



INSTRUMENTAÇÃO E CALIBRAÇÃO DO APARELHO REFORMER DO MÉTODO PILATES PARA ANÁLISES BIOMECÂNICAS

Fto. Mst. Carolina Neis Machado *

Fto. Mst. Elisa Dell' Antonio **

Prof. Dr. Helio Roesler ***

RESUMO

Acompanhando programas de exercício em voga nos últimos anos, observa-se que o método Pilates destaca-se. Na contramão da sua popularidade, verifica-se falta de informações quantitativas para a prescrição e progressão dos exercícios do método, que são subsídios importantes, em especial, para a reabilitação. Este estudo teve como objetivo primário construir duas plataformas de força extensométricas, de baixo custo, para serem adaptadas ao aparelho *Reformer*, do método Pilates – o mais utilizado dos aparelhos; o segundo, realizar a calibração desses instrumentos e determinar sua acurácia. Esse instrumento foi construído para medir forças vertical e horizontal de membros inferiores durante exercícios em cadeia cinética fechada, sobre o aparelho *Reformer*. A barra de apoios do aparelho foi substituída por um perfil de aço para adaptação das plataformas de força. Esta alteração não comprometeu a disposição do *Reformer*, nem tão pouco a realização de exercícios. Durante a calibração foi observada boa linearidade entre os sinais elétricos e as cargas aplicadas sobre as plataformas de força, em newtons. O *Reformer* instrumentado pode ser considerado um aparato promissor para análises biomecânicas no âmbito do método Pilates.

Palavras-chave: Instrumentação. Biomecânica. Pilates.

* Universidade do Estado de Santa Catarina
krolinam@gmail.com

** Universidade do Estado de Santa Catarina
eliiisa7@hotmail.com

*** PPG em Ciências do Movimento Humano
Universidade do Estado de Santa Catarina
helio.roesler@udesc.br



INSTRUMENTATION AND CALIBRATION OF *REFORMER* DEVICE FROM THE PILATES METHOD FOR BIOMECHANICAL ANALYSIS

ABSTRACT

Following exercise programs in vogue in recent years, it is observed that the Pilates method stands out. Contrary to its popularity, there is a lack of quantitative information for prescription and progression of exercises of the method, which are important subsidies, in particular for rehabilitation. This study aims, firstly, to build two low cost extensometric force platforms to be adapted to the *Reformer* device, from the Pilates method - the most widely used apparatus; then perform the calibration of these instruments and determine its accuracy. This instrument was designed to measure vertical and horizontal forces of the lower limbs during closed kinetic chain exercises on the *Reformer* device. The support bar of the device was replaced with a steel profile adaptable to force platforms. This change did not affect the disposition of the Reformer, nor the exercises. During calibration good linearity was observed between the electrical signals and the applied loads on the force platforms, in newtons. The instrumented reformer can be considered a promising apparatus for biomechanical analysis under Pilates method.

Keywords: Instrumentation. Biomechanics. Pilates.

1 INTRODUÇÃO

Acompanhando programas de exercício em voga nos últimos anos, pode se observar o destaque do método Pilates. Batizado com o sobrenome de seu fundador, o alemão Joseph Hubertus Pilates (1880-1967), este método incorpora o uso de acessórios e equipamentos em rotinas de movimentos destinadas a aumentar a flexibilidade, a força e a coordenação motora de seus praticantes (BERNARDO, 2007; DILLMAN, 2004; ROBINSON; NAPPER, 2002; RODRIGUEZ, 2006).

Antes majoritariamente praticado por bailarinos e atletas, hoje o Pilates tornou-se uma referência também na reabilitação (ANDERSON; SPECTOR, 2000; EMERY *et al.*, 2010; LEVINE; KAPLANEK; JAFFE, 2009; PEREIRA *et al.*, 2011). O método é apoiado pelas mais recentes pesquisas das ciências da saúde, sendo bastante recomendado por médicos, fisioterapeutas e educadores físicos (CRAIG, 2003; ENDLEMAN; CRITCHLEY, 2008; HERRINGTON;



DAVIES, 2005; LANGE *et al.*, 2000).

