JOMILTO LUIZ PRAXEDES DOS SANTOS

ELABORAÇÃO DE UMA PLATAFORMA OSCILATÓRIA PARA TESTE DE EQUILÍBRIO DINÂMICO

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica na área de Projetos e Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Araildo Lima da Silva

Guaratinguetá

2011

S237e

Santos, Jomilto Praxedes dos
Elaboração de uma plataforma oscilatória para teste de equilíbrio dinâmico / Jomilto Praxedes dos Santos. – Guaratinguetá : [s.n.], 2010
66 f. : il.
Bibliografia: f. 58-66

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011
Orientador: Prof. Dr. Araildo Lima da Silva

1. Biomecânica 2. Potenciômetro I. Título

CDU 612.766

unesp

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

JOMILTO LUIZ PRAXEDES DOS SANTOS

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
"MESTRE EM CIÊNCIAS"

PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA: PROJETOS

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

Prof. Dr. Marcelo dos Santos Pereira
Coordenador

B A N C A E X A M I N A D O R A:

Prof. Dr. ARAILDO LIMA DA SILVA
Orientador / Unesp-Feg

Prof. Dr. TAMOTSU HIRATA
Unesp-Feg

Prof. Dr. LUÍS AURELIANO IMBIRIBA SILVA
UFRJ / EEFD

janeiro de 2011

DADOS CURRICULARES

JOMILTO LUIZ PRAXEDES DOS SANTOS

NASCIMENTO	05.01.1984 – NITERÓI / RJ
FILIAÇÃO	João de Deus Santos Maria de Fátima Praxedes dos Santos
2003/2007	Curso de Graduação em Licenciatura Plena em Educação Física na Universidade do Estado do Rio de Janeiro
2008/2009	Curso de Especialização em Biomecânica na Universidade Federal do Rio de Janeiro.
2009/2009	Especialização em Métodos e Procedimentos de Investigação em Biomecânica na Universidade do Estado do Rio de Janeiro
2009/2011	Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de Mestrado, na Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista.

de modo especial, à milha afilhada ANA JÚLIA, que chegou repleta de saúde e amor em 14/09/2010 para alegrar ainda mais minha vida

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por me acolher nos momentos difíceis e apoiar nos momentos de decisão e reflexão, enviando para minha companhia seus mensageiros da paz;

Aos meus Pais, JOÃO DE DEUS SANTOS e MARIA DE FÁTIMA PRAXEDES DOS SANTOS, pelo amor, carinho e apoio incondicional durante toda a minha jornada, pois, sem os mesmos seria muito difícil concluir este curso;

Ao Dr. ARAILDO SILVA pela orientação, assistência e confiança proporcionada durante estes meses de trabalho.

Ao Dr. LUIZ ALBERTO BATISTA por toda orientação, apoio, amizade e confiança depositada em todos estes anos de trabalho junto ao LaBiCoM.

Aos Drs. TAMOTSU HIRATA, AURELIANO IMBIRIBA e ELIAS TOMAZINI pela participação da banca e pela colaboração na avaliação do trabalho.

A todos os Professores e funcionários da FEG;

Aos meus irmãos JARDSON PRAXEDES, DANIEL ROBERTI, GESSÉ DAVID, ANTONIO MARCOS SANTOS, BERNADO RANGEL, pelo apoio e amizade, que me fizeram mais forte para o cumprimento do trabalho.

Aos meus amigos da FEG, VÂNIA MIRANDA, JAQUELINE BASTOS, REGINA ARAGÃO e MICHEL HADDAD, por todo companheirismo nestes anos de estudo.

Aos meus amigos do LaBiCoM GUSTAVO LEPORACE, SERGIO PINTO, GLAUBER PEREIRA, DANIEL CHAGAS por todo apoio técnico-científico e amizade. De certa forma, todos vocês colaboraram para a finalização deste trabalho.

À minha namorada VIVIAN CARVALHO pelo apoio incondicional nestes últimos meses de trabalho.

Ao amigo e técnico RONALDO BRANCO pela amizade e auxílio nos momentos em tive dúvidas técnicas sobre o desenvolvimento da plataforma.

“Veras que um filho teu não foge a luta”
Estrada (1971)

PRAXEDES, J. L. S. **Elaboração de uma plataforma oscilatória para teste de equilíbrio dinâmico**. 2011. 66 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

RESUMO

Este estudo tem como objetivo elaborar e validar um protótipo de plataforma proprioceptiva que possibilite a mensuração e o monitoramento do comportamento cinemático dos estímulos perturbatórios gerados. Considerando que atualmente, a avaliação do equilíbrio postural em plataformas instável é realizada de forma qualitativa, sendo observado o quanto a plataforma oscilou, a estratégia proposta neste estudo permite quantificar o fenômeno oscilatório, permitindo futuras comparações entre exames, isto como uma forma de medida avaliativa dos participantes. Foi elaborada uma plataforma oscilatória que possibilitava a mensuração do seu deslocamento angular através de um potenciômetro. Para a validação do equipamento utilizou-se a técnica da videogrametria, sendo assim, durante a movimentação da plataforma coletou-se dados provenientes da plataforma e do potenciômetro. A plataforma instável construída e instrumentalizada neste trabalho foi capaz de mensurar e monitorar o comportamento cinemático dos estímulos perturbatórios gerados durante a sua movimentação, apresentando alto valor de correlação. Desta forma, pode-se substituir a técnica de videogrametria pela utilização do potenciômetro, tornando o exame mais prático. Este equipamento poderá ser útil para o estudo minucioso do equilíbrio e da estabilidade postural, no que tange a relação entre os estímulos perturbatórios gerados e a resposta motora do testado.

PALAVRAS-CHAVE: Plataforma instável, Potenciômetro, Exame da estabilidade corporal.

PRAXEDES, J. L. S. **Preparation of a oscillatory platform for testing dynamic equilibrium.** 2011. 66 f. Dissertation (Master in Mechanical Engineering) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

ABSTRACT

This study aims to develop and validate an oscillating platform which enables the measurement and monitoring of the kinematics of the stimuli generated disturbing. Whereas today, the assessment of postural balance in an unstable platform is performed in a qualitative way, observing how the platform oscillated, the strategy proposed in this study to quantify the oscillatory phenomenon, allowing for future comparisons between tests, this measure as a form of evaluative participants. A oscillating platform was developed that allowed the measurement of its angular displacement with a potentiometer. For the validation of equipment used the technique of videogrammetry, so during the platform movement data was collected. The unstable platform built and manipulated in this study was able to measure and monitor the kinematics of the stimuli generated disturbing when they are moving at a high correlation value. Thus, one can replace the technique of videogrammetry the use of potentiometer, making the test more practical. This equipment may be useful for the detailed study of balance and postural stability, regarding the relationship between stimuli and motor response disturbing generated the test.

KEYWORDS: Balance board, potentiometer, examination body stability

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Dimensionamento da plataforma.....39
FIGURA 2 – Sistema mancais/eixo para serra circular.....39
FIGURA 3 – Plataforma, sem os blocos anterior e posterior, visualizada no plano sagital e nos sentidos latero-lateral direito (A), latero-lateral esquerdo, e no plano frontal (B). Base de madeira (1), Semi-círculo de madeira (2), Sistemas de porca com rosca esquerda(3).....40
FIGURA 4 – Potenciômetro de fio, de 100Ω.....40
FIGURA 5 – Plataforma com o bloco de madeira e a bateria de 1,5v.....41
FIGURA 6: Transferidor mecânico.....42
FIGURA 7: Teste de equlíbrio bipodal na plataforma instável.....45
FIGURA 8: Repetibilidade do sinal do potenciômetro.....46
FIGURA 9: Linearidade do sinal.....47
FIGURA 10 – Ciclograma da plataforma A = Extremo anterior, B = Ponto médio, C = Extremo Posterior.....48
FIGURA 11 – Ciclograma da plataforma. A = Extremo Posterior, B = Ponto médio, C = Extremo Anterior.....48
FIGURA 12 - Representação gráfica da repetibilidade do sinal do potenciômetro.....49
FIGURA 13 – Correlação entre os dados da videogrametria e do potenciômetro. No eixo X os valores do potenciômetro e no eixo Y os valores da videogrametria. A linha em azul corresponde a correlação entre os valores dos eixos X e Y, e em preto da linha de tendência da correlação.....51
FIGURA 14: Análise estatística dos dados da videogrametria e do potenciômetro – teste t de student no software Prisma.....52
FIGURA 15 – Deslocamento angular mensurado pelo potenciômetro.....53
FIGURA 16 – Comportamento cinemático angular das articulações do quadril, joelho e tornozelo direitos.....53
FIGURA 17 – Comportamento cinemático angular das articulações do quadril, joelho e tornozelo esquerdos.....54

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Valores de Faixa e Amplitude do sinal no sentido anti-horário.....47
TABELA 2 – Valores de Faixa e Amplitude do sinal no sentido horário.....47
TABELA 3 – Deslocamento angular da plataforma mensurado através da técnica de Videogrametria.....48
TABELA 4 – Média e desvio padrão do deslocamento angular da plataforma.....48
TABELA 5 – Características estáticas da plataforma.....49
TABELA 6 –Dados referentes as medições realizadas com o potenciômetro.....50
TABELA 7 – Resultado da correlação entre os dados da videogrametria e do potenciômetro.....51

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E PROBLEMA....12
1.1. Relevância....15
1.2. Objetivo Geral....17
1.3. Objetivos Específicos....17
2. REVISÃO DE LITERATURA....17
2.1. Conceito de Propriocepção....17
2.2. Estratégia Postural....18
2.3. Equilíbrio e Estabilidade:....20
2.4. Controle Neuromuscular:....24
2.5. Objetivos e Importância prática do Treinamento proprioceptivo....26
2.6. Instrumentos para a mensuração do equilíbrio e da estabilidade corporal....27
2.7. Estabilometria....30
3. MATERIAS E MÉTODOS....37
3.1. Calibração Estática do Potenciômetro....41
3.2. Potenciômetro....42
3.3. Calibração Dinâmica do Potenciômetro....43
3.4. Estatística....44
3.5. Aplicabilidade desta plataforma....44
3.6. Interpretação das informações gerada durante o teste de equilíbrio....45
4. RESULTADOS....46
4.1. Exame do Equilíbrio e da Estabilidade Corporal....52
4.2. Resultado do Exame do Equilíbrio e da Estabilidade articular....54
5. DISCUSSÃO....54
5.1. Avaliação do Equilíbrio através da plataforma e da VGM....56
6. CONCLUSÃO....57
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS....59

1. INTRODUÇÃO E PROBLEMA

O treinamento proprioceptivo, em superfícies estáveis e instáveis, vem sendo cotidianamente utilizado em centros de treinamento físico. Esta modalidade de treinamento tem como principal objetivo melhorar a acuidade proprioceptiva e a estabilidade articular dinâmica (ANDERSON, BEHM, 2005; BORGHUIS, HOF, LEMMINK, 2008, HILL et al, 2009) e pode ser prescrito para idosos (HORAK, 1997, CHEUNG et al, 2008), indivíduos com problemas neurológicos (ALMEIDA, 2007), lesionados na coluna lombar (BORGHUIS, HOF, LEMMINK, 2008), no joelho (ALONSO, GREVE, CAMANHO, 2009) e no tornozelo (MICHELL et al, 2006; COUGHLAN, CAULFIELD, 2007).

Para a realização de tal treinamento utiliza-se, como base de sustentação do corpo, tanto o solo (RASOOL, GEORGE, 2007), sendo este uma superfície estável, quanto equipamentos específicos, como aqueles que proporcionam bases instáveis (LAUDNER, KOSCHNITZKY, 2010). Esses últimos consistem de plataformas que têm como característica propiciar diferentes condições de instabilidade. Nesse sentido, cada equipamento pode proporcionar um estímulo perturbatório diferente ao corpo humano, diferindo quanto ao material de fabricação, a geometria da plataforma e/ou suas restrições mecânicas.

Quanto a postura do corpo adotada pelo testado, na condição de bipededismo, a base de suporte pode ser tanto bipodal quanto unipodal (YAGGIE, CAMPBELL, 2006; LAUDNER, KOSCHNITZKY, 2010), o que influencia, também, na magnitude da instabilidade induzida pelo exercício.

Apesar da reconhecida importância da utilização das plataformas no treinamento proprioceptivo, observa-se que, como qualquer outro, esse tipo de equipamento apresenta limitações, como o fato, na maior parte dos dispositivos disponíveis, da magnitude dos estímulos perturbatórios gerados pela plataforma, ou seja, induzidos por suas oscilações mecânicas, não ser mensurada, o que, em primeira estância, dificulta a determinação de cargas precisas de treinamento.

Atualmente, a identificação e a mensuração destes estímulos podem ser obtidos de modo indireto, quando monitoramos comportamentos cinemáticos (BLACKBURN et al, 2003) e ou mioelétrico dos indivíduos submetidos ao treinamento, assim identificando as respostas corporais aos estímulos perturbatórios (LAUDNER, KOSCHNITZKY, 2010); ou ainda quando examinamos a cinemática da plataforma, durante a realização do exercício, por meio de técnicas de videogrametria (LESS et al, 2007). A magnitude do estímulo também pode ser induzida, como acontece na estratégia apresentada de Barton et al (2006), na qual os pesquisadores criaram uma plataforma capaz de gerar estímulos perturbatórios de forma programada com a expectativa de que o comportamento cinemático do testado correspondesse a uma orientação pré-determinada, portanto, conhecida.

Dentre as características mecânicas cinemáticas da plataforma instável, destacam-se o deslocamento, a velocidade e a aceleração angulares. Essas variáveis são importantes para a determinação da qualidade do estímulo perturbatório a ser gerado pela plataforma (BROWN et al, 2001). Segundo Brown et al (op. cit.) e Horak, Hemy, Shumway-Cook (1997), o corpo humano responde de forma distinta à diferentes condições de instabilidade, e a resposta postural está relacionada com o deslocamento, a velocidade e a aceleração angulares proveniente da plataforma (BROWN et al, 2001), o que, de acordo com o princípio da especificidade de treino (WEINECK, 2003), tende a provocar, adaptações específicas por parte do exercitando.

Van Asseldonk et al (2007) demonstraram que durante a aceleração e desaceleração da plataforma ocorre um mecanismo de desestabilização e restabilização da postura, respectivamente. Decorre disso, segundo os autores, que o estudo do comportamento da aceleração da plataforma constitui um importante meio de analise da resposta estabilizadora para diferentes tipos de perturbações e pode auxiliar na identificação das causas para cada um dos movimentos realizados em diferentes casos de agravo à saúde.

As oscilações geradas pela plataforma instável podem se assemelhar a fenômenos ocorridos em situações cotidianas, na própria superfície de apoio, como um deslizamento em solo escorregadio, irregularidade na superfície durante a marcha, e a aceleração ou a desaceleração provocados pela superfície, como no caso do ônibus, em

que o indivíduo está em pé ou ao se pisar em um buraco, quando o tornozelo realiza o movimento de inversão de forma acelerada (HORAK, HEMY, SHUMWAY-COOK, 1997).

Além de servirem como equipamentos de treinamento, as plataformas instabilizadoras também possibilitam a realização de testes motores. Respostas às perturbações do equilíbrio postural não necessariamente permitem a previsão de como um indivíduo executará funcionalmente as atividades da vida diária, embora possibilitem estimar como o corpo responderá a situações semelhantes, como reagir à perturbações induzidas por acelerações e desacelerações em situações específicas análoga a elas. Mesmo nesses casos, ainda há uma lacuna no que diz respeito à predição da magnitude e do tipo de resposta às perturbações posturais induzidas, sendo necessária a realização de mais pesquisas acerca desse tema (HORAK, HEMY, SHUMWAY-COOK, 1997).

