT IV	79%	70%
SOT V	60%	52%
SOT VI	54%	48%
MÉDIA FINAL	75%	72%

Valores de Referência

Análise sensorial

92% para o SOM

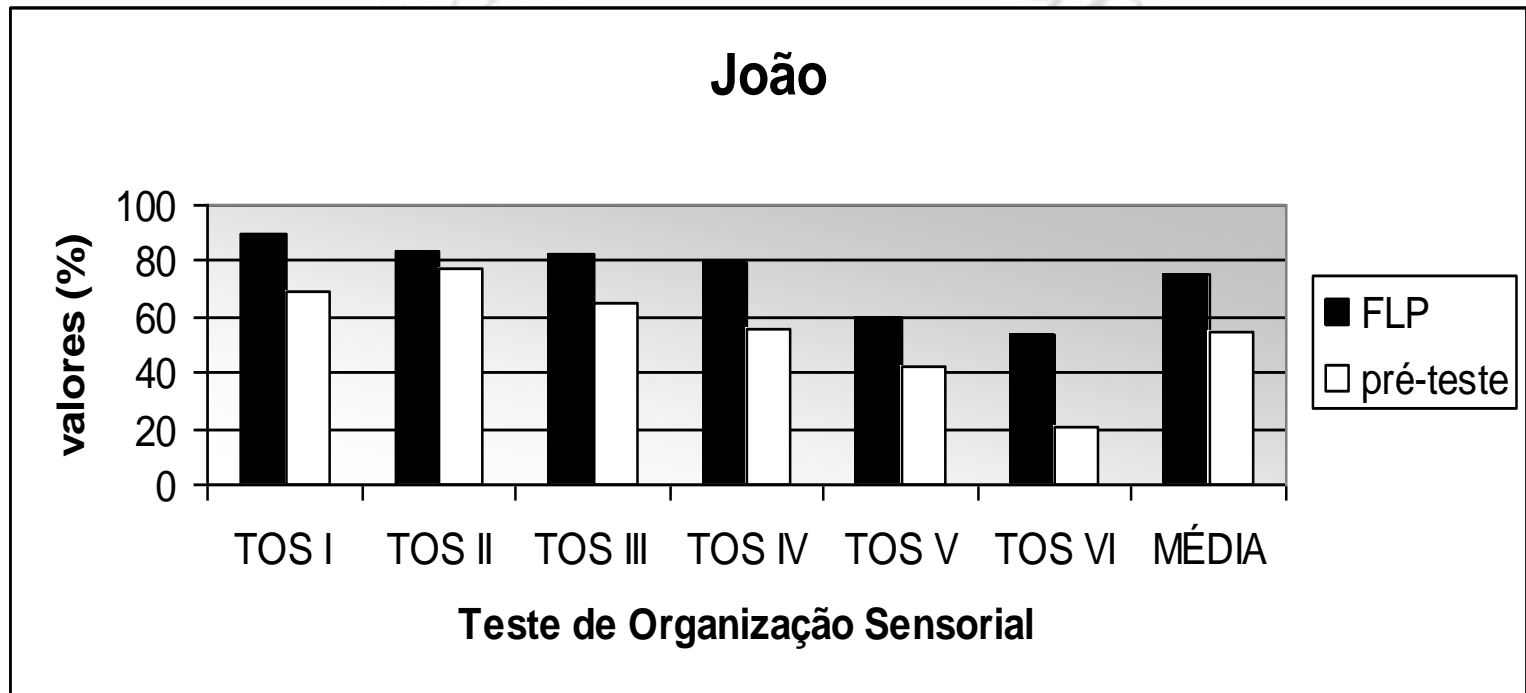
88% para o VIS

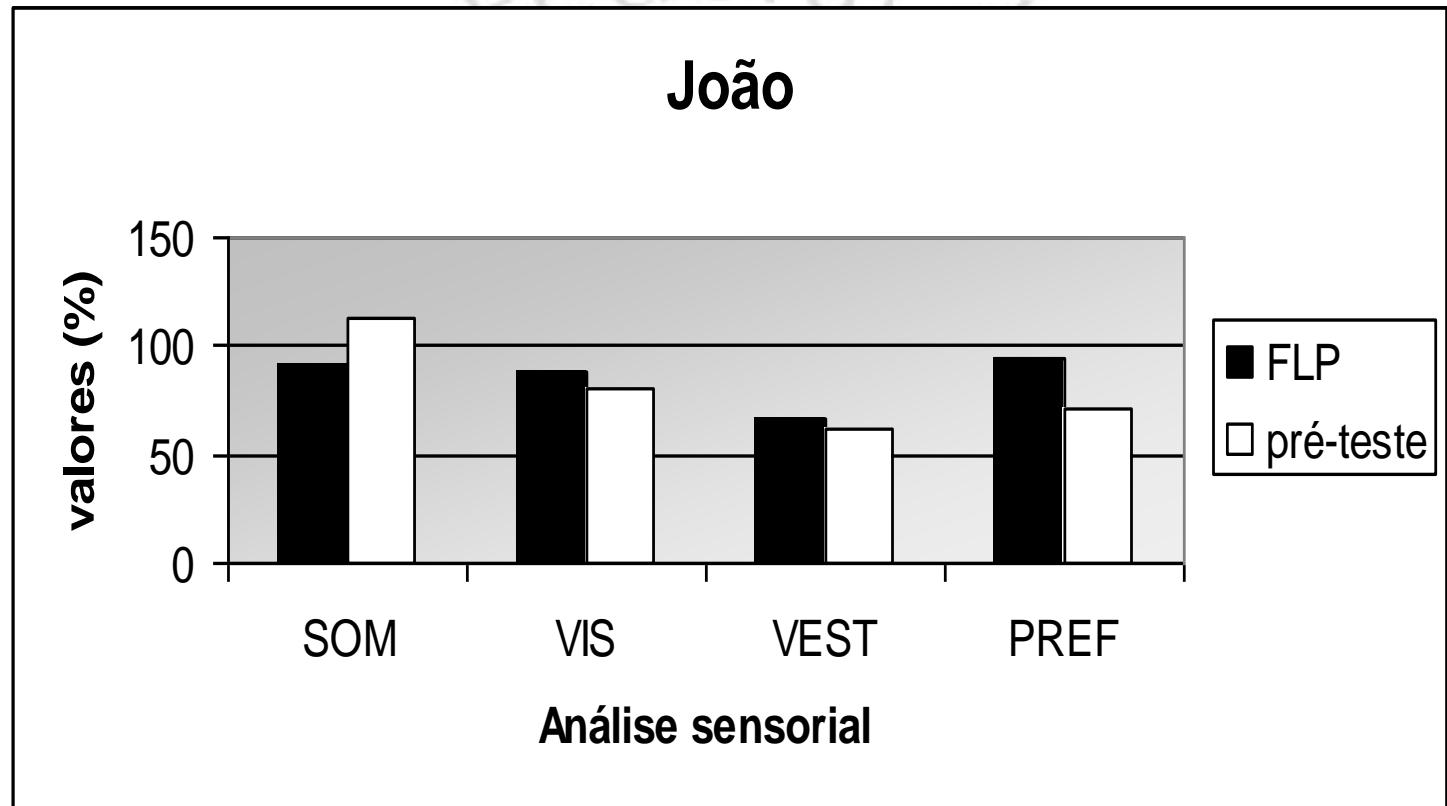
67% para o VEST

95% para o PREF

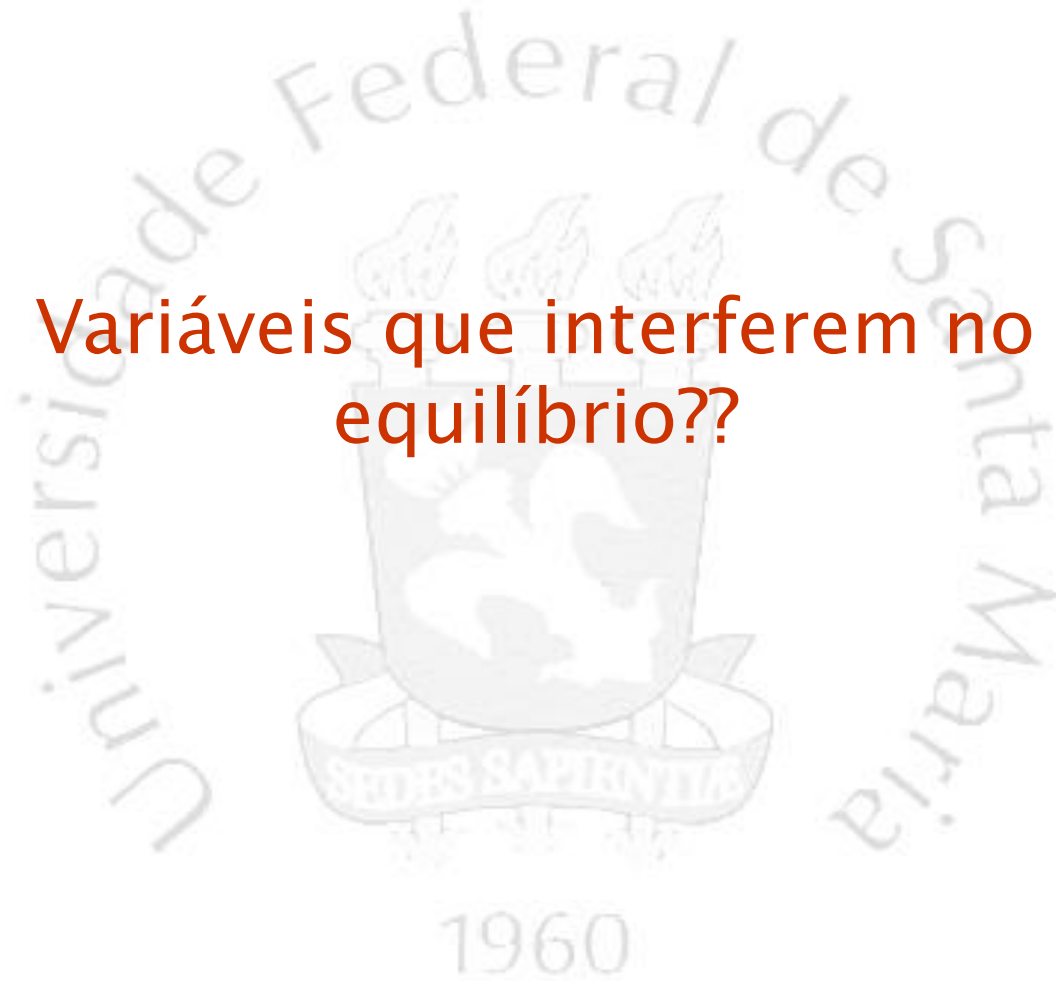
posturografia dinâmica foam-laser

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	POSTUROGRAFIA DINÂMICA ("SENSORIAL ORGANIZATION TESTS")												
2													
3	Paciente:	João											
4	Dist(cm) :	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103
5													
6		SOT I		SOT II		SOT III		SOT IV		SOT V		SOT VI	
7		Mp	Ma	Mp	Ma	Mp	Ma	Mp	Ma	Mp	Ma	Mp	Ma
8	Desvio(cm)	7	0	2	0	4	0	2	0	2	0	2	0
9	Seno ang.	0.07	0.00	0.02	0.00	0.04	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00
10	DESVIO ANG	3.88	0.00	1.11	0.00	2.22	0.00	1.11	0.00	1.11	0.00	1.11	0.00
11	Percentual:	68.92059	100	91.10136	100	82.21278	100	91.10136	100	91.10136	100	91.10136	100