Existem duas abordagens utilizadas no Pilates: a Matwork e a Apparatus. A Matwork tem o solo como base para a realização dos exercícios, com a possibilidade de adição de alguns acessórios como bolas, arcos e faixas elásticas. Enquanto que a Apparatus caracteriza-se pelo uso de aparelhos desenvolvidos pelo próprio Joseph Pilates para dar continuidade ao trabalho iniciado no Matwork, oferecendo diferentes perspectivas de controle do movimento. O Cadillac, a Wunda Chair, o Ladder Barrel e o Reformer são os principais aparelhos (MCNEILL, 2010).

Segundo Queiroz *et al.* (2010), o *Reformer* estabeleceu-se como o mais utilizado dos aparelhos do Pilates. Idealizado para ser um carro que corre sobre uma plataforma de madeira (PANELLI; DE MARCO, 2006), ele consiste numa superfície retangular, acolchoada e móvel que oferece resistência aos membros inferiores e superiores através de um sistema de molas que ligam esta superfície móvel à plataforma de madeira citada, e determinam a resistência que o indivíduo precisa superar a fim de realizar o movimento estabelecido. (PANELLI; DE MARCO, 2006). Este aparelho é bastante empregado em programas de reabilitação devido a sua disposição horizontal, redutora da atuação da força da gravidade nos exercícios de membros inferiores (SHEDDEN; KRAVITZ, 2005). Tal disposição faz-se importante nos casos em que uma articulação lesada não é capaz de suportar o peso do corpo inteiro do indivíduo.

Existe uma gama variada de exercícios que podem ser realizados utilizando o *Reformer*, no entanto, em se tratando de reabilitação de membros inferiores, o *foot work* pode ser considerado o principal exercício executado sobre o aparelho (MUSCOLINO; CIPRIANI, 2004). O *foot work* é caracterizado pela flexo-extensão de quadris e joelhos, enquanto os pés se mantêm em paralelo sobre a barra de apoios do aparelho (STOTT PILATES, 2003 *apud* SANTOS, 2010). Por ser um movimento em cadeia cinética fechada, é constantemente utilizado em sequências de cinesioterapia.

De maneira geral, recomenda-se que programas de reabilitação e de condicionamento físico utilizem exercícios com intensidades progressivas condizentes com a necessidade de cada indivíduo (RIBEIRO *et al.*, 2005; TOLEDO; RIBEIRO; LOSS, 2007). No entanto, quando os exercícios propostos pelo método Pilates são utilizados, o que se observa é que a determinação da carga externa é realizada com base em informações pouco objetivas, como por exemplo, através da troca de uma mola que oferece uma resistência menor por outra que oferece uma resistência maior (SILVA *et al.*, 2009), baseado na constante elástica apresentada por cada



mola que necessita de forças diferentes para gerar uma mesma deformação, entretanto a força despendida pelos indivíduos na realização dos exercícios não é quantitativamente conhecida.

As molas são classificadas através de diferentes tamanhos e cores; cada cor representa uma constante elástica da mola e cada aparelho possui as suas respectivas molas. Contudo, não há uma padronização entre as diferentes empresas fabricantes de aparelhos e molas, e muito menos entre as constantes elásticas de tais molas. Dessa forma, a definição da intensidade usada no exercício acaba quase que exclusivamente dependendo do *feedback* do paciente e da experiência do profissional.

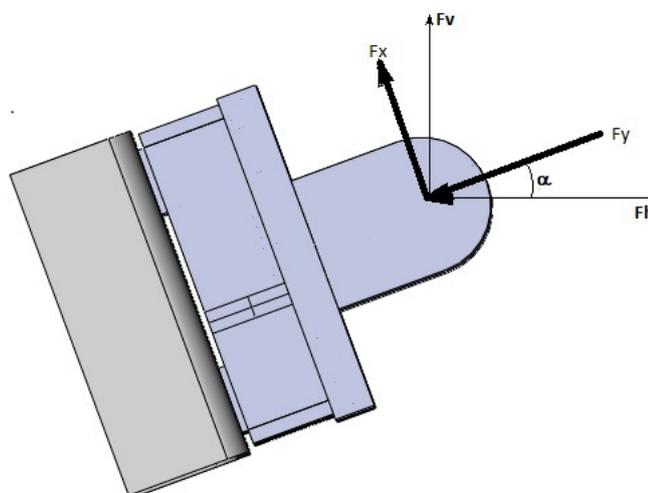
Estudos com pesos livres, máquinas de musculação e materiais elásticos têm mostrado que a análise quantitativa do movimento pode indicar, por exemplo, se a carga externa imposta ao praticante é maior no início ou no final de uma amplitude de movimento (ADM) e se a mesma está condizente com a capacidade de produção de força dos músculos atuantes e, desse modo, subsidiar a seleção e aplicação de exercícios (SILVA *et al.*, 2009). Portanto, informações quantitativas de força durante a realização de exercícios do Pilates podem ser consideradas ferramentas indicativas de sobrecarga sobre o sistema músculo-esquelético e auxiliar a escolha dos exercícios do método durante programas de reabilitação e condicionamento físico (SILVA *et al.*, 2009).