Horak, Hemy, Shumway-Cook (1997) sugerem que a observação de como um indivíduo responde às perturbações externas fornece informações acerca das respostas dos sistemas motor e sensorial a um determinado padrão de estímulos sensoriais, de como o sistema nervoso está preparado e se adaptar às perturbações sob uma ampla variedade de contextos, e como ele aprende e executa uma resposta pré-planejada, o que está relacionado com o conceito de padrão de coordenação motora.

No que diz respeito à crianças e jovens a situação é ainda mais complexa. No caso desses indivíduos, os fenômenos de crescimento e desenvolvimento tornam ainda mais significativo o papel de variáveis importantes, sendo necessário conhecer como ocorre a evolução no decorrer dos anos. Isso é feito não somente para identificar quadros instantâneos em determinados momentos, mas como também, para possibilitar o acompanhamento do decurso de desenvolvimento, com o intuito de coletar informações suficientes do seu estado atual e de quanto a criança está próxima do considerado padrão maduro em cada etapa de seu desenvolvimento motor.

No contexto das atividades clínicas, de acordo com Horak, Hemy, Shumway-Cook (1997), mais pesquisas voltadas ao desenvolvimento de instrumentos de avaliação, são necessárias, para que sejam elaboradas formas eficazes de identificação de problemas específicos em sistemas essenciais ao processo de controle postural.

Faz-se necessário possibilitar a obtenção de diagnósticos diferenciais confiáveis em pacientes com histórico de quedas ou comprometimentos no equilíbrio. Infelizmente os testes clínicos de equilíbrio usuais não são capazes de determinar especificamente o déficit de estabilidade, fundamentalmente devido ao grau de dificuldade de se obter informações a olho nu, no relativo à diferenciação entre causas, a identificação das anormalidades específicas no controle postural, e os efeitos produzidos (VISSER et al, 2008).

Equipamentos instrumentalizados, devido ao seu alto custo, usualmente somente encontram-se disponíveis em laboratórios de pesquisas científicas. Tanto o local quanto os objetivos previstos à utilização dos instrumentos, dificultam sua utilização cotidiana por grande da população que precisariam ser submetidas aos testes que eles possibilitam realizar. O ideal seria que este tipo de equipamento fosse mais acessível, talvez alocado em hospitais, ou até mesmo nos próprios laboratórios voltados ao atendimento do público e não somente às pesquisas. Diante do exposto, neste trabalho objetivamos elaborar e instrumentalizar uma plataforma instável que permita mensurar o comportamento dos estímulos perturbatórios gerados durante a exercitação, como por exemplo, a sua inclinação e a sua frequência.

1.1. Relevância

Esta plataforma auxiliará no exame de comportamentos cinemáticos realizados pelo indivíduo durante atos motores que envolvem fenômenos proprioceptivos, como os de controle postural e de estabilidade corporal, neste caso, ficaria evidente como o corpo se comporta em um nível de estímulo perturbatório. Mais precisamente, ela permitirá constatar a magnitude da mobilização articular, em diferentes instantes do exercício, no decorrer do estímulo aplicado, da desestabilização da base de sustentação induzida pelo dispositivo.

Considerando que atualmente, a avaliação do equilíbrio postural em plataformas instáveis 2D é realizada de forma qualitativa, como acontece no teste proposto por Johnson & Nelson (1979), no qual o indivíduo deve permanecer na postura bípede sobre a plataforma durante o tempo de terminado, sem perder o equilíbrio tocando o

solo com os pés. Sendo observado a olho nu, o quanto a plataforma oscilou ou o tempo de permanência através de um cronômetro acionado manualmente. A estratégia proposta neste estudo permite quantificar o fenômeno oscilatório, permitindo futuras comparações entre exames, isto como uma forma de medida avaliativa dos participantes.

O sistema que envolve a plataforma de equilíbrio dinamicamente monitorada permite a relação entre as informações cinemáticas da plataforma e o comportamento postural do indivíduo na postura bípede, compreendendo esse último as informações cinemáticas e mioelétrica.

Desta forma, a avaliação quanto a estabilidade corporal configur-se-a mais minuciosa, fornecendo informações não somente do controle postural geral, mas também dados específicos das estabilidades articular e segmentares em pontos críticos do teste na postura bípede, manifestos pelo comportamento de variáveis mecânicas como deslocamento, velocidade e aceleração angulares.

De acordo com Horak, Hemy, Shumway-Cook (1997), a quantificação das respostas posturais e dos estímulos perturbatórios, por meio de um instrumento tem a vantagem de possibilitar a mensuração de mudanças no comportamento postural que são muito pequenas para serem observadas a olho, assim como documentar o progresso relacionado com o treinamento e ou tratamento.

Observa-se, ainda, uma dificuldade na relação entre as informações do estímulo perturbatório gerado pela plataforma e a resposta motora do testado, o que resultaria na identificação de quais os recursos motores foram utilizados para manter o equilíbrio corporal durante um determinado tipo de estímulo. A mensuração da oscilação da plataforma instável corresponde a que tipo de perturbação o testado está sendo submetido, sendo esta mais uma informação acerca das condições de equilíbrio, estabilidade corporal e propriocepção do indivíduo. Assim, agregaremos informações mais precisas a sua avaliação, principalmente nos fenômenos de aceleração e desaceleração durante o movimento.

1.2. Objetivo Geral:

Elaborar e validar um protótipo de plataforma instável que possibilite a mensuração e o monitoramento do comportamento cinemático dos estímulos perturbatórios gerados.

1.3. Objetivos Específicos:

Validar a plataforma oscilatória.

Identificar e analisar o comportamento cinemático da plataforma oscilatória durante a manutenção do equilíbrio corporal, na postura bípede.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Conceito de Propriocepção

O Sistema Nervoso Central é único quando se trata da capacidade de controlar uma ampla variedade de tarefas, tanto a postura estática, a marcha e o salto quanto a tarefa motora fina, como controle e manipulação de um objeto ou tocar piano (WINTERS, CRAGO, 2000).

Contudo, variados mecanismos são utilizados para que as informações sobre comportamento postural sejam enviadas para o sistema nervoso central e para o controle da postura nas situações estáticas e dinâmicas.

A definição, compreensão e a utilização da propriocepção são temas estudados no contexto da ciência. Neste âmbito, a propriocepção pode ser entendida como todas as informações aferentes provenientes de receptores articulares, que são enviadas para o sistema nervoso central, estando relacionadas com a percepção de movimento e a posição articular (LEPHART, SWANIK, BOONRIONG, 1998), que contribuem para o controle postural, estabilidade articular, e diversas sensações conscientes (RIEMANN, LEPHART, 2002).

Em contraste com a propriocepção, o termo somatosensorial ou somatosensação é mais global e abrange os mecanorreceptores, termorreceptores, e informações periféricas relacionadas a dor (RIEMANN, LEPHART, 2002).

De um ponto de vista da motricidade interna a propriocepção torna possível a monitoração contínua da progressão de qualquer seqüência de movimentos e funcional como a base para modificar o comportamento motor subseqüente (SHUMWAY-COOK, WOOLLACOTT, 2007).

Para tal evento ser realizado, o sistema proprioceptivo depende do perfeito funcionamento de estruturas anatômicas localizadas em locais específicos do nosso corpo. Estes são receptores sensoriais especializados sensíveis ao estiramento, à tensão e à pressão. Conhecidos como proprioceptores, desempenham a função de captar rapidamente informações acerca da dinâmica muscular e da posição articular às porções conscientes e inconscientes, pelo Sistema Nervoso Central (McARDLE, KATCH, KATCH, 2000; RIEMANN, LEPHART, 2002).

Os receptores sensoriais, musculares e tendíneos, são os fusos musculares, como o próprio nome acusa, localizam-se no músculo. O órgão tendinoso de Golgi localiza-se nos tendões; e outros receptores específicos estão localizados nos ligamentos, nas cápsulas articulares e nos tecidos cutâneos (RIEMANN, LEPHART, 2002).

1.2. Estratégia Postural

Atualmente, entende-se que um continuum de estratégias possibilita o homem a permanecer na posição bípede para manter o equilíbrio em função de uma perturbação gerada pela superfície de apoio. Por exemplo, em resposta às translações ântero-posteriores da superfície, o deslocamento para a frente do centro de gravidade pode ser corrigido utilizando "estratégia do tornozelo, estratégia do quadril", ou "estratégia do passo", ou mesmo a combinação destas estratégias (HORAK, NASHNER, 1986).

A estratégia do tornozelo é utilizada para controlar as oscilações ântero-posteriores da postura e em resposta a pequenas, lentas oscilações da superfície, enquanto em pé em superfície plana. Ele controla o centro de gravidade do corpo, exercendo torques sobre as articulações dos tornozelos para mover o centro de pressão além do centro de gravidade. Em resposta as oscilações anteroposteriores, uma seqüência distal para a proximal de ativação dos músculos do tornozelo, joelho e quadril fazendo com que o corpo gire sobre o tornozelo com um movimento

relativamente pequeno no quadril e joelho. A estratégia do tornozelo mantém o alinhamento postural ereto durante a restauração do centro de gravidade (WINTERS, CARGO, 2000).

Em contraste a estratégia do tornozelo, a estratégia de quadril é utilizada para rápida ou grande amplitude de perturbações, especialmente sob condições onde é difícil produzir muito mais torque no tornozelo, por exemplo, de pé sobre um feixe estreito ou superfície complacente ou inclinada, mas os pés permanecem em contato com a superfície. Consiste em flexionar as articulações dos quadris e, ao mesmo tempo, mobilizar o tornozelo e articulações do pescoço. Quando em pé sobre uma superfície que não permite o desenvolvimento de torque de superfície, a estratégia do quadril envolve a ativação precoce dos flexores do quadril e coluna assim como reto abdominal e quadrado lombar, com pouca ativação ou co-contração dos músculos do tornozelo. Ao responder às grandes, rápidas oscilações na superfície quando está em pé sobre uma superfície firme, a ativação antecipada dos flexores do quadril / tronco e dos flexores do pescoço são adicionados à ativação dos músculos solear e gastrocnêmicos (WINTERS, CARGO, 2000).

Assim como a estratégia de quadril, a estratégia de passo é usada em resposta às grandes e ou rápidas perturbações e envolve movimento da base de apoio sob a queda centro de gravidade. Indivíduos tendem a usar uma estratégia de passo, em vez de uma estratégia de quadril, em resposta às perturbações que não tenha experimentado antes, ou quando não recebem instrução sobre como manter-se no lugar. A estratégia de passo é geralmente associada a um deslocamento do peso corporal sobre o membro inferior (HORAK, HEMY, SHUMWAY-COOK, 1997).

Indivíduos freqüentemente utilizam a combinação do tornozelo, quadril e estratégias de passo. As estratégias de tornozelo e quadril realmente representam os extremos de um continuum de resposta na qual os sujeitos podem combinar as estratégias do quadril e tornozelo, em qualquer proporção (RUNGE et al, 1999).

A seleção da estratégia também depende da disponibilidade das informações sensoriais. Indivíduos com perda profunda da função vestibular são incapazes de usar uma estratégia de quadril para ficar em feixes estreitos, com apoio bipodal e unipodal,

apesar de utilizar normalmente a estratégia do tornozelo para a correção postural (WINTERS, CARGO, 2000).

2.3. Equilíbrio e Estabilidade:

O ser humano está em uma constante busca do equilíbrio corporal, durante as mais diversas atividades, tais como marchar, correr, saltar ou manter a postura bípede e ereta. No entanto, para a efetiva compreensão do comportamento corporal durante a manutenção postura bípede, se faz necessário o esclarecimento de alguns conceitos, a saber: Equilíbrio e Estabilidade.

Ao falar sobre o equilíbrio, observa-se uma grande divergência de informações no que tange a aplicabilidade dos seus conceitos em sistemas biológicos.

Na Física entende-se que um corpo rígido, como uma cadeira, uma ponte ou um edifício, é dito estar em equilíbrio mecânico se, visto de um referencial inercial, as quantidades de movimento do corpo rígido tiverem um valor constante. Equivalentemente, poderíamos dizer que tanto a aceleração linear do seu centro de massa quanto a aceleração angular em torno de qualquer eixo fixo no referencial devem ser nulas, ou seja, um corpo está em equilíbrio se todas as forças e os momentos aplicados sobre ele estão compensados (MERIAM, 1994; HALLIDAY, RESNICK, KRANE, 2006).

Necessariamente o corpo não deve estar em repouso para aplicarmos esta definição de equilíbrio. As quantidades de movimento não têm obrigatoriamente o valor constante igual a zero. Se eles forem iguais a zero ou, de maneira equivalente, se a velocidade do centro de massa e a velocidade angular em torno de qualquer eixo fixo no referencial forem iguais a zero, teremos a situação de equilíbrio estático (HALLIDAY, RESNICK, KRANE, 2006).

Há que se apontar duas condições a serem atendidas para que se instale uma situação de equilíbrio estático; a primeira é aquela na qual a soma vetorial de todas as forças externas que agem em um corpo deve ser nula; e a segunda se dá quando a soma vetorial de todos os torques externos que atuam em um corpo deve ser nula (HALLIDAY, RESNICK, KRANE, 2006).

Em situações de Equilíbrio, assume-se que para o corpo em equilíbrio estável, um agente externo terá de realizar trabalho sobre ele para mudar a sua posição, o que resultará em aumento de sua energia potencial ou cinética. Já no caso do equilíbrio instável, nenhum agente externo necessitará realizar qualquer trabalho sobre o corpo para mudar sua posição. O trabalho realizado para deslocar o corpo será fornecido pela força conservativa, resultando em um decréscimo da energia potencial. Um corpo estará em equilíbrio neutro quando o mesmo se desloca ligeiramente, sem ficar sujeita nem a uma força restauradora nem a uma força de repulsão. (HALLIDAY, RESNICK, KRANE, 2006; BEER, JOHNSON, 2006; DAVIS, KIMMET, AUTY, 1992; HOCHMUTH, 1973).

Estes conceitos de equilíbrio são referentes a uma partícula, e não a um corpo multi-segmentar. Contudo, ainda são norteadores para a interpretação do equilíbrio corporal. A divergência no entendimento destes conceitos nos sistemas biológicos refere-se basicamente nos conceitos de equilíbrio estático e equilíbrio dinâmico.

Segundo Mathews (1980), o equilíbrio postural é mantido pelo sistema neuromuscular, o qual recebe informações sobre as posições dos segmentos corporais no espaço de diferentes estruturas. Os canais semicirculares dos ouvidos e os proprioceptivos dos músculos mantêm o indivíduo constantemente informado sobre a posição e a relação entre as diversas partes do corpo. Os indivíduos que se submetem a diferentes atividades, tais como ginástica, mergulho e saltos de trampolim possuem um sistema de equilíbrio neuromuscular bem desenvolvido.

O Equilíbrio Postural Humano pode ser entendido tanto como estático quanto dinâmico, o que reflete a situação no qual o somatório das forças aplicadas no corpo é igual a zero ou não. No equilíbrio postural humano estático o somatório dos momentos aplicados também deve ser igual a zero (POLLOCK et al, 2000, HAY & REID, 1982).

Equilíbrio é comumente definido como a capacidade de manter o *equilibrium* do indivíduo em relação à força da gravidade, em uma postura estática, ou durante a execução de uma atividade dinâmica. Para uma pessoa estar em equilíbrio, a linha da gravidade que passa pelo centro de gravidade do indivíduo deve também estar dentro da base de apoio. Se a linha de gravidade estiver fora da base de apoio, a pessoa não

poderá permanecer em equilíbrio e cairá, a menos que movimentos compensatórios sejam realizados (GALLAHUE & DONNELLY, 2008).