12													
13		SOT I	II	III	IV	V	VI	Média		ANÁLISE SENSORIAL			
14	Oscilação	3.88493	1.11233	2.2234	1.11233	1.11233	1.11233			SOM	VIS	VEST	PREF
15	Percentual	68.9206	91.1014	82.2128	91.1014	91.1014	91.1014	85.9231		132.183	132.183	132.183	95.1216
16													
17	Normal												
18		TOS I	TOS II	TOS III	TOS IV	TOS V	TOS VI	MÉDIA		SOM	VIS	VEST	PREF
19	FLP	90	83	82	79	60	54	75	FLP	92	88	67	95
20	pré-teste	68.92	91.10	82.21	91.10	91.10	91.10	85.92	pré-teste	132.18	132.18	132.18	95.12





**Variáveis que interferem no
equilíbrio??**



BARELA, A. M. F.; DUARTE, M. Utilização da plataforma de força para aquisição de dados cinéticos durante a marcha humana. [site na internet] Disponível em <http://lob.incubadora.fapesp.br/portal.p>. Acessado em 20 de setembro de 2005.

BRAY, G. A. Medical consequences of obesity. **The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism**. Chevy Chase, 2004. 86(6). p. 2583-2589.

CASTAGNO, L. A. A new method for sensory organization tests: the foam-laser dynamic posturography. **Revista Brasileira de Otorrinolaringologia**. São Paulo. v. 60. n. 4. p. 287-296, 1994.

CORBEIL, P.; SIMONEAU, M.; RANCOURT, D.; TREMBLAY, A.; TEASDALE, N. Increased risk for falling associated with obesity: mathematical modeling of postural control. **IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering**. Baltimore, 2001. 9(2). p.126-136.

FABRIS DE SOUZA, S.A.; FAINTUCH, J.; VALEZI, A. C.; SANT'ANNA, A. F.; GAMA-RODRIGUES, J. J.; de BATISTA FONSECA, J. C.; de MELO, R. D. Postural changes in morbidly obese patients. **Obesity Surgery**. Toronto, 2005. 15(7). p. 1013-1016.

FETTER, M. Disfunções no sistema vestibular. In: HERDMAN, S. J. **Reabilitação vestibular**. Barueri: Manole, 2002. p. 91-102.

FILHO, J. F. A prática da avaliação física. Rio de Janeiro: Shape, 2003. 268p.