Diante da falta de dados quantitativos que embasem a prescrição de exercícios do método Pilates, percebe-se a necessidade de instrumentos que possam medir as forças impostas ao aparelho locomotor. Assim, o objetivo primário deste estudo foi construir duas plataformas de força extensométricas a um baixo custo, para serem adaptadas ao aparelho *Reformer*; o segundo, realizar a calibração desses instrumentos e determinar sua acurácia.

2 METODOLOGIA

As plataformas de força extensométricas destinadas a compor o *Reformer* foram desenvolvidas por integrantes do grupo de pesquisas em Biomecânica Aquática da Universidade do Estado de Santa Catarina. Seu projeto mecânico foi elaborado para que se obtivesse esse instrumento a um baixo custo, com eficiência análoga aos existentes no mercado, e adaptável ao equipamento *Reformer*, do método Pilates. Ambas as plataformas encontram-se anguladas a 27° com a direção horizontal.

Figura 1: Representação das componentes F_x e F_y atuantes sobre a plataforma de força. F_h = força horizontal; F_v = força vertical. $\alpha = 27^\circ$



As plataformas foram confeccionadas com extensômetros de resistência elétricas (*strain gauges*) e têm dimensões de 14,5 cm de largura, 28 cm de comprimento e 5,8 cm de altura. Apresentam sensibilidade de 1 N, frequência natural de 199,13 Hz e erro menor que 1%. Os detalhes de uma das plataformas de força podem ser observados nas figuras 2 e 3.

Figura 2: Vista superior da plataforma de força 1





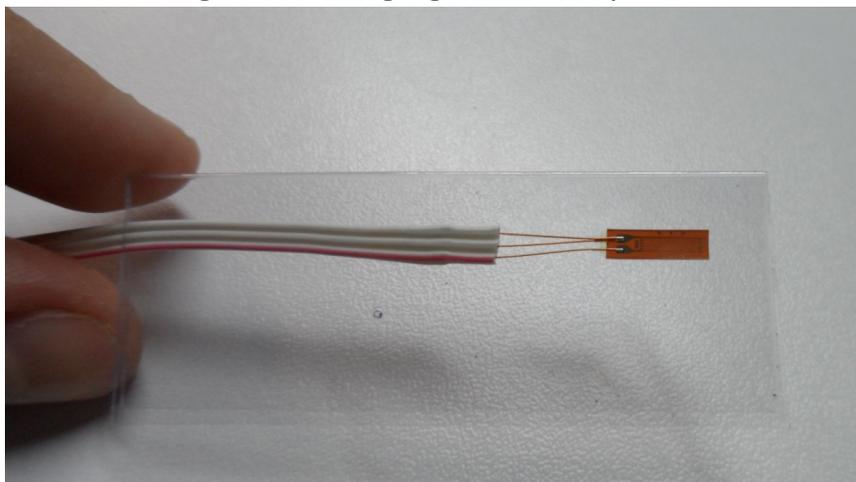
Figura 3: Vista inferior da plataforma de força 1



O programa SolidWorks® e a interface Ansys®, respectivamente, foram utilizados para desenhar os protótipos das plataformas de força e para realizar a análise modal a fim de simular o funcionamento dos instrumentos.