Segundo Gallahue & Donnelly (op.cit.), o equilíbrio dinâmico envolve o controle do corpo conforme ele se move através do espaço. Em uma atividade de equilíbrio dinâmico, o centro da gravidade muda constantemente. Movimentos locomotores e manipulativos envolvem um elemento de equilíbrio dinâmico. Virtualmente todos os movimentos envolvem um elemento de equilíbrio estático. Portanto, equilíbrio é a base da qual todo movimento controlado emana. Como resultado, as experiências de equilíbrio empreendidas pelas crianças exercem um papel importante no desenvolvimento do controle total do corpo.

Numa primeira vertente, a partir do que já foi relatado, o equilíbrio postural estático refere-se ao indivíduo parado, por exemplo, um sujeito na postura bípede e ereta, e o equilíbrio postural dinâmico refere-se ao indivíduo em movimento acelerado, como por exemplo durante a marcha (HAY & REID, 1982; DONSKOI, ZATSIORSKI, 1988; GALLAHUE & DONNELLY, 2008).

Para estes autores o referencial adotado para a interpretação do equilíbrio estático ou dinâmico é o deslocamento do corpo na sua integra, como se o corpo humano, multi-segmetar, fosse uma única partícula.

Na verdade, na situação em um ser humano está na postura bípede, estamos diante de um quadro de equilíbrio dinâmico. Pois, ao contrario do que usualmente se preconiza em alguns compêndios de Biomecânica (HAY & REID, 1982; DONSKOI, ZATSIORSKI, 1988; GALLAHUE & DONNELLY, 2008), nesta postura o indivíduo não está completamente estático, tendo em vista a postura bípede é caracterizada por pequenas oscilações corporais, necessitando de contração dos músculos para a manutenção da postura ereta.

O Equilíbrio Corporal é um mecanismo que depende do controle motor sobre a atividade articular para manter o corpo em condições de estabilidade (JUDGE, 2003). Estratégias de tornozelo e de quadril, que acabam por definir o posicionamento do corpo e a localização do centro de gravidade e do centro de pressão sobre a base, consistem em fatores fundamentais para o sucesso das ações de controle (POLLOCK et al, 2000).

Segundo Winters e Cargo (2000) o equilíbrio postural envolve o jogo de equilíbrio de todas as forças que atuam sobre o corpo, de tal ordem que tende o corpo a permanecer em uma posição desejada ou mover-se de forma controlada. Quando um indivíduo mantém a postura em pé e ereta, seu corpo oscila para frente e para trás. Nessa condição também a atividade muscular evita a perda do equilíbrio e consequentemente a queda, representando, dessa forma, uma das principais manifestações de controle automático da postura (ENOKA, 2000).

Outro conceito que deve ser bem compreendido é a estabilidade, que está intimamente relacionado aos princípios do equilíbrio. A estabilização de um sistema é obtida através da conservação das características essenciais dentro dos limites de desvios admissíveis, o que garante a estabilidade resultante (DONSKOI, ZATSIORSKI, 1988). Pode-se afirmar que a estabilidade de um sistema está relacionada com todos os recursos utilizados para se adaptar a situação atual de equilíbrio do sistema em resposta a perturbações internas e externas (HOCHMUTH, 1973; HALLIDAY, RESNICK, KRANE, 2006).

Segundo Gallahue & Donnelly (2008), a estabilidade é a capacidade de perceber uma mudança na relação das partes do corpo, que alteram o equilíbrio do indivíduo, assim como a capacidade para ajustar-se rapidamente e com exatidão a estas mudanças com movimentos compensatórios apropriados.

A estabilidade articular é considerada um fator importante, se tratando do aspecto do equilíbrio da articulação, para que qualquer indivíduo realize suas atividades de vida diária da melhor forma possível (REIMANN et al, 2001).

Em geral, a estabilidade é definida como a habilidade do sistema biomecânico, constituído pelos músculos, tendões e ligamentos, de retornar a sua posição de equilíbrio após uma pequena perturbação ou de resistir a uma perturbação (GARDNER-MORSE, STOKES, 2001; LEE, ROGERS, GRANATA, 2006; STOKES et al, 2000).

No corpo humano existem vários exemplos de estabilidade articular. Vejamos o caso de uma simples flexão de cotovelo. Neste movimento, no qual a ulna gira sobre o úmero diminuindo o ângulo entre os ossos, a estabilidade permite que a flexão ocorra sem que uma das estruturas óssea translade exageradamente uma sobre a outra. Isto

decorre não somente pela estrutura de encaixe entre os ossos, mas também, pela ação musculatura que está atuando de forma a gerar estabilidade dinâmica na articulação.

No que tange à dinâmica articular dois fatores são imprescindíveis para a discussão da estabilidade articular: a rigidez e a co-contração. A rigidez articular representa a capacidade de uma articulação responder a perturbação ou a deslocamentos angulares (AN, 2002; JOHANSSON, SJOLANDER, SOJKA, 1991; REIMANN et al, 2001). Neste caso, a rigidez pode ser determinada pelas restrições mecânicas provenientes dos ligamentos, das estruturas articulares, da geometria óssea, das características musculares e do aumento da atividade muscular (LEE, ROGERS, GRANATA, 2006).

Desta forma, concluímos que rigidez articular pode ser definida como o conjunto de restrições inerentes a articulação, representando assim, a capacidade da articulação em responder a qualquer deslocamento angular em função das suas propriedades anatômicas e funcionais.

A co-contração muscular, caracterizada pela ativação simultânea tanto de músculos agonistas e de seus antagonistas, tem um importante papel no controle da rigidez dinâmica (WILLIAMS et al, 2001). A co-contração muscular proporciona estabilidade articular por meio de um ajuste antecipatório e reativo da atividade mioelétrica dos músculos que cruzam uma articulação, proporcionando maior estabilidade articular (GARDNER-MORSE, STOKES, 2001).

2.4. Controle Neuromuscular:

Controle neuromuscular é um termo freqüentemente usado em muitas disciplinas relacionadas ao controle motor. Ele pode se referir a qualquer dos aspectos que cercam o controle do sistema nervoso sobre a ativação muscular e os fatores que contribuem para o desempenho da tarefa. Especificamente, a partir de uma perspectiva de estabilidade articular, defini-se o controle neuromuscular, como a ativação inconsciente de restrições dinâmicas que ocorrem no processo de preparação e de resposta, com a finalidade de manter e restaurar a estabilidade articular funcional. Embora o controle neuromuscular subjacente a todas as atividades motoras, de alguma

forma, não é facilmente separado dos comandos neurais que controlam o programa motor geral. Por exemplo, ao realizar um lançamento com uma bola, uma seqüência de ativação muscular ocorre na musculatura do manguito rotador para garantir o alinhamento adequado da articulação glenoumeral e consequentemente a estabilidade articular necessária. à obtenção do melhor desempenho. Essas ativações musculares ocorrem inconscientemente e estão relacionadas com objetivo da tarefa. Informação proprioceptiva sobre o estado das estruturas articulares é essencial para o controle neuromuscular (RIEMANN, LEPHART, 2002).

Na mesma perspectiva, a orientação espacial envolve a interpretação da informação sensorial de diferentes fontes para uma representação congruente da posição do corpo em relação ao seu ambiente, bem como o posicionamento adequado dos segmentos corporais em relação aos outros e ao meio ambiente (WINTERS, CARGO, 2000).

Um indivíduo para conseguir manter-se em pé exige tanto da estabilidade corporal quanto da orientação especial. As restrições do sistema músculo-esquelético interage com as dos sistemas de controle neural envolvidos na coordenação multi-articular, na orientação sensorial e na adaptação ambiental. A postura em bipedestação não é, definitivamente, um estado estático, mas uma interação dinâmica entre o comportamento neural e as tarefas específicas automáticas. (WINTERS, CARGO, op. cit.).

A coordenação dos segmentos corporais visando o controle do equilíbrio dinâmico inclui estratégias de movimento para controlar o comportamento articular envolvido na estabilização de todo o corpo. A estratégia de movimento postural é a solução para o contexto espacial assim como é pertinente ao objetivo da tarefa. Restrições biomecânicos inerentes ao sistema músculo-esquelético limitam o potencial das estratégias de movimento disponíveis afim de mobilizar os segmentos corporais para o controle do equilíbrio. A postura em equilíbrio envolve o controle da posição do centro de gravidade do corpo sobre seus limites de estabilidade (HORAK, HEMY, SHUMWAY-COOK, 1997). Na postura bípede, a estabilidade corporal depende das características da base de apoio do pé, mas também é dependente da amplitude de movimento articular, da força muscular e da rigidez. (WINTERS, CARGO, 2000).

O sistema nervoso tem de se adaptar às mudanças na configuração da base de apoio e de sua própria disposição inicial, bem como as mudanças graduais na configuração espacial da massa, força e rigidez dos segmentos que ocorrem com o desenvolvimento no decurso de tempo. A coordenação entre cabeça, tronco e membros inferiores é particularmente importante para o controle postural (WINTERS, CARGO, op.cit.).

A orientação postural envolve a interpretação das informações dos sistemas somatossensorial, vestibular e visual para determinar o alinhamento do corpo e a estabilidade relativa. Informações sensoriais não podem ser utilizadas diretamente para o controle postural, sem interpretação multissensorial, porque não existe um mapeamento direto do centro de gravidade do corpo e porque o corpo é multissegmentar, de tal forma que referenciais sensoriais podem ser alteradas pelas mudanças na posição do corpo. Múltiplos canais de informação são necessários em ordem para resolver as ambiguidades sobre a orientação postural e o movimento corporal. A função de cada um dos sistemas sensoriais de orientação e de equilíbrio pode mudar, dependendo da disponibilidade da informação sensorial dentro de um ambiente específico e, dependendo da tarefa. A qualidade da informação sensorial no controle postural também depende de como os movimentos do corpo são coordenados, estratégias de movimento (WINTERS, CARGO, op.cit.).

2.5. Objetivos e Importância prática do Treinamento proprioceptivo

Indivíduos lesionados, idosos e acometidos por doença neurológica apresentam redução do equilíbrio corporal e da propriocepção, este fato pode limitar ou reduzir sua autonomia na realização das atividades de vida diária (GAUCHARDA et al, 1999; JUDGE, 2003) ou na prática desportiva (EMERY, 2003).

Em atividades de vida diária ou em atividades desportivas, nos deparamos com poucas situações em que o corpo humano está na postura estática, na grande maioria permanecemos em postura dinâmica. Neste caso, para conservarmos o equilíbrio dinâmico do corpo, necessitamos da estabilidade articular para que os movimentos sejam realizados com mais qualidade e um menor risco de lesão.

Exemplo: Durante a corrida, no instante em fazemos a extensão do joelho na fase de propulsão, se faz necessário manter a estabilidade do joelho para que ao mesmo tempo em que realize uma extensão com maior eficiência, a articulação não realize um movimento arbitrário. Pois, segundo Whiting & Zernicke (2009), o ligamento cruzado anterior pode ser lesionado quando ocorre uma rotação da tíbia sobre o fêmur.

Assim, o Treinamento Proprioceptivo constitui uma importante estratégia de intervenção tanto no processo de reabilitação de certos tipos de lesões articulares em diferentes regiões no corpo, como na coluna lombar (BORGHUIS, HOF, LEMMINK, 2008), no joelho (ALONSO, GREVE, CAMANHO, 2009) e tornozelo (MICHELL et al, 2006; COUGHLAN, CAULFIELD, 2007); quanto no processo de prevenção de acidentes diversos, como no caso de quedas em idosos, que são muito frequentes (HORAK, 1997, CHEUNG et al, 2008).

Este tipo de treinamento tem como característica melhorar a capacidade de controle neuromuscular, tanto na denominada postura estática quanto na dinâmica (ANDERSON, BEHM, 2005; BORGHUIS, HOF, LEMMINK, 2008, HILL et al, 2009).

Neste sentido a exercitação da propriocepção se faz necessária quando o propósito é aprimorar o controle neuromuscular, aumentando o grau de estabilidade articular (COOPER, TAYLOR, FELLER, 2005).

2.6. Instrumentos para a mensuração do equilíbrio e da estabilidade corporal

Nos estudos sobre o equilíbrio corporal são utilizados diferentes tipos de instrumentos, tais como: Posturógrafos, plataformas instáveis, Escalas nominais e videogrametria. Os testes, em contextos como esses, são específicos para a mensuração do equilíbrio postural, geralmente por meio da descrição do deslocamento do centro de pressão, centro de gravidade e/ou considerando o tempo de permanência sobre a plataforma, sendo mantida determinada condição.

A posturografia pode ser entendida como a descrição da postura considerando a posição relativa de diferentes partes do corpo, umas em relação às outras. Este tipo de técnica busca mensurar a oscilação do corpo ou de uma variável associada a essa

oscilação, muitas vezes com o objetivo de realizar diagnósticos diferenciados de pacientes que apresentam quedas ou acometimentos no equilíbrio; identificar indivíduos que estão em risco de sofrer quedas; documentar de forma objetiva e quantitativamente o efeito de intervenções terapêuticas; obter uma melhor compreensão fisiopatológica da instabilidade postural e das quedas, o que serve de base para o desenvolvimento de melhores estratégias de tratamento e melhora de desempenho (VISSER et al, 2008).

Como desvantagem para o uso desses tipos de estratégias Visser et al (op. cit.) apontam para a variabilidade no desempenho do teste, inter e intra examinadores, a natureza subjetiva dos sistemas de pontuações, e a impossibilidade de desvendar detalhes da fisiopatologia subjacente em alguns pacientes.

Para a mensuração posturográfica, no âmbito da avaliação do equilíbrio postural, geralmente o Centro de Pressão é a variável de estudo. O centro de pressão é o ponto de aplicação da força corporal resultante que age sobre a superfície de suporte (ENOKA, 2000).

A posturografia é utilizada tanto para o estudo da postura estática quanto para o estudo da postura dinâmica, isto quando pretende-se estudar a resposta a uma perturbação aplicada sobre um indivíduo. A realização de tal procedimento depende do uso de uma plataforma de força ou de equilíbrio.

Desta forma, a posturografia por ser dividida em posturografia estática, quando é estudado a oscilação postural durante a postura bípede sem a manipulação dos estímulos perturbatórios; e a posturografia dinâmica, quando estuda-se a resposta postural do indivíduo a uma perturbação externa aplicada sobre o corpo humano.

Sendo assim, na posturografia, o estudo do comportamento corporal está relacionado tanto ao equilíbrio postural estático quanto ao equilíbrio postural dinâmico (VISSER et al, 2010).

Durante os anos, estudos são desenvolvidos para o maior conhecimento do controle postural humano, tanto relacionados a posturografia estática (GOULDING et al, 2003; FIORETTI et al, 2010) quanto a dinâmica (MONSELL et al, 1997; JOHANSSON et al, 2001; GOULDING et al, 2003).

Segundo Monsell et al (1997), as diversas condições criada no teste de equilíbrio são destinados para desafiar os mecanismos de controle postural humano. É possível manipular o feedback somatossensorial e visual, em certa medida, para que sua influência sobre o equilíbrio possa ser alterada, permitindo a avaliação da capacidade de um indivíduo para utilização de sensações vestibulares para manter o equilíbrio. Os resultados dos testes são relacionados com a capacidade do indivíduo para manter e recuperar o equilíbrio e pode representar as anormalidades de uma modalidade especial sensorial ou da transformação de que modalidade sensorial do sistema nervoso central.

Uimonem et al (1996) compararam os efeitos de duas diferentes freqüências vibratórias no comportamento postural em 30 indivíduos saudáveis. Foi utilizada a posturografia estática para a identificação dos resultados. Concluiu-se que os testados apresentaram oscilações tanto antero-posteriores quanto médio-lateriais, diferentes quando submetidos a freqüências oscilatórias mais altas e mais baixas.