FREITAS, E. V.; PY, L.; NERI, A. L.; CANÇADO, F. A. X.; GORZONI, M. L.; ROCHA, S. M. **Tratado de geriatria e gerontologia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2002.

GUEDES, D. P.; GUEDES, J. E. R. P. **Manual prático para avaliação em educação física**. Barueri: Manole, 2006.

- HAMILL, H.; KNUTZEN, K.M. **Bases biomecânicas do movimento humano**. São Paulo: Editora Manole, 1999.
- HAY, L.; CHANTAL, B.; FLEURY, M.; TEASDLE, N. Availability of visual and proprioceptive afferent messages and postural control in elderly adults. **Experimental Brain Research**. v. 108. p. 129-139, 1996.
- HORAK, F. B.; MACPHERSON, J. M. Postural orientation and equilibrium: exercise: regulation and integration of systems multiple. **Handybook of Physiology**. New York, 1996. p. 255-258.
- HUE, O.; SIMONEAU, M.; MARCOTTE, J.; BERRIGAN, F.; DORÉ, J.; MARCEAU, P.; MARCEUAU, S.; TREMBLAY, A.; TEASDALE, N. Body Weight is a strong predictor os postural stability. **Gait & Posture**. Oxford, 2007. 26. p. 32-38.
- JACOBSON, G.; NEWMAN, C. W.; KARTUSH, J. M. **Handbook os balance function testing**. Ed. Singular Publishing Group. p. 259-335, 1997.
- KOPELMAN, P. G. Obesity as medical problem. **Nature**. Londres, 2000. 404(6). p. 635-643.
- LEW, E. A. Mortality and weight: insured lives and the American Cancer Study. **Anais do Internal Medicine**. 103. p. 1024-1029, 1985.
- LUNDY-EKMAN, L. **Neurociência: fundamentos para a reabilitação**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000. 347p.
- MOCHIZUKI, L.; AMADIO, A. C. Aspectos biomecânicos da postura ereta: a relação entre o centro de massa e o centro de pressão. **Revista Portuguesa de Ciência do Desporto**. Lisboa, 2003. 3(3). p. 77-83.
- MORAES, J. C. T. B. Instrumentação para análise da biodinâmica do movimento humano. In: **A biodinâmica do movimento humano e suas relações interdisciplinares**. São Paulo: Estação Liberdade, 2000, p. 15-44.
- NEGRINE, A. S. **A coordenação psicomotora e suas implicações**. Porto Alegre: Edita, 1987. 179p

- PAULUS, W.M.; STRAUBE, A.; BRANDT, T. Visual stabilization of posture: physiological stimulus characteristics and clinical aspects. **Brain: a journal of neurology**. Oxford. v.107. p.1143-1163, 1984.
- RAMOS, B. M. B. **Influências de um programa de atividade física no controle do equilíbrio de idosos**. 2003. 57f. Dissertação (Mestrado em Educação Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- RONDA, J. M. GALVAÑ, B. MONERRIS, E.; BALLESTER, F. Asociación entre síntomas clínicos y resultados de la posturografía computadorizada dinámica. **Acta Otorrinolaringol Esp**. n. 53. p. 252-255, 2002.
- ROSSI, A. G.; VIEIRA, G. R.; RUWER, S. L.; BEUTER, C. R.; BELLÉ, M.; SARTORI, S do A. (Org.) Reabilitação vestibular e posturografia dinâmica. **Caderno didático de Fonoaudiologia**. UFSM. Centro de Ciências da Saúde. Santa Maria, 2003.
- RUBIN, A. S. B. **Estudo do equilíbrio corporal de pacientes com catarata senil antes e após o tratamento cirúrgico**. 2002. 113f. Dissertação. (Mestrado em Distúrbios da Comunicação Humana) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.
- SANZ, R. Test vestibular de autorrotación y posturografía dinámica. **Verteré**. N. 25. p. 5-15, 2000.
- SHUMWAY-COOK, A.; WOOLLACOTT, M. H. **Motor Control: theory and practical applications**. Maryland: Williams & Wilkins, 1995. 475p.
- SPIRDUSO, W. W. **Dimensões físicas do envelhecimento**. São Paulo: Manole. 2005. 482p.
- [WHO. Obesity: preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO Consultation. WHO Technical Report Series 894. Geneva: World Health Organization, 2000.](#)
- WIECZOREK, S A. **Equilíbrio em adultos e idosos: relação entre tempo de movimento e acurácia durante movimentos voluntários na postura em pé**. 2003. 83f. Dissertação (Mestrado em Educação Física) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

O
B
R
I
G
A
D
O

pranke.cefd@gmail.com

Laboratório de Biomecânica
Grupo de Estudo em Pesquisa em Equilíbrio e
Reabilitação Vestibular