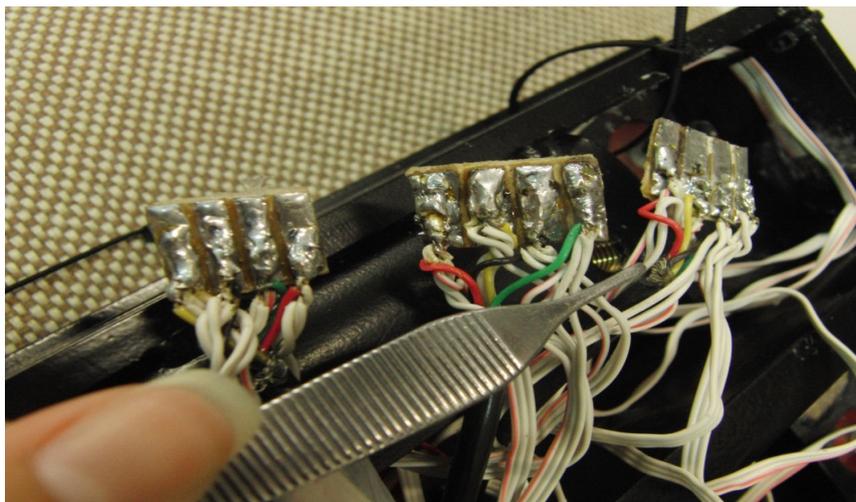
Os desenhos feitos foram encaminhados a uma empresa metalúrgica para a usinagem da estrutura de aço das plataformas de força. Concluídas estas estruturas, foram delimitados os espaços destinados a colagem dos sensores elétricos – strain-gauges (Figura 4).

Figura 4: Strain-gauge da marca kyowa®



Posteriormente, essa estrutura foi levada à pintura eletroestática para evitar a corrosão do metal. Após a pintura, os espaços destinados aos sensores elétricos foram lixados para a efetiva colagem destes. Colados os strain-gauges, foram construídas as pontes completas de Wheatstone (figura 5). Para a manutenção da integridade dos componentes internos das plataformas, as três pontes completas de Wheatstone foram soldadas com a cola plástica Araldite® e os cabos elétricos isolados por mangueiras plásticas.

Figura 5: Pontes de Wheatstone



Depois de confeccionadas, as plataformas foram adaptadas à barra de apoios do *Reformer*. Para isso, a barra de apoios original do aparelho foi substituída por um perfil de aço que permitia o encaixe de ambos os instrumentos. A adaptação citada não comprometeu a disposição dos componentes do aparelho. Além disso, sobre as plataformas de força foram projetadas barras cilíndricas bastante similares à barra de apoios original do *Reformer* (Figura 6).

2.1 Testes

Após a confecção das duas plataformas de força extensométricas (Figura 5) foram realizados os procedimentos de calibração. A calibração estabelece uma relação de comparação contra um padrão apropriado, em que a diferença encontrada estabelece o erro do instrumento a calibrar com uma incerteza de medição associada a um nível de confiança, geralmente de 95%. Efetuada periodicamente, garantirá a confiabilidade dos resultados da medição e assegurará correlação aos padrões nacionais e internacionais (SILVA; ALVES, 2004).

Figura 6: Plataformas de força extensométricas adaptadas ao aparelho Reformer





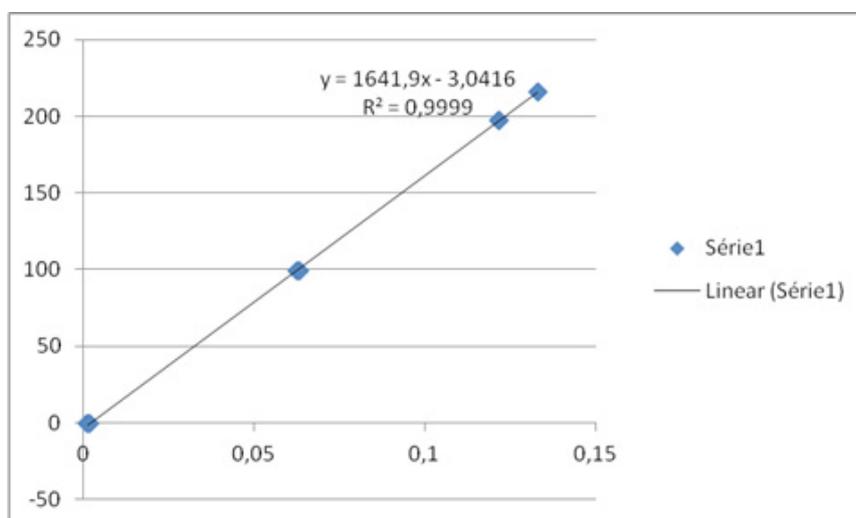
Neste estudo, a calibração da força medida pelas plataformas foi realizada com pesos conhecidos. Com o auxílio do sistema de aquisição de dados ADS2002-IP e de anilhas previamente pesadas em uma balança de precisão, foram realizadas, em média, quatorze (14) aferições de peso nas duas direções de aplicação da força (eixos x e y) em dias e horários diferentes, entre os meses de Março e Abril de 2013. Isso se fez necessário para a aquisição dos dados referentes ao cálculo do coeficiente de calibração, que expressa a percentagem de erro das medições, e, conseqüentemente, a repetibilidade do instrumento – um dos critérios de validade do instrumento. Os procedimentos de calibração das plataformas são descritos detalhadamente por Roesler (1997).