Em alguns casos, autores estudam a utilização da análise espectral para examinar os dados obtidos durante a posturografia dinâmica computadorizada. Neste caso, foi examinado como a análise espectral poderia fornecer informações mais detalhadas sobre as estratégias posturais e do potencial de aprendizagem em todos os ensaios e as condições do teste de organização sensorial. Foram examinadas vinte idosas que apresentaram melhoras significativas, do primeiro para o segundo ensaio, em sua pontuação de equilíbrio nas condições mais difíceis. Este achado foi refletido nos dados de análise espectral por uma mudança na distribuição de freqüência para uma maior potência na faixa de freqüência mais baixa. Esta mudança de freqüência provavelmente representa uma mudança na estratégia postural do tornozelo utilizado para manter o equilíbrio durante as condições mais difíceis (ROSENGREN et al, 2007).

Browne et al (2002), avaliaram um novo projeto de plataforma de força dinâmica e o sistema posturografia quantitativa. A avaliação consistiu em identificar os efeitos do envelhecimento e doenças no sistema de controle postural e também examinar a relação entre o desempenho funcional e a oscilação postural. Foram recrutados setenta indivíduos saudáveis, oito pacientes com doença de Parkinson e

nove pessoas com um histórico de quedas. Verificou-se que o sistema posturografia quantitativa foi capaz de identificar mudanças no sistema de controle postural, devido tanto ao processo do envelhecimento quanto pela doença. Além disso, um coeficiente de correlação moderado foi encontrado entre os parâmetros de oscilação medidos pelo sistema de posturografia quantitativos e os dois testes funcionais, o teste de apoio unipodal e o teste de alcance funcional. A relação também foi encontrada entre o desempenho funcional e oscilação postural.

Desta forma, percebe-se que a posturografia é uma técnica utilizada para o exame da postural corporal humana, aplicada a diversos públicos, tais como adultos hígidos, idosos e acometidos por neuropatia.

1.1. Estabilometria

Estabilometria, também conhecida como estabilografia ou estacinesiografia, é a mensuração e o registro da continua oscilação do corpo humano (STEWARD & VOLGYESI, 1978). Esta é uma técnica muito utilizada para o estudo do controle postural.

O estatocinesiograma é o mapeamento do centro de pressão na direção ântero-posterior versus o centro de pressão na direção médio-lateral, enquanto que o estabilograma é a série temporal do centro de pressão nas direções ântero-posterior e médiolateral.

Em estabilometria as oscilações mecânicas do centro de gravidade do corpo humano, enquanto o indivíduo mantém a postura bípede, são mensurados. O método pode ser aplicado em várias disciplinas, incluindo clínica médica, otorrinolaringologia, medicina do trabalho, fisiologia do esporte (TEREKHOV, 1976) e biomecânica (OLIVEIRA et al, 2009; HSU, KUAN, YOUNG, 2009).

O método estabilométrico consiste em transformar as oscilações mecânicas do centro de pressão do homem em sinais elétricos, sendo este amplificado, registrado e analisado (TEREKHOV, 1976).

Hsu, Kuan, Young (2009) avaliaram o desenvolvimento do equilíbrio em crianças, com idades entre 3 e 12 anos, através da plataforma de estabilometria.

Testando os sujeitos em quatro condições diferentes: superfície rígida com os olhos abertos; superfície rígida com os olhos fechados; superfície instável de almofada com os olhos abertos, e superfície instável de almofada com os olhos fechados, concluíram que em relação aos adultos, a maior velocidade de oscilação e a maior área circular em crianças indicam desenvolvimento incompleto do vestibular e integração do sistema nervoso central. Estes resultados sugerem que, o fator idade serve como um índice mais confiável para estimar o desenvolvimento funcional do sistema de equilíbrio, e uma criança na idade de 12 anos deve atingir nível de equilíbrio de um adulto.

Estudos se propõem a avaliar a eficácia de um tratamento de reabilitação do equilíbrio, utilizando tanto uma plataforma oscilatória quanto exercícios físicos específicos. A melhora pode ser observada por meio de avaliações instrumentais, escalas de equilíbrio e marcha. Para todos os indivíduos testados, o tratamento na plataforma provou ser tão eficaz como os exercícios específicos na melhora do equilíbrio. Este efeito foi mais evidente em indivíduos com distúrbios vestibulares, independentemente da ordem de tratamento. Assim, conclui-se que o treinamento de equilíbrio em estabilômetro é eficaz em pacientes com distúrbios do equilíbrio corporal de origem vestibular ou neuropática. Esses achados apontam para o valor de um ou ambos os exercícios físicos específicos e a plataforma oscilatória em aumentar a estabilidade e diminuir potencialmente o risco de quedas em indivíduos com neuropatia, para os quais poucos resultados são documentados na literatura (NARDONE et al, 2010).

Oliveira et al (2009) analisaram as mudanças na oscilação do corpo ao longo da gravidez de vinte gestantes. Foram aplicados testes estabilométricos em diferentes fases da gravidez e com uma combinação de diferentes condições visuais e configuração da base de apoio. Alterações no controle postural com a gravidez foram analisadas através da área elíptica do estabilograma e análise espectral dos deslocamentos do centro de pressão nos sentidos latero - lateral e anterior - posterior. Como resultado, a área elíptica englobando o centro de pressão aumentou significativamente ao longo da gravidez para os pés e os olhos fechados protocolos de teste. A análise espectral revelou um aumento significativo das oscilações do centro de pressão na direção ântero-posterior, quando os indivíduos estavam com os olhos

abertos, com os pés juntos e com os pés afastados. A redução significativa das oscilações laterais foi observada para os olhos abertos e pés juntos . Conclui-se que a gravidez induziu alterações significativas no controle postural quando a mulher grávida ficou com uma base de apoio reduzida ou com os olhos fechados.

Quando refere-se a utilização de instrumentos que propiciam a instabilidade, Johnson & Nelson (1979) propõem teste de equilíbrio utilizando não somente plataformas, mas também objetos de madeira e agilidade corporal.

Como é o caso do Teste de Equilíbrio Dinâmico (JOHNSON & NELSON, 1979), que tem como objetivo medir a habilidade de saltar com precisão e manter o equilíbrio durante e após o movimento. Este teste é indicado para ambos os sexos e a partir do segundo grau de escolaridade. Apresenta uma fidedignidade de 0,75, calculado com os sujeitos sendo testados em dias diferentes. Utiliza como materiais cronômetro, fita adesiva e trena.

Para a realização do teste o testado deverá manter a postura bípede, com o membro inferior direito posicionado sobre a marca de saída. Deverá saltar para a primeira marca aterrissando sobre o membro inferior esquerdo e permanecer nesta posição o tempo que for possível, até atingir a marca dos 5 segundos. Deverá então, saltar para a segunda marca a direita, aterrissando sobre o membro inferior direito e assim sucessivamente, de uma marca à outra. A ponta do pé deverá cobrir completamente a marca colocada no chão.

Como resultado para cada marca atingida será de 5 pontos, com a adição de um ponto para cada segundo que permanecer em equilíbrio sobre cada marca. Desta forma o testando poderá ter uma pontuação máxima de 10 pontos por cada marca, num total de 100 pontos possíveis para o teste.

O Teste de Equilíbrio de Nelson tem como objetivo medir tanto o equilíbrio estático quanto o dinâmico. Recomendado tanto para crianças, a partir dos nove anos de idade até a idade universitária.

Sete blocos pequenos de madeira (5x10x20cm); uma trave de equilíbrio de madeira com 3 metros de comprimento, 5 centímetros de largura e 10 centímetros de espessura. Cronômetro, trena e giz, ou fita adesiva são os equipamentos utilizados

para o teste. Este teste envolve deslocamento sobre os blocos e alguns giros, no qual, será considerado o tempo total de execução do teste.

Estes testes exigem além de equilíbrio corporal, agilidade e resistência, o que pode comprometer a qualidade dos resultados para o estudo específico do equilíbrio postural. A forma de mensuração, por exemplo do tempo, possibilita erro humano, pois, o acionamento do cronômetro é realizado de forma manual.

Teste de equilíbrio com plataformas instáveis 2D e multidirecionais tem como característica importante, o tempo de permanência sobre o equipamento sem tocar o solo e perder o equilíbrio (JOHNSON & NELSON, 1979). Como limitações têm a falta de precisão ao marcarmos o tempo, pois, o cronometro é acionado manualmente; as oscilações ocorridas não são registradas, por isso, não saberemos se o indivíduo, mesmo permanecendo um tempo maior, melhorou realmente seu equilíbrio após semanas de treinamento, já que não poderemos identificar se o indivíduo oscilou mais ou menos.

Em relação aos testes realizados, podem-se citar alguns testes específicos de Equilíbrio:

Static Balance Test

Este teste tem como objetivo mensurar o equilíbrio estático durante o apoio unipodal na ponta do pé com o membro inferior dominante. Segundo Jonshon & Nelson (1979) pessoas de ambos os sexos e a partir das 10 anos de idade podem ser submetidas ao teste.

O indivíduo deve manter o pé do membro inferior dominante no solo, o outro pé no joelho e as mãos na cintura. Ao sinal, o indivíduo deverá elevar o calcanhar e manter-se em equilíbrio na ponta do pé. Cada testado terá três tentativas, sendo escolhido o melhor tempo dentre as tentativas. O tempo de permanência será registrado com um cronômetro de acionamento manual.

Bass Stick Test (Crosswise) (Bass 1939)

Neste teste que objetiva a mensuração do equilíbrio estático durante o apoio unipodal na ponta do pé com o membro inferior dominante em uma superfície estreita.

Assim como o Static Balance Test, pessoas de ambos os sexos e a partir das 10 anos de idade podem ser submetidas ao teste.

Cada indivíduo colocará o pé transversalmente na vara, que se encontrará no solo, e levantará o outro pé do solo, mantendo o equilíbrio pelo maior tempo possível, até o máximo de 60 segundos. Enquanto o temporizador conta em voz alta, o observador registrará quanto tempo seu testado manteve o equilíbrio. Cada indivíduo executará o teste seis vezes, três vezes em cada membro inferior.

Bass Stick Test (Lengthwise) (Bass 1939)

Semelhante ao Bass Stick Test (Bass 1939), no entanto, o pé será posicionado na vara de forma vertical.

Balance Challenger Tests (Johnson 1979)

O objetivo do Balance Challenger Tests é mensurar o equilíbrio em várias posições com o Balance Challenger, ou Levelometer Board, sendo este um equipamento para treinamento de equilíbrio multidirecional, que se útil para o treinamento em diversos desportos.

Para a realização do teste de equilíbrio no Levelometer Board, devem ser colocados quatro blocos para manter a plataforma imóvel enquanto o indivíduo sobe na plataforma. Os blocos serão retirados quando o indivíduo estiver sobre a plataforma e quando for iniciar o teste, sendo assim, registrado o tempo de permanência sem tocar o solo.

Two-Foot Standing Balance Test

Este teste tem como objetivo mensurar o equilíbrio na postura bípede sobre uma plataforma instável. Segundo Jonshon & Nelson (1979) pessoas de ambos os sexos e todas as idades podem ser submetidas ao teste.

O indivíduo deve manter os pés unidos sobre o centro da plataforma, durante o teste, sem desequilibrar e tocar o solo com o pé. O teste se inicia quando os blocos de madeira são retirados da plataforma. Cada testado terá três tentativas, sendo escolhido o melhor tempo dentre as tentativas. O tempo de permanência será registrado com um

cronômetro de acionamento manual. O melhor tempo possível é considerado 60 segundos.

One-Foot Standing Balance Test

Semelhante ao anterior, no entanto, deve-se realizar o teste com um membro inferior de cada vez, ao centro da plataforma.

Four Corner Touch Test

Semelhante ao Two-Foot Standing Balance Test exceto que neste teste deve-se tocar o solo com as quatro quinas durante o teste, a saber: esquerda anterior, direita anterior, esquerda posterior e direita posterior.

As escalas nominais, no nosso caso a Escala de Berg, constituí em uma escala de 14 atividades que envolvem o equilíbrio estático e dinâmico tais como alcançar, girar, transferir-se, permanecer em pé e levantar-se. A realização das tarefas é avaliada através de observação e a pontuação varia de 0 a 4 totalizando um máximo de 56 pontos. Estes pontos devem ser descontados caso o tempo ou a distância não sejam atingidos, ou o indivíduo necessite de supervisão ou apóia-se num suporte externo para a execução da tarefa. Esta escala pode indicar o risco de quedas do indivíduo analisados. Neste caso, quando ocorre um declíneo dos scores da escala, associa-se com o aumento do risco de quedas.

Este instrumento é bastante utilizado no ambiente clinico, prova disso é o esforço gerado para sua utilização no Brasil. Miyamoto et al (2004) Traduziram e adaptaram a escala de equilíbrio de Berg para Português – Brasil e determinaram a confiabilidade dos resultados obtidos com a adaptação brasileira. Para tal a realização do estudo, duas pessoas proficientes na língua inglesa, independentemente traduziram a escala original para o Português e uma versão foi gerada a partir de um consenso entre os avaliadores. Dois tradutores realizaram uma nova tradução para o inglês novamente. Discrepâncias foram discutidas e solucionadas através de um painel. Quarenta pacientes com mais de 65 anos e 40 terapeutas foram incluídos na fase de adaptação

cultural. Se mais de 15% dos terapeutas ou pacientes relataram dificuldade em compreender um item, esse item foi reformulado e reaplicado.

A versão brasileira final foi então testada em 36 pacientes idosos, acima de 65 anos de idade. O coeficiente de correlação intraclasse e coeficiente de correlação de Pearson foram calculados para avaliar a confiabilidade intra e inter observador. Seis questões foram modificadas durante a fase de tradução e fase de adaptação cultural. O coeficiente de correlação intraclasse de confiabilidade intra e inter-observador foi de 0,99 (P<0,001) e 0,98 (P<0,001), respectivamente. A correlação de Pearson para a confiabilidade intra e inter-observador foi 0,98 (P<0,001) e 0,97 (P<0,001), respectivamente. Os autores concluíram que a versão brasileira da escala de equilíbrio de Berg é um instrumento confiável para ser utilizado na avaliação do equilíbrio de idosos brasileiros.

No que tange a mensuração do equilíbrio postural, segundo Emery (2003) a utilização equipamentos apropriados é essencial para examinar com confiabilidade os resultados do treinamento na reabilitação e no programa de prevenção a lesão tanto na medicina desportiva (EMERY, 2003) quanto em outros setores de atividade profissional de saúde, como na geriatria.

Como foi visto, pesquisas sobre o equilíbrio humano utilizam instrumentos geradores de instabilidades de equilíbrio tanto uniplanares quanto multidirecionais, com o objetivo de identificar as estratégias relevantes, geradas para o controle muscular (COMMISSARIS et al, 2002).

Em avaliações clínica e desportiva, antes e após o treinamento específico de equilíbrio e propriocepção, os indivíduos são submetidos ao teste de equilíbrio em plataformas específicas (EMERY, 2003; HESS, WOOLLACOTT, 2005; MANSFIELD et al, 2007). No entanto, esta avaliação gera muitos questionamentos.

Segundo Emery (2003), embora os resultados dos testes de equilíbrio e estabilidade sejam, em certa medida, confiáveis e consistentes, pode-se argumentar que os instrumentos geralmente utilizados não replicam a natureza dinâmica da atividade desportiva, sendo mais adequado em caso de idosos ou encefalopatas.

Outro problema também foi identificado por Barton et al (2006). Os autores afirmam que a funcionalidade das plataformas móveis usadas em estudos de equilíbrio

humano é limitada, pois o posicionamento dos eixos de movimento interferem diretamente na investigação das estratégias de controle das articulações proximais.