3 RESULTADOS

Após a calibração, as plataformas foram adaptadas à barra de apoios do *Reformer*. Para isso, a barra de apoios original do aparelho foi substituída por um perfil de aço que permitia o encaixe de ambos os instrumentos. A adaptação citada não comprometeu a disposição dos componentes do aparelho e tão pouco a forma como os indivíduos realizarão os exercícios posteriormente.

A Figura 7 ilustra o resultado da calibração para esforços horizontais anteroposteriores (Fx) da plataforma 1, a equação da calibração e o valor R-quadrado. Observa-se boa linearidade entre o sinal elétrico, em milivolts (eixo das abcissas) e as cargas aplicadas, em newtons (eixo das ordenada).

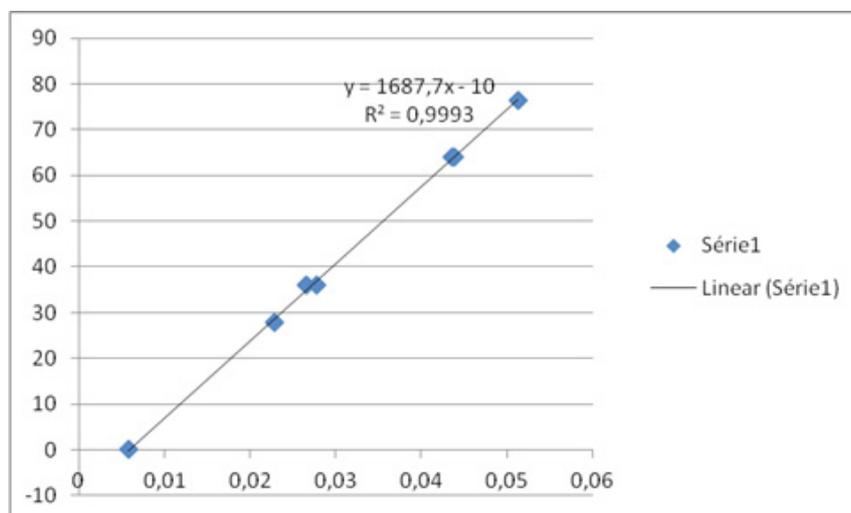
Figura 7: Equação da calibração e o valor R-quadrado para esforços horizontais anteroposteriores (Fx) da plataforma 1



A Figura 8 ilustra o resultado da calibração para esforços horizontais anteroposteriores (Fx) da plataforma 2, a equação

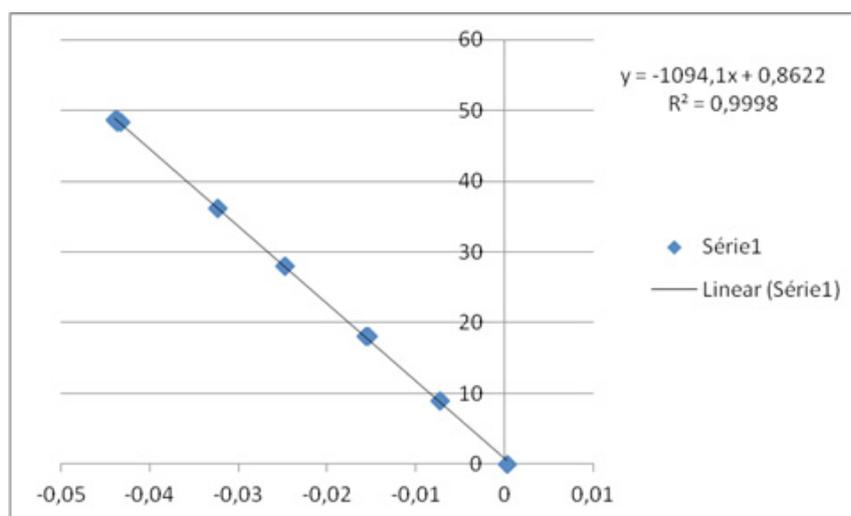
da calibração e o valor R-quadrado. Observa-se boa linearidade entre o sinal elétrico, em milivolts (eixo das abcissas) e as cargas aplicadas, em newtons (eixo das ordenada).