Commissaris et al (2002) afirmam que as tradicionais plataformas são limitadas quanto as amplitude de movimento, gerando uma instabilidade de equilíbrio insuficiente para o grau de instabilidade a ser mensurada.

No intuito de minimizar estes problemas, Commissaris et al (2002) desenvolveram um equipamento capaz de movimentar em um único plano e de forma programada. Ou seja, este instrumento promove instabilidade de equilíbrios a partir dos graus previamente determinados. Mas, como principal limitação, o equipamento não girava em dois eixos diferentes no mesmo instante. Desta forma, não era possível simular e analisar o comportamento corporal em relação aos desequilíbrios ocorridos em atividades de vida diária.

Já Barton et al (2006), elaboraram um instrumento capaz de gerar movimentos multidirecionalmente e de forma programada. Este instrumento gera instabilidade de equilíbrio em diferentes planos, movimentando-se com freqüência de 0.2 a 15 Hz, e de 15° a 23° de amplitude. Por outro lado essa plataforma apresenta limitações no que tange a determinação da trajetória de movimento, devido ao posicionamento dos seus eixos. O instrumento possibilita o movimento em três direções de forma indefinida, estabelecido pelos limites referidos de um retângulo.

Less et al (2007), conseguiram mensurar tanto a velocidade quanto o deslocamento da plataforma por meio de análise videogramétrica, no qual foram posicionados cinco marcadores no centro da plataforma, e a mesma programada para se movimentar numa freqüência conhecida.

Este estudo possibilitará a obtenção das medidas de deslocamento, velocidade e aceleração angulares da base superior da plataforma através do potenciômetro. Apesar da videogrametria ser uma técnica validade para este tipo de mensuração (LEES et al, 2007), a utilização do potenciômetro torna a mensuração mais prática, não necessitando de outros equipamentos, como uma câmera de alta velocidade. Além disso, a mensuração pelo potenciômetro é mais rápida, pois, não é necessário muito tempo para o processamento dos dados.

3. MATERIAS E MÉTODOS:

Todos os procedimentos de elaboração e coleta de dados da plataforma foram realizados no Laboratório de Biomecânica e Comportamento Motor da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (LaBiCoM/UERJ).

O equipamento a ser desenvolvido foi baseado em um modelo de plataforma criado por Jonhson & Nelson (1979) para a mensuração do nível de equilíbrio corporal de um indivíduo. Atualmente, este tipo de plataforma, em uma versão mais moderna, ainda é utilizado em centros de treinamento.

Na literatura utilizada para a elaboração deste trabalho, não foi encontrado qualquer de recomendação acerca das dimensões adequadas para a construção de uma plataforma com estas características. Sendo assim, a instrumentalização da plataforma instável foi realizada, tendo como base o Levelometer Board (JONHSON & NELSON, op. cit.).

Duas bases de madeira, medindo 50cmx40cmx1,5cm (Figura1), foram utilizadas para formar as bases superior e inferior da plataforma; e dois semi-círculos de madeira, dimensionados em 14,5cmx10cm (Figura1), serviram de apoios laterais, os quais foram posteriormente fixados ao eixo mecânico de movimento.

Um eixo para serra circular n°1 (Motomil – Garthen Indústria e Comércio de Máquinas) (Figura2), foi fixado com parafusos e porcas na base inferior da plataforma. Este eixo é o componente que propicia a mobilidade desejada para a plataforma.

Com o intuito de unir as bases superior e inferior da plataforma, um furo foi aberto próximo ao ápice de cada semi-círculo e nele foi posicionado o eixo mecânico, o qual foi fixado com dois sistemas de porca com rosca esquerda e parafuso. No eixo mecânico, em uma de suas extremidades, foi criado um furo para o posicionamento do sensor, um potenciômetro de fio, de 100Ω (Figura4).

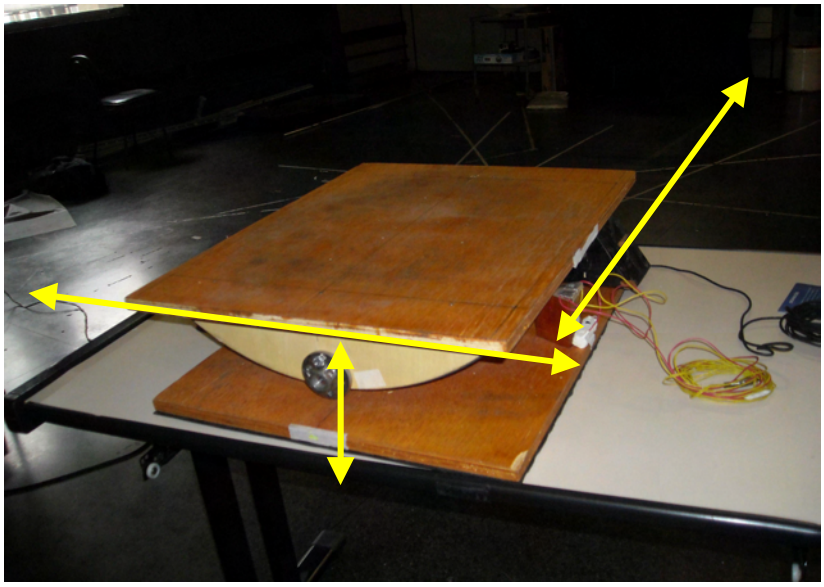


Figura1: Dimensionamento da plataforma

Figura2: Sistema mancais/eixo para serra circular

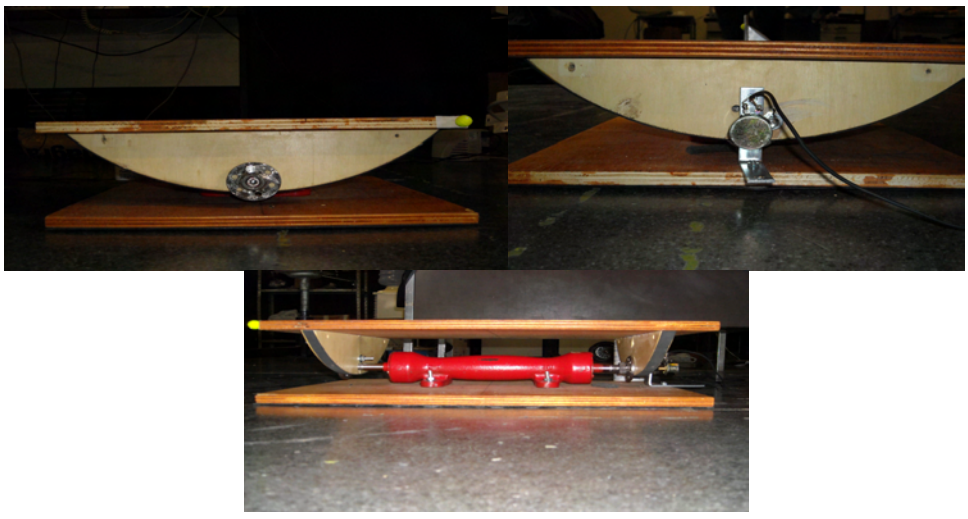


Figura3: Plataforma, sem os blocos anterior e posterior, visualizada no plano sagital e nos sentidos latero-lateral direito (A), latero-lateral esquerdo, e no plano frontal (B). Base de madeira (1), Semi-círculo de madeira (2), Sistemas de porca com rosca esquerda (3)

Figura4: Potenciômetro de fio, de 100Ω

Dois blocos de madeira, com altura de 6 cm e formato triangular, foram posicionados na região anterior e posterior da base inferior da plataforma, sendo um em cada região e de forma centralizado. Na base superior destes blocos existem duas placas de alumínio, sendo que estas não estão unidas. Porém, estas placas estão sendo alimentadas por uma bateria de 1,5v. (Figura5)

Na região inferior da base superior da plataforma, encontra-se fixada uma placa de alumínio condutora. Quando a plataforma chega completamente em um dos seus extremos, tanto anterior quanto posterior, e toca o bloco de madeira, a placa de alumínio da base superior contacta as outras duas placas do bloco e fecha um contato, emitindo assim, um sinal elétrico para o Biopac.

Este sinal permite a informação precisa do instante em que o indivíduo chega a um dos extremos da plataforma, representando o comprometimento da estabilidade do equilíbrio do testado.

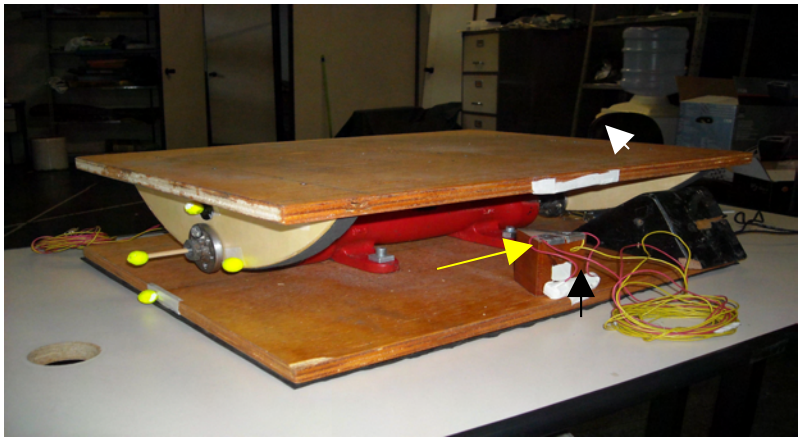


Figura5: Plataforma com o bloco de madeira e a bateria de 1,5v.

A plataforma se mantém travada por um sistema blocos bilateral, até o seu acionamento manual, que consiste na retirada simultânea dos dois blocos.

O potenciômetro foi acoplado ao eixo de movimento da plataforma, de modo, que o mesmo mensurasse o deslocamento angular da plataforma. Neste caso, a variação dos valores emitidos pelo potenciômetro representou a variação angular da plataforma.

O sinal proveniente do potenciômetro foi capturado a uma frequência de amostragem de 200 Hz (UM 100B, Biopac Systems Inc., Santa Bárbara, CA, USA), com ganho = 5.000.

Todos os dados provenientes do potenciômetro foram processados através do software MatLab 7.04 (The MathWorks, USA) para a obttenção da velocidade e aceleração angular.

3.1. Calibração Estática do Potenciômetro

Para a calibração estática do potenciômetro, construiu-se um Transferidor mecânico (Figura6) com o objetivo de mensurar a variação angular ao longo do tempo. O potenciômetro foi acoplado ao centro do Transferidor, e nele fixado uma seta para determinar com precisão a leitura do ângulo mensurado.

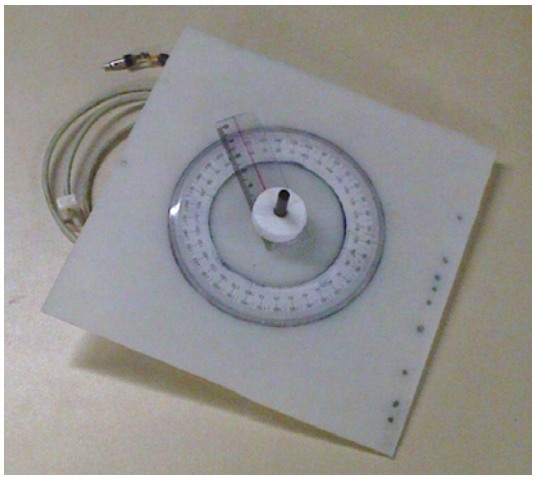


Figura6: Transferidor mecânico

Dois testes diferentes foram realizados com o intuito de calibrar o potenciômetro, identificando algumas características do equipamento, a saber: Repetibilidade, Linearidade, Faixa, Amplitude. O primeiro teste compreendeu na mensuração de 32 medidas, com valor de 10 graus cada, sendo que realizamos as mensurações de forma consecutiva no sentido horário e depois no sentido anti-horário, para identificar a linearidade e a repetibilidade. Este procedimento foi realizado por duas vezes.

O segundo teste compreendeu em deslocar a seta do potenciômetro do seu limite mais inferior até o seu limite superior. Contudo, para identificarmos a Amplitude, registramos a faixa entre os limites, e para a identificação da Faixa, registramos os valores mais inferior e superior. Este procedimento foi realizado por cinco vezes consecutivas, tanto para o sentido horário e anti-horário.

3.2. Potenciômetro

O potenciômetro é um sensor de tensão que possibilita, diretamente, a mensuração e manipulação da voltagem de entrada. Segundo LAWS (1938), este equipamento tem como principais características, a boa acurácia e um erro pequeno de medida.

Quanto o seu manuseio, este sensor propicia uma medida de tensão a cada giro realizado, neste caso, em cada ponto de movimentação do potenciômetro, um valor de tensão é registrado (KARANDEYEV, 1917).

Os potenciômetros são comumente utilizados, em sua maioria, como instrumentos para controlar o nível de sinal de corrente alternada, como exemplo em um controle de volume ou tonalidade em um rádio ou luz elétrica

3.3. Calibração Dinâmica do Potenciômetro

A calibração e a validação da plataforma instrumentalizada com o potenciômetro foi realizada através do sistema de Videogrametria 2D, no qual utilizou-se uma câmera High Speed (Casio Exilim – FH20), com 210fps de captura. Para a captura das imagem, a câmera foi posicionada no plano sagital da plataforma, de modo a ser observado o eixo de movimento representado por um ponto.

Três marcadores passivos, de 10 mm cada, foram posicionados em locais específicos da região lateral da plataforma, a saber: centro da base inferior da plataforma, eixo de movimento e borda lateral do semi-círculo. A distância de 90° entre os marcadores, mantida quando a plataforma está imóvel a 0° e com sua base superior horizontalizada, permitiu que fossem capturadas informações acerca do seu deslocamento angular durante um período de tempo, pois, teremos dois pontos fixos e um móvel durante a movimentação da plataforma.

Após captura dos dados, as imagens foram enviadas para o software SkillSpector (Versão 1.2.5) e foram processadas através da técnica de “Direct Linear Transformation”. Com o intuito de calibrar o ambiente foi utilizado um cubo de medidas conhecidas.

Inicialmente, foram capturadas 5 (cinco) imagens do deslocamento angular da plataforma, propiciado por estímulos manuais. Após processamentos dos dados, obteve-se o arco de movimento completo da plataforma e estas informações serviram de base para a calibração da plataforma.

Em seguida, o potenciômetro foi calibrado em função do comportamento angular encontrado no procedimento acima descrito. Desta forma, os valores emitidos pelo sensor ao Biopac foram diretamente convertidos em valores angulares, nos fornecendo uma medida direta do comportamento cinemático angular da plataforma.

Após estes procedimentos, foram impostos 40 (quarenta) estímulos manuais sobre a plataforma, 20 (vinte) no sentido anterior e 20 (vinte) no sentido posterior. Ao

mesmo instante que as imagens eram capturadas, foram coletadas informações provenientes do potenciômetro.

3.4. Estatística

As análises estatísticas dos dados foram realizadas pelo software GraphPad Prism 5.0. O teste t de student foi utilizado para verificar a diferença entre os valores angulares identificados através da técnica de videogrametria e o potenciômetro. Para a identificação da correlação entre os valores utilizou-se o teste de correlação de Pearson.

3.5. Aplicabilidade desta plataforma:

No que tange a aplicabilidade desta plataforma para o exame do equilíbrio e da estabilidade postural, foi realizado o seguinte procedimento baseado no Teste de Equilíbrio Bipodal de Jonhson & Nelson (1979):

Para o estudo, foi recrutado um indivíduo do gênero masculino, com 21 anos de idade, massa de 72,1 kg e 1,76 m de estatura.

O testado permanecerá na postura bípede sobre a plataforma durante 20 segundos, com os olhos abertos. Os membros superiores ficaram livres e ao lado do tronco podendo ser utilizados para a manutenção do equilíbrio corporal, os pés afastados lateralmente respeitando a distância bi-trocantérica. Durante o teste, o testado deverá manter a plataforma parada ou com o mínimo de movimentação possível (Figura7). O testado recebeu instruções sobre todos os procedimentos da coleta e passou por um processo de familiarização da tarefa motora a ser executada, que consistiu na realização do teste por cinco vezes.

A análise cinemática do movimento corporal será realizada através da técnica de videogrametria 3D. Neste caso, os marcadores passivos, de 20 mm cada, serão posicionados em 10 pontos específicos do corpo, crista ilíaca, trocânter maior, côndilo femoral, maléolo lateral e quinto metatarso, todos de forma bilateral, para a elaboração dos segmentos corporais e determinação do comportamento cinemático angular das articulações do quadril, do joelho e do tornozelo.

A capturada das imagens foi concebida por duas câmeras High Speed (Casio Exilim – FH20), com 210fps de captura, sendo estas posicionadas a uma distância de

30° entre elas, de modo que, as mesmas capturem informações em relação a todos os pontos identificados no testado. As imagens foram importadas para o software SkillSpector (Versão 1.2.5) e foram processadas através da técnica de "Direct Linear Transformation". Com o intuito de calibrar o ambiente, será utilizado um cubo de medidas conhecidas.

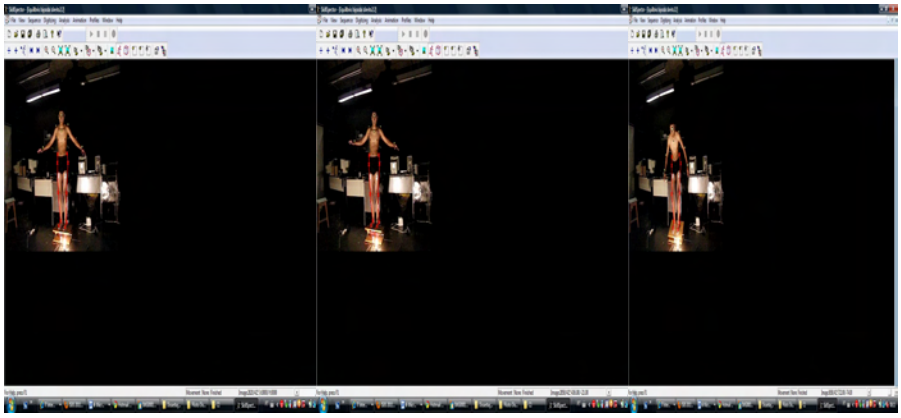


Figura7: Teste de equilíbrio bipodal na plataforma instável

O deslocamento angular da plataforma foi fornecido de forma direta através do potenciômetro e capturado pelo Biopac. No entanto, para a identificação da velocidade e aceleração angulares, os dados de deslocamento angular deverão ser derivados, a partir de uma rotina elaborada no software MatLab.

3.6. Interpretação das informações gerada durante o teste de equilíbrio:

A plataforma instável permite uma movimentação anterior e outra posterior. Partindo do princípio que o testado, durante o exercício, deve manter-se parado e com a base superior da plataforma horizontalizada, sendo esta posição considerada a posição 0°, toda vez que a plataforma girar, tanto anterior quanto posteriormente, a partir do ponto 0°, será considerada perda do equilíbrio do testado. Ao passo que, todo o deslocamento de qualquer extremo até o ponto de 0°, considera-se retomada do equilíbrio. Por exemplo, se o deslocamento partir do extremo anterior e for até o extremo posterior, pode-se considerar que o testado retomou seu equilíbrio, isto quando seu deslocamento chegou ao ponto de 0°, mas não conseguiu manter-se em equilíbrio e voltou a perdê-lo, isto quando sai do ponto de 0° e vai até o extremo posterior.

Tendo em vista o objetivo do exercício de equilíbrio, durante o teste, quando o indivíduo for submetido a um desequilíbrio, a aceleração angular das suas articulações terá como propósito frenar o movimento de translação do corpo, ou seja, impedir o desequilíbrio, neste caso, a aceleração será negativa.

4. RESULTADOS

A Calibração Estática do Potenciômetro:Repetibilidade

Assim como acurácia, a repetibilidade do sistema também apresentou valores satisfatórios (Figura8).

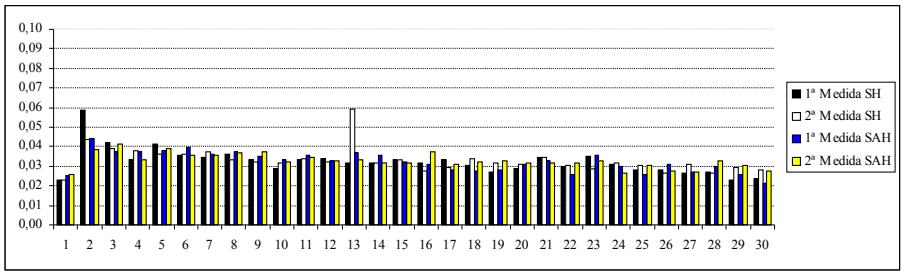


Figura8: Repetibilidade do sinal do potenciômetro

A Calibração Estática do Potenciômetro: Linearidade

O sistema mostrou boa linearidade, como pode ser observado na Figura9.

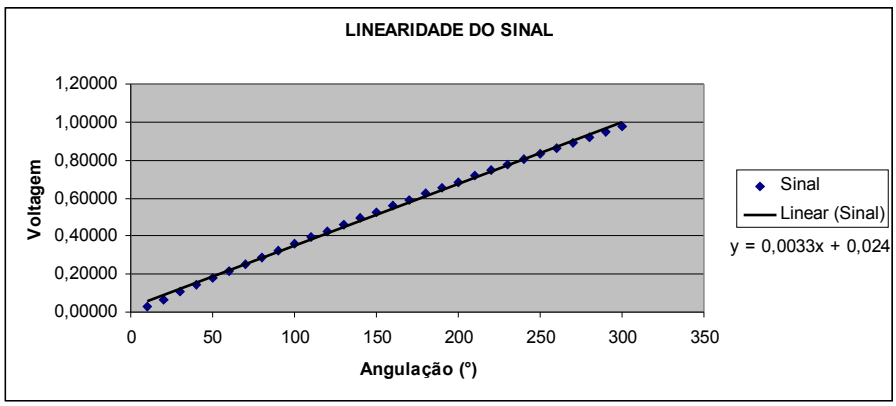


Figura9: Linearidade do sinal

A Calibração Estática do Potenciômetro: Faixa e Amplitude

A Faixa e a Amplitude do sistema foram demonstradas na Tabela1 no sentido anti-horário e na tabela2 no sentido horário.

Limites	**Sentido Anti-Horário**				
	1º	**2º**	**3º**	**4º**	**5º**
Superior	-0,00210	-0,00180	-0,00180	-0,00180	-0,00210
Inferior	-0,64360	-0,64880	-0,65030	-0,64510	-0,64580
Amplitude	0,64150	0,64700	0,64850	0,64330	0,64370

Tabela1: Valores de Faixa e Amplitude do sinal no sentido anti-horário

Limites	**Sentido Horário**				
	1º	**2º**	**3º**	**4º**	**5º**
Superior	-0,00240	-0,00180	-0,00210	-0,00210	-0,00210
Inferior	-0,65120	-0,64850	-0,65000	-0,64730	-0,65400
Amplitude	0,64880	0,64670	0,64790	0,64520	0,65190

Tabela2: Valores de Faixa e Amplitude do sinal no sentido horário

Os dados do deslocamento angular da plataforma provenientes da técnica de videogrametria estão dispostos na Tabela 3.

Medidas	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Média±Desvio Padrão
Máximo	17,176	10,984	20,157	11,487	18,712	15,7±4,2
Mínimo	-11,609	-16,61	-8,779	-16,478	-11,175	- 12,9±3,4
Δ angulação	28,785	27,594	28,936	27,965	29,887	28,6±0,9

Tabela3: Deslocamento angular da plataforma mensurado através da técnica de Videogrametria.

Amplitude angular da plataforma, como mostram as Figuras 10 e 11, que foi medido com o potenciômetro e através da técnica de videogrametria.

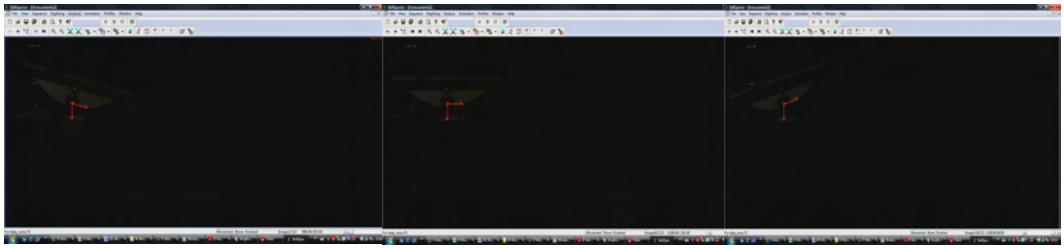


Figura10: Ciclograma da plataforma A = Extremo anterior, B = Ponto médio, C = Extremo Posterior

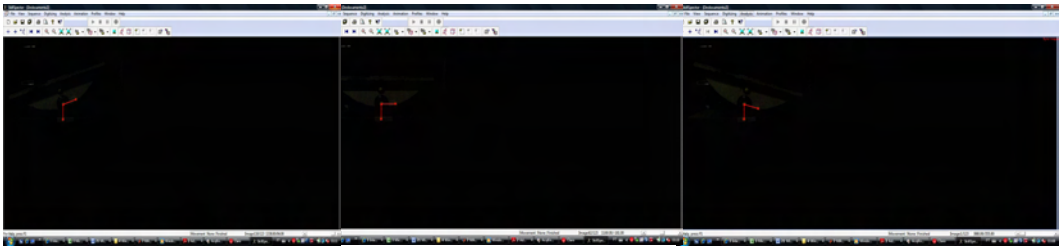


Figura11: Ciclograma da plataforma. A = Extremo Posterior, B = Ponto médio, C = Extremo Anterior

Os valores médios da amplitude angular completa da plataforma, mensurados tanto pela técnica de videogrametria quanto pelo potenciômetro, podem ser observados na Tabela4.

Técnica	Média ± Desvio Padrão
Videogrametria	28,24±0,7
Potenciômetro	25,18±0,5
Diferença	3,06±0,2

Tabela4: Média e desvio padrão do deslocamento angular da plataforma.

Na Tabela5 são apresentadas as características estáticas do sensor.

Características Estáticas	**Valores**
Faixa de Operação	15,30° - 9,88°
Faixa Dinâmica	25,18°

Tabela5: Características estáticas da plataforma.

A figura 12 representa a repetibilidade do sinal do potenciômetro.

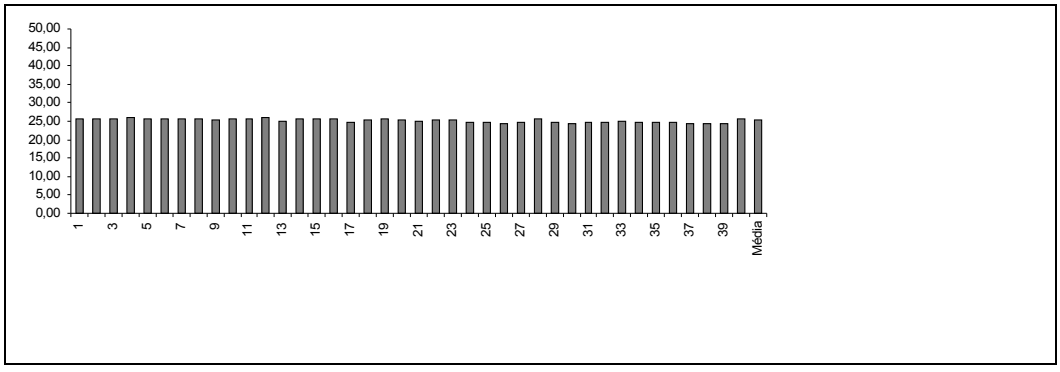


Figura12: Representação gráfica da repetibilidade do sinal do potenciômetro

Os dados referentes as 40 medidas realizadas com o potenciômetro estão dispostas na tabela6.

Medidas	Máximo	Mínimo	Δ angular
1	15,37	-10,36	25,73
2	15,30	-10,43	25,73
3	15,37	-10,22	25,60
4	15,37	-10,43	25,80
5	15,30	-10,29	25,60
6	15,30	-10,43	25,73
7	15,30	-10,29	25,60
8	15,30	-10,22	25,53
9	15,17	-10,22	25,39
10	15,23	-10,36	25,60
11	15,30	-10,36	25,66
12	15,37	-10,50	25,87
13	15,37	-9,74	25,12
14	15,37	-10,29	25,66
15	15,37	-10,36	25,73
16	15,37	-10,29	25,66
17	15,17	-9,40	24,57
18	15,17	-10,29	25,46
19	15,37	-10,29	25,66
20	15,30	-10,16	25,46
21	15,37	-9,68	25,05
22	15,37	-10,09	25,46
23	15,37	-10,09	25,46
24	15,23	-9,40	24,64
25	15,37	-9,20	24,57
26	15,30	-9,20	24,50
27	15,23	-9,33	24,57
28	15,30	-10,29	25,60
29	15,17	-9,40	24,57
30	15,17	-9,33	24,50
31	15,23	-9,33	24,57
32	15,37	-9,26	24,64
33	15,37	-9,47	24,84
34	15,17	-9,47	24,64
35	15,37	-9,26	24,64
36	15,30	-9,33	24,64
37	15,30	-9,13	24,43
38	15,23	-9,26	24,50
39	15,23	-9,26	24,50
40	15,37	-10,36	25,73
Média	15,30	-9,88	25,18
Desvio Padrão	0,07	0,49	0,51

Tabela6: Dados referentes as medições realizadas com o potenciômetro.

A correlação entre os dados da videogrametria e do potenciômetro são apresentados na Tabela7 e na Figura13.

Parâmetro	Resultado
r de Pearson	0,96
r^2	0,93
Valor de p	P<0,0001
α	0,05
y	1,149x - 0,9366

Tabela7: Resultado da correlação entre os dados da videogrametria e do potenciômetro

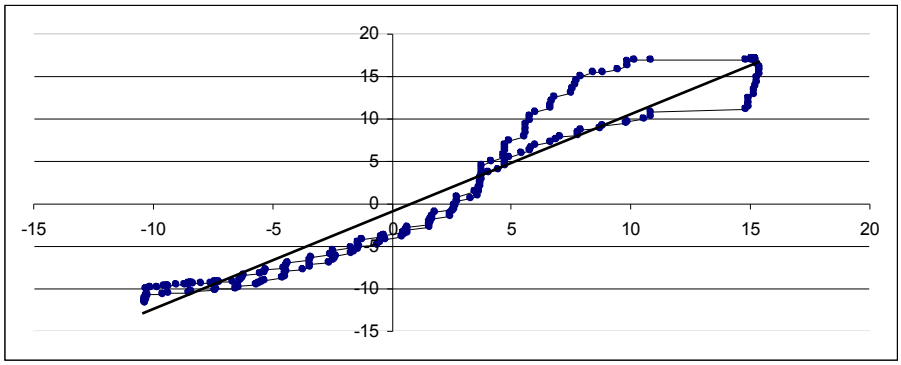
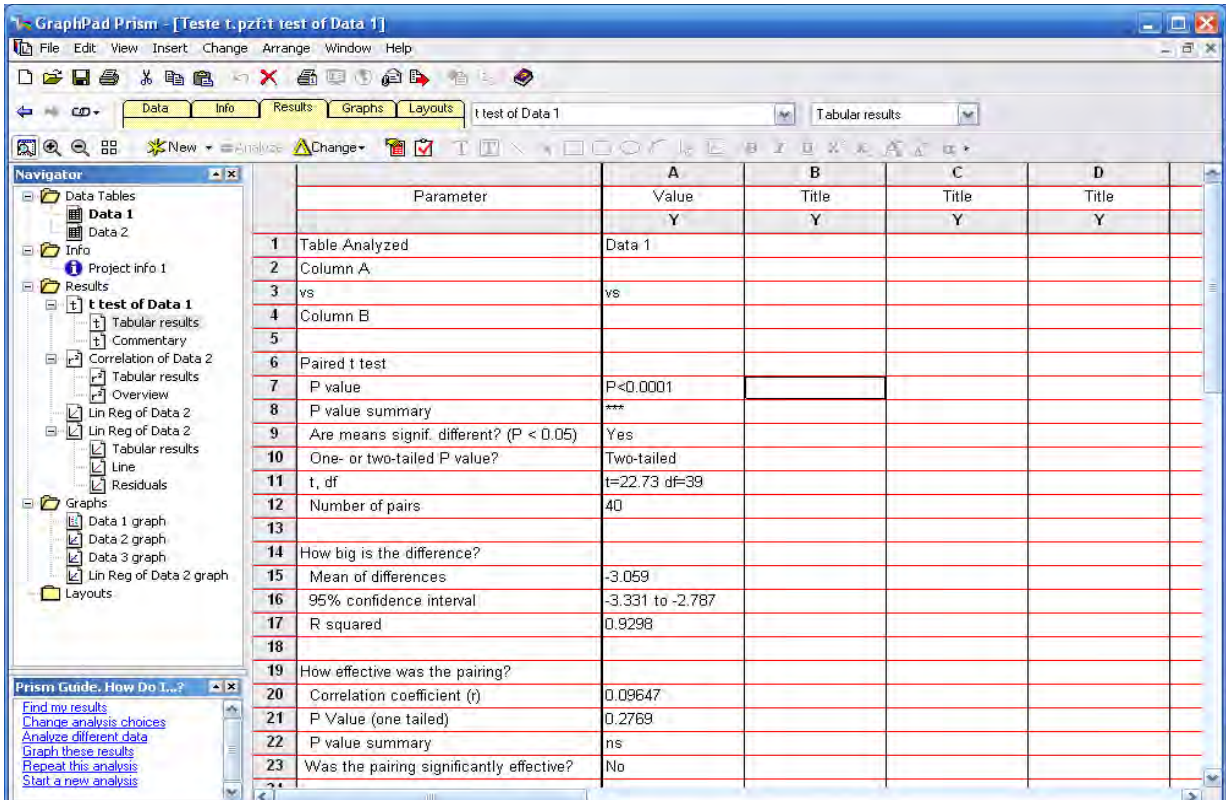


Figura13: Correlação entre os dados da videogrametria e do potenciômetro. No eixo X os valores do potenciômetro e no eixo Y os valores da videogrametria. A linha em azul corresponde a correlação entre os valores dos eixos X e Y, e em preto da linha de tendência da correlação.

Apesar da correlação entre os dados da videogrametria e do potenciômetro, foi identificada uma diferença estatisticamente significativa (P<0,0001), como mostra a figura14.



	Parameter	A Value Y	B Title Y	C Title Y	D Title Y
1	Table Analyzed	Data 1			
2	Column A				
3	vs	vs			
4	Column B				
5					
6	Paired t test				
7	P value	P<0.0001			
8	P value summary	***			
9	Are means signif. different? (P < 0.05)	Yes			
10	One- or two-tailed P value?	Two-tailed			
11	t, df	t=22.73 df=39			
12	Number of pairs	40			
13					
14	How big is the difference?				
15	Mean of differences	-3.059			
16	95% confidence interval	-3.331 to -2.787			
17	R squared	0.9298			
18					
19	How effective was the pairing?				
20	Correlation coefficient (r)	0.09647			
21	P Value (one tailed)	0.2769			
22	P value summary	ns			
23	Was the pairing significantly effective?	No			

Figura14: Análise estatística dos dados da videogrametria e do potenciômetro – teste t de student no software Prisma.

4.1. Exame do Equilíbrio e da Estabilidade Corporal

Os dados referentes ao deslocamento angular da plataforma (A) e aos contatos nos extremos anterior (B) e posterior (C) foram Figura15.

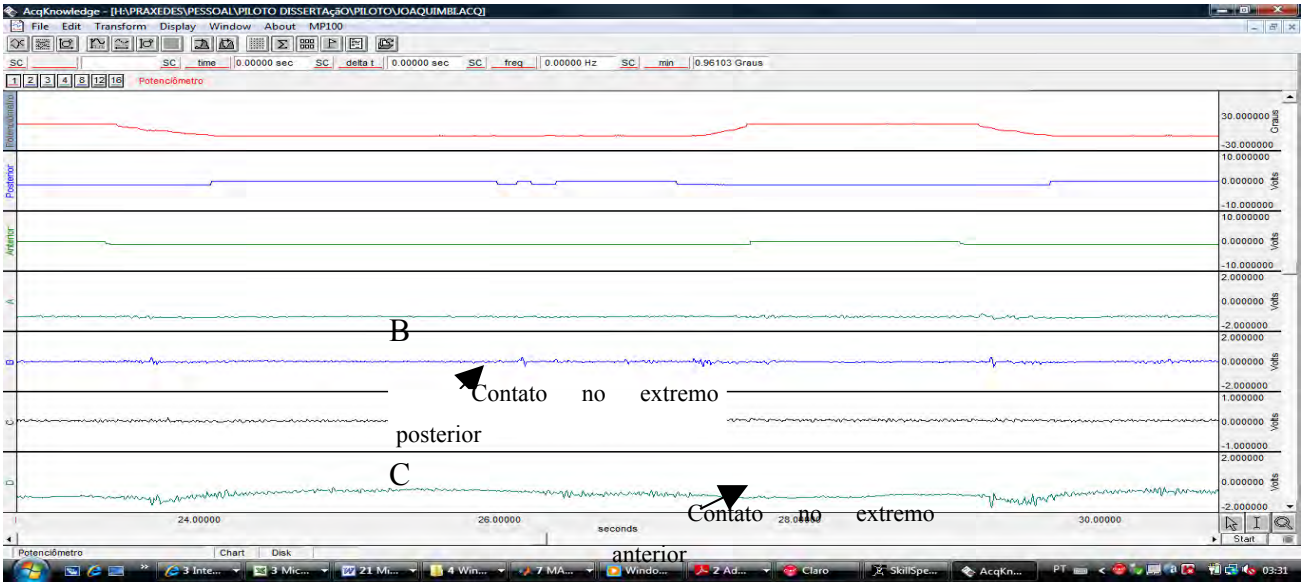


Figura15: Deslocamento angular mensurado pelo potenciômetro

O comportamento angular do quadril (em azul), joelho (em verde) e tornozelo (vermelho) foram apresentados no Figura16 (Membro inferior direito) e Figura17 (Membro inferior direito).

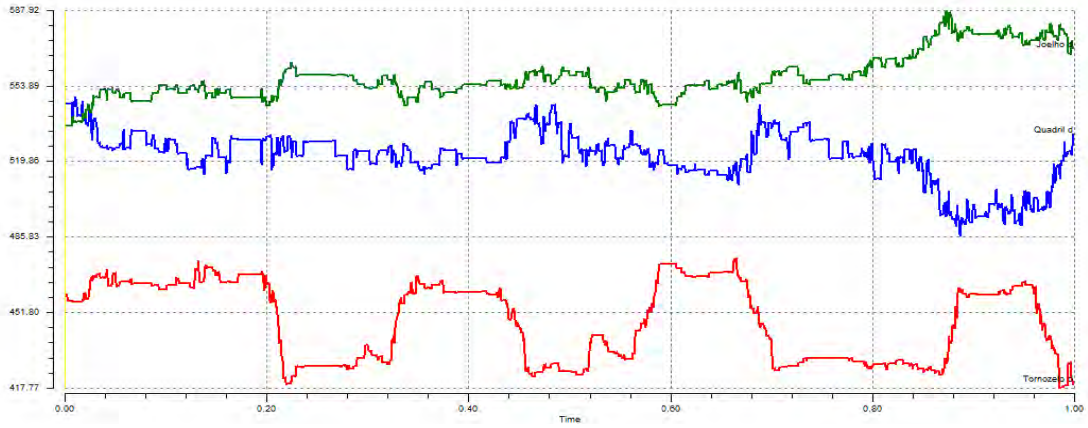


Figura16: Comportamento cinemático angular das articulações do quadril, joelho e tornozelo direitos.

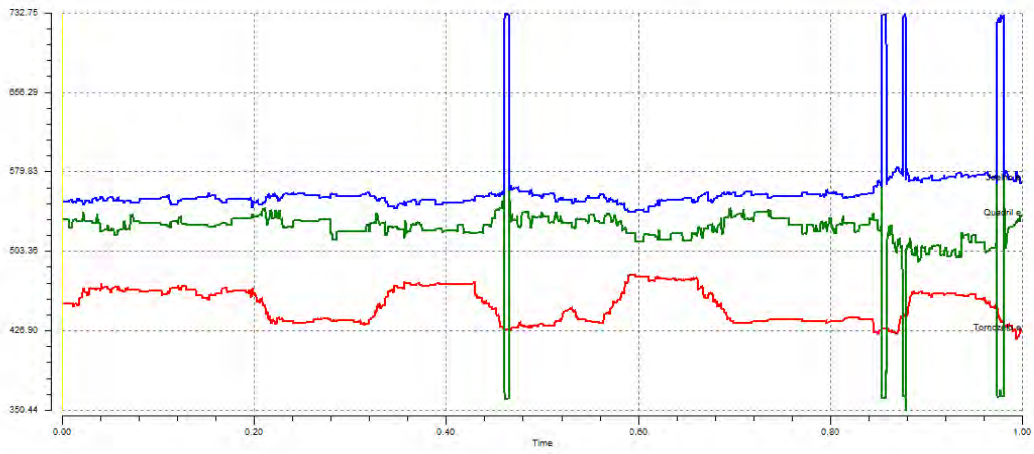


Figura17: Comportamento cinemático angular das articulações do quadril, joelho e tornozelo esquerdos.

4.2. Resultado do Exame do Equilíbrio e da Estabilidade articular:

A plataforma apresentou, durante o teste de equilíbrio bipodal, uma freqüência oscilatória de 0,41Hz.

A tabela 8 apresenta o número de vezes que o testado tocou os extremos da plataforma durante o testes bipodal de equilíbrio.

Extremo	Número de eventos
Anterior	4
Posterior	6

Tabela8: Número de vezes que a plataforma tocou os extremos durante o teste de equilíbrio bipodal.

5. DISCUSSÃO

O objetivo nesse estudo foi elaborar e autenticar cientificamente uma plataforma instável que possibilitasse a mensuração e o monitoramento da magnitude dos estímulos perturbatórios gerados.

A plataforma pôde ser construída, de forma que, a mesma apresentasse mobilidade suficiente para exercer o deslocamento angular anterior e posteriormente. Este equipamento também se mostrou resistente, pois, inúmeras vezes foi utilizado por pessoas acima de 70kg e não apresentou qualquer sinal de fragilidade.

Os dados referentes ao deslocamento angular da plataforma coletados pelo potenciômetro apresentaram boa correlação com os valores obtidos pela videogrametria ($r = 0,96$ e $r^2 = 0,93$).

Isto permite que o comportamento cinemático angular da plataforma seja mensurado diretamente pelo potenciômetro, não havendo necessidade da utilização da técnica de vídeogrametria.

Este fato confere mais praticidade e facilidade para a coleta de dados, pois, através do potenciômetro, necessita-se apenas deste sensor e de um computador. Já a videogrametria, necessita de câmera de alta velocidade, marcadores e um tempo maior de processamento dos dados.

A instrumentalização da plataforma com o potenciômetro mostrou-se confiável, de forma que, os dados identificados pelo Biopac mostraram-se correlacionados aos obtidos pela videogrametria. De acordo com Lees et al (2007), a mensuração do comportamento cinemático de uma plataforma instável pode ser realizado através da técnica de videogrametria, de forma fidedigna. Assim como, a utilização do potenciômetro apresenta-se confiável para a mensuração do comportamento angular da plataforma (BROWN et al, 2001).

Assim como Lees et al (2007), a plataforma oscilatória foi capaz de apresentar seu comportamento cinemático angular, no caso do deslocamento, da velocidade e da aceleração, facilitando assim, a interpretação dos estímulos perturbatório gerados.

Como observado nos resultados, os dados da videogrametria e do potenciômetro apresentaram uma diferença estatisticamente significativa, portanto, foi gerada uma equação para que a partir dos dados do potenciômetro pudéssemos chegar aos valores obtidos pela videogrametria.

Esta plataforma pode suprir as deficiências encontradas nos testes de equilíbrio com uma plataforma específica, tais como: mensuração do tempo de permanência em equilíbrio sem tocar o solo; mensuração do comportamento oscilatório da plataforma durante o teste e a quantidade de vezes que o testado perdeu o equilíbrio.

5.1. Avaliação do Equilíbrio através da plataforma e da VGM

Segundo Brown et al (2007) e Horak, Hemy, Shumway-Cook (1997), o corpo humano responde de forma distinta à diferentes condições de instabilidade, neste sentido, o exame de um indivíduo não será necessariamente igual ao de um outro, nem o seu próximo exame apresentará as mesmas respostas.

Como pode-se observar na tabela 8, o testado tocou o extremos anterior quatro vezes e o extremo posterior 6 vezes. Portanto, o indivíduo submetido ao teste de equilíbrio bipodal em plataforma instável, apresentou maior desequilíbrio posteriormente, ou seja, nota-se que o testado possui maior sensibilidade a perda de equilíbrio no sentido posterior.

A plataforma desenvolvida neste trabalho pode servir tanto como equipamento de treinamento quanto para a realização de teste motores. A partir do momento que tivermos informações acerca das características cinemáticas de movimento que ocorrem no dia-a-dia, será possível estimar a qualidade da resposta motora que um indivíduo terá quando submetido ao esforço e quanto a sua evolução no processo de treinamento.

Pois, segundo Horak, Hemy, Shumway-Cook (1997), a observação de como um indivíduo responde às perturbações externas fornece informações de como os sistemas motor e sensorial respondem a um determinado padrão de estímulos sensoriais, como o sistema nervoso está preparado e se adaptar às perturbações sob uma variedade de contextos, e como ele aprende e executa uma resposta pré-planejada, o que está relacionado com o conceito de padrão de coordenação motora.

Os resultados apresentados neste estudo demonstraram que em diferentes fases do deslocamento angular da plataforma, pode-se observar um comportamento cinemático angular distinto. Assim, estes dados corroboram com os achados de Brown et al (2001), no qual observaram diferenças no controle postural quando o testado foi submetido a um deslocamento angular variado.

Observando as Figuras16 e 17, identifica-se que as articulações dos tornozelos direito e esquerdo foram mais solicitadas para a manutenção do equilíbrio corporal, deste modo, pode-se afirmar que durante o teste de equilíbrio, o testado utilizou, predominantemente, a estratégia de tornozelo para o controle da estabilidade corporal.

Estes achados vão ao encontro do que afirmam Winters & Cargo (2000), os quais estabelecem que a estratégia do tornozelo é utilizada para controlar as oscilações ântero-posteriores da postura e em resposta a pequenas, lentas translações da superfície, enquanto o indivíduo está em pé em superfície plana.

A Tabela3 apresentou o número de vezes e o tempo que o indivíduo permaneceu em contato os extremos da plataforma, o que representa perda total do equilíbrio. Assim, o indivíduo apresentou um maior desequilíbrio anteriormente.

De acordo com Brown et al (2001), os resultados deste estudo podem ser significativamente relevantes para outros pesquisadores que desejam comparar os resultados deste estudo com os de outros laboratórios. Para isto, faz-se necessária a divulgação completa de todos os dados referentes as características físicas e cinemáticas da plataforma.

Este equipamento seria muito útil, por exemplo, em uma escola pública. Partindo do princípio que as crianças que ali estudam, por muitas vezes, enfrentam dificuldades com assistência médica, este equipamento possibilitaria, não somente a identificação quadros instantâneos em determinados momentos, mas como, o acompanhamento de seu desenvolvimento motor, com o intuito de coletar informações suficientes do seu estado atual e de quanto a criança está próxima do considerado padrão maduro.

6. CONCLUSÃO

A plataforma instável construída e instrumentalizada neste trabalho foi capaz de mensurar e monitorar o comportamento cinemático dos estímulos perturbatórios gerados durante a sua movimentação. Desta forma, pode-se substituir a técnica de videogrametria pela utilização do potenciômetro, tornando o exame mais prático.

Este equipamento poderá ser útil para o estudo minucioso do equilíbrio e da estabilidade postural, no que tange a relação entre os estímulos perturbatórios gerados e a resposta motora do testado.

Como limitações, este trabalho teve o alto grau de instabilidade da plataforma, o que dificultava a execução da tarefa motora pelo testado, outro fato foi o acionamento manual da plataforma, que dificultou a sincronização dos dados.

Este estudo preencheu uma das inúmeras lacunas a respeito conhecimento dos equipamentos para a mensuração do equilíbrio e da estabilidade postural, neste sentido, se faz necessários estudos que possibilitem a identificação do comportamento mioelétrico dos músculos dos membros inferiores e da coluna, e o desenvolvimento de uma plataforma com características semelhantes a esta construída, mas que seja possível manipular a produção do estímulo perturbatório a ser gerado. Assim, seria possível estudar o comportamento postural humano em diferentes condições de instabilidade.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

AN K. Muscle force and its role in joint dynamic stability. **Clinical Orthopedics and Related Research.** 2002; 403s : S37-42.

ALONSO, GREVE, CAMANHO. Evaluating the center of gravity of dislocations in soccer players with and without reconstruction of the anterior cruciate ligament using a balance platform. **Clinics**. v.64, n.3, 2009.

ANDERSON, BEHM. The Impact of Instability Resistance Training on Balance and Stability. **Sports Medicine.** v.35, n.1, 2005.

BARTON, GJ; VANRENTERGHEM, J; LEES, A; LAKE, M. A method for manipulating a movable platform's axes of rotation: A novel use of the CAREN system. **Gait & Posture.** n.24, pp. 510–514, 2006.

BEER, F., JOHNSON, E. **Mecânica vetorial para engenheiros.** 4ªed. Editora McGraw-Hill do Brasil. 2006.

BLACKBURN, J.T, RIEMANN, B.L, MYERS, J.B, LEPHART, S.M. Kinematic analysis of the hip and trunk during bilateral stance on firm, foam and multiaxial support surfaces. **Clinical Biomechanics.** v.18, p. 655 – 661, 2003.

BORGHUIS, HOF, LEMMINK. The Importance of Sensory-Motor Control in Providing Core Stability Implications for Measurement and Training. **Sports Medicine.** v.38 n.11, 2008.

BROWN, LA; JENSEN, JL; KORFF, T; WOOLLACOTT, MH. The translating platform paradigm: perturbation displacement waveform alters the postural response. **Gait & Posture.** v.14, n.3, pp. 256-263, 2001.

BROWNE, J., O'HARE, N., O'HARE, G., FINN, A., COLIN, J. Clinical assessment of the quantitative posturography system. **Physiotherapy**. v.88, n.4, p.217-223, 2002.

CHEUNG, K; AU, K; LAM, W; JONES, A. Effects of a structured exercise programme on functional balance in visually impaired elderly living in a residential setting. **Hong Kong Physiotherapy Journal.** v.26, 2008.

COMMISSARIS, NIEUWENHUIJZEN, OVEREEM, VOS, DUYSENS, BLOEM. Dynamic posturography using a new movable multidirectional platform driven by gravity. **Journal of Neuroscience Methods,** v.113, n.1, 2002.

COUGHLAN, CAULFIELD, PhD. A 4-Week Neuromuscular Training Program and Gait Patterns at the Ankle Joint. **Journal of Athletic Training.** v.42, n.1, 2007.

DAVIS, D., KIMMET, T., AUTY, M. **Physical Education:** Theory and Practice. Macmillan Education Australia, 1992.

DONSKOI, D; ZATSIORSKI, V. **Biomecánica de los ejercicios físicos.** Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de La Habana, 1988.

EDWARDS, W.T. Effect of joint stiffness on standing stability. **Gait & Posture.** v.25, n.3, pp.432-439, 2007.

ENOKA, R. **Bases Neuromecânicas da Cinesiologia.** 2ªed. São Paulo: Manole. 2000.

FIORETTI, S., SCOCCO, M., LADISLAO, L., GHETTI, G., RABINI, R. Identification of peripheral neuropathy in type-2 diabetic subjects by static posturography and linear discriminant analysis. **Gait & Posture**. v.32, p.317–320, 2010.

FRACCAROLI, J.L. **Biomecânica:** Análise de movimentos. 2ªed. Rio de Janeiro: Cultura Médica, 1981.

GALLAHUE, D.L., DONNELLY, F.C. **Educação Física desenvolvimentista para todas as crianças.** 4ªed. Phorte editora: São Paulo, 2008.

GARDNER-MORSE MG, STOKES IAF. Trunk stiffness increase with steady-state effort. **Journal of Biomechanics.** 2001; 34: 457-463.

GAUCHARDA, G; JEANDELB, C; TESSIERC, A; PERRINA, P. Beneficial effect of proprioceptive physical activities on balance control in elderly human subjects. **Neuroscience Letters.** n.273, 1999.

GOULDING, A., JONES, I., TAYLOR, R., PIGGOT, J., TAYLOR, D. Dynamic and static tests of balance and postural sway in boys: effects of previous wrist bone fractures and high adiposity. **Gait and Posture**. v.17, p.136 – 141, 2003.

HALLIDAY, D; RESNICK, R; KRANE, K. **Física 1.** Editora Livros técnicos e científicos. Rio de Janeiro: 2006

HESS, J; WOOLLACOTT, M. Effect of high-intensity strength-training on functional measures of balance ability in balance-impaired older adults. **Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics.** 2005.

HILL, LOGIUDICE, LAUTENSCHLAGER, SAID, DODD, SUTTANON. Effectiveness of balance training exercise in people with mild to moderate severity Alzheimer's disease: protocol for a randomized trial. **Biomechanics Geriatrics.** v. 9, n.29, 2009.

HOCHMUTH, G. **Biomecanica del movimento desportivo.** Editora DONCEL: Madri, 1973.

HORAK, F.B., HEMY, S.M., SHUMWAY-COOK, A. Postural Perturbations: New Insights for treatment of balance disorders. **Physical Therapy.** v.77, n.5, p. 517 – 533, 1997.

HORAK, F.B., NASHNER, L.M. Central Programming of Postural Movements: Adaptation to Altered Support-Surface Configurations. **Journal of Neurophysiology.** v.55, n.6, 1986.

HSU, Y., KUAN, C., YOUNG, Y. Assessing the development of balance function in children using stabilometry. **International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology**. v.73, p.737–740, 2009.

JOHANSSON H, SJOLANDER P, SOJKA P. Receptors in the knee joint ligaments and their role in the biomechanics of the joint. **Critical Reviews in Biomedical Engineering.** 1991; 18(5): 341-368.

JOHANSSON, R., MAGNUSSON, M., FRANSSON, P., KARLBERG, M. Multi-stimulus multi-response posturography. **Mathematical Biosciences**. v.174, p.41 – 59, 2001.

JOHNSON, B., NELSON, J. **Practical Measurements for Evaluation in Physical Education.** 4ªed. Coliiier Macmillan Canada inc, 1986.

JUDGE, J. Balance training to maintain mobility and prevent disability. **American Journal of Preventive Medicine.** v.25, n.3Sii, 2003.

KARANDEYEV, K. **Bridge and potentiometer methods of electrical measurements**. Peace Publishers, 1917.

LAUDNER, KG; KOSCHNITZKY, MM. Ankle muscle activation when using the Both Sides Utilized (BOSU) balance trainer. **Journal of Strength and Conditioning Research.** n.24, v.1, pp 218–222, 2010.

LAWS, F. **Electrical measurements**. McGraw-Hill Book Company: New York and London, 1938.

LEE PJ, ROGERS EL, GRANATA KP. Active trunk stiffness increases with co-contraction. **Journal of Electromyography and Kinesiology.** 2006; 16(1): 51-57.

LEES, VANRENTERGHEM, BARTON, LAKE. Kinematic response characteristics of the CAREN moving platform system for use in posture and balance research. **Medical Engineering & Physics.** v.29, n.5, 2007.

LEPHART, S., SWANIK, C., BOONRIONG, T. Anatomy and physiology of proprioception and neuromuscular control. **Athletic Therapy Today**. v.3, p.6-9, 1998.

MALLIOU, P., GIOFTSIDOU, A., PAFIS, G., BENEKA, A., GODOLIAS, G. Proprioceptive training (balance exercises) reduces lower extremity injuries in young soccer players. **Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation.** v.17, pp.101 – 104, 2004.

MANSFIELD, A; PETERS, A; LIU, B; MAKI, B. A perturbation-based balance training program for older adults: study protocol for a randomised controlled trial. **Biomechanic Geriatrics.** n.7, v.12, 2007.

MARVEL, C.L., SCHWARTZ, B.L., ROSSE, R.B. A quantitative measure of postural sway deficits in schizophrenia. **Schizophrenia Research.** v.68, pp. 363– 372, 2004.

MATHEWS, D. **Biblioteca de Educação Física.** Interamericana. v. 3, 1980.

McARDLE, W.D.; KATCH, F.I.; KATCH, V.L. **Fisiologia do exercício: energia, nutrição e desempenho humano.** 4.ed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 1998.

McMULLEN, J; UHL, TL. A kinetic chain approach for shoulder rehabilitation. **Journal Athletic Training.** n.35, pp. 329–337, 2000.

MERIAM, J. **Estática.** 2ª Ed. Livros técnicos e científicos editora: Rio de Janeiro, 1994.

MICHELL, ROSS, BLACKBURN, HIRTH, GUSKIEWICZ. Functional Balance Training, With or Without Exercise Sandals, for Subjects with Stable or Unstable Ankles. **Journal of Athletic Training.** v.41, n.4, 2006.

MILNER, T.E. Contribution of geometry and joint stiffness to mechanical stability of the human arm. **Experimental Brain Research** . n.143, pp.515–519, 2002.

MIYAMOTO, S.T., LOMBARDI JUNIOR, I., BERG, K.O., RAMOS, L.R., NATOUR, J. Brazilian version of the Berg balance scale. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research.** v.37, pp.1411-1421, 2004.

MONSELL, E., FURMAN, J., HERDMAN, S., KONRAD, J., SHEPARD, N. Computerized posturography dynamic platform. **Otolaryngology - Head and Neck Surgery**. v.117, p.394 – 398, 1997.

NARDONE A, GODI M, ARTUSO A, SCHIEPPATI M. Balance rehabilitation by moving platform and exercises in patients with neuropathy or vestibular deficit. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation.** v.91, p.1869 – 1877, 2010.

OLIVEIRA, L., VIEIRA, T., MACEDO, A., SIMPSON, D., NADAL, J. Postural sway changes during pregnancy: A descriptive study using stabilometry. **European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology**. v.147, p.25–28, 2009.

POLLOCK, A; DURWARD, B; ROWE, P; PAUL, J. What is balance? **Clinical Rehabilitation.** n.14, 2000.

PULL, MR; RANSON, C. Eccentric muscle actions: Implications for injury prevention and rehabilitation: Literature review. **Physical Therapy in Sport.** v.8, pp. 88–97, 2007.

QU, X., NUSSBAUM, M.A., MADIGAN, M.L. A balance control model of quiet upright stance based on an optimal control strategy. **Journal of Biomechanics.** v.40, pp.3590-3597, 2007.

RASOOL, J; GEORGE, K. The impact of single-leg dynamic balance training on dynamic stability. **Physical Therapy in Sport**. v.8, 2007.

REIMANN BL, DEMONT RG, RYU K, LEPHART, SM. The effects of sex, joint angle, and the gastrocnemius muscle on passive ankle joint complex stiffness. **Journal of Athletic Training.** 2001; 36(4): 369-377.

RIEMANN, B., LEPHART, S. The Sensorimotor System, Part I: The Physiologic Basis of Functional Joint Stability. **Journal of Athletic Training**. v.37, n.1, p.71-79, 2002.

ROBERTSON, D., CALDWELL, G., HAMILL, KAMEN, G., WHITTLESEY, S. **Research methods in biomechanics**. Human Kinetics, 2004.

ROSENGREN, K., RAJENDRAN, K., CONTAKOS, J., CHUANG, L., PETERSON, M., DOYLE, R., McAULEY, E. Changing control strategies during standard assessment using computerized dynamic posturography with older women. **Gait & Posture**. v.25, 2007, p.215–221.

SHUMWAY-COOK, A., WOOLLACOTT, M. **Motor Control**: Translating Research into Clinical Practice. 3ed. Lippincott Williams & Wilkins: Pennsylvania, 2007.

STOKES A.F, GARDNER-MORSE M, HERY SM, BADGER GJ. Decrease in trunk muscular response to perturbation with preactivation of lumbar spinal musculature. **Spine.** 2000; 25(15): 1957-1964.

STEWARD, D.J & VOLGYESI. G. Stabilometry: a new tool for the measurement of recovery following general anaesthesia for out-patients. **Canadian Anaesthetists' Society Journal.** v.25, n.1, p.4-6, 1978.

YAGGIE, J, CAMPBELL, B. Effects of balance training on selected skills. **Journal of Strength and Conditioning Research**. v.20, n.2, 2006.

TEREKHOV, Y. Stabilometry as a diagnostic tool in clinical medicine. **Canadian Medical Association Journal.** v.115, n.7, p.631–633, 1976.

TSAI, C.L., WU, S.K., HUANG, C.H. Static balance in children with developmental Coordination disorder. **Human Movement Science.** v.27, pp.142–153, 2008.

UIMONEN, S., SORRI, M., LAITAKARI, K., JÄMSÄ, T. A comparison of three vibrators in static posturography: the effect of vibration amplitude on body sway. **Medical Engineering & Physics**. 1996, v.18. p.405 – 409.

VAN ASSELDONK, E.H.F., CARPENTER, M.G., VAN DER HELM, F.C.T., VAN DER KOOIJ, H. Use of Induced Acceleration to Quantify the (De)stabilization Effect of External and Internal Forces on Postural Responses. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering.** v.54, n.12, 2007.

VISSER, J.E., CARPENTER, M.G., VAN DER KOOIJ, H., BLOEM, B.R. The clinical utility of posturography. **Clinical Neurophysiology.** v.119, n.11, 2008, pp.2424-36

VISSER, J., OUDE NIJHUIS, L., JANSSEN, L., BASTIAANSE, C., BORM, G., DUYSENS, J., BLOEM, B. Dynamic posturography in parkinson's disease: diagnostic utility of the "first trial effect". **Neuroscience.** v.168, p.387–394, 2010.

WEINECK, J. **Treinamento Ideal.** 9ªed. Manole: São Paulo, 2003.

WINTER, J., CRAGO, P. **Biomechanics and neural control of posture and movement**. Ed.: Springer. 2000.