Figura 8: Equação da calibração e o valor R-quadrado para esforços horizontais anteroposteriores (Fx) da plataforma 2



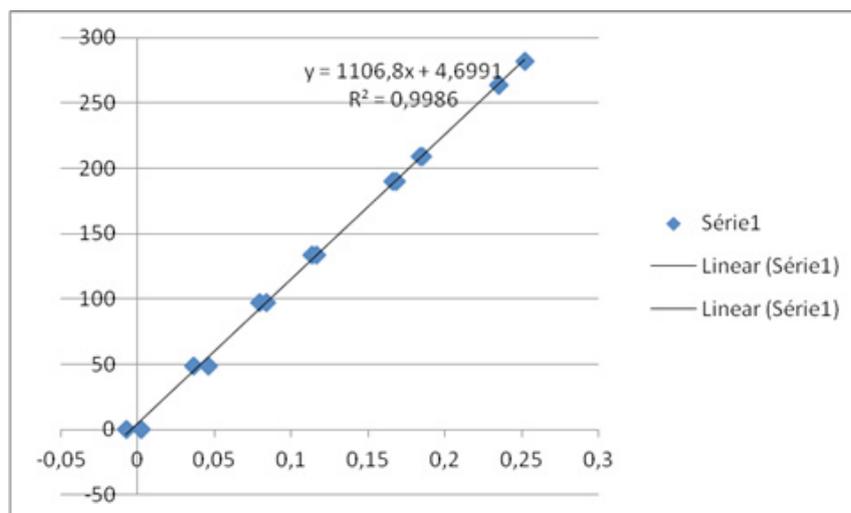
A Figura 9 ilustra o resultado da calibração para esforços verticais (Fy) da plataforma 1, a equação da calibração e o valor R-quadrado. Observa-se boa linearidade entre o sinal elétrico, em milivolts (eixo das abcissas) e as cargas aplicadas, em newtons (eixo das ordenada). Os valores negativos indicam alteração no sentido do esforço.

Figura 9: Equação da calibração e o valor R-quadrado para esforços verticais (Fy) da plataforma 1



A Figura 10 ilustra o resultado da calibração para esforços verticais (Fy) da plataforma 2, a equação da calibração e o valor R-quadrado. Observa-se boa linearidade entre o sinal elétrico, em milivolts (eixo das abcissas) e as cargas aplicadas, em newtons (eixo das ordenada).

Figura 10: Equação da calibração e o valor R-quadrado para esforços verticais (F_y) da plataforma 2



4 DISCUSSÃO

A obtenção de dados quantitativos em Biomecânica tornou-se uma necessidade no âmbito acadêmico e clínico. A partir daí fica clara a necessidade de instrumentos que possam medir as forças que atuam sobre o aparelho locomotor, bem como a disponibilização de equipamentos de baixo custo para análise biomecânica (CORTEZ *et al.*, 2011).

O *Reformer* instrumentado possibilita a avaliação da força muscular dos membros inferiores bilateralmente, na posição deitada. A construção de duas plataformas visa à avaliação, principalmente, da diferença de força produzida entre membro inferior direito e esquerdo. Segundo Payton e Bartlett (2008) o estudo das forças de contato entre o corpo humano e o ambiente são fundamentais para a compreensão da performance humana dentro do esporte e no contexto de exercício. Hay, Souza e Fukashiro (2006) reforçam a importância da análise quantitativa do movimento humano para o tratamento do déficit bilateral, que é sinônimo de diminuição da força máxima produzida por dois membros quando se movimentam juntos (simultaneamente) em comparação à soma das forças produzidas por cada um, individualmente.

No presente trabalho, extensômetros elétricos de resistência foram utilizados como elementos sensores para medir os esforços realizados pelos membros inferiores. Em busca de maior sensibilidade, os extensômetros foram interligados em ponte completa de Wheatstone. Segundo Cortez *et al.* (2011) a utilização de extensômetros elétricos de resistência como instrumento de medida em Biomecânica vem sendo descrita na literatura por diversos autores, como Memberg (2001), Faria e Carvalho (2002), Oliveira, Loss e Petersen (2005), Madeleine,



Nie e Arendt-Nielsen (2006).

De acordo com os resultados da calibração do dispositivo observamos boa linearidade entre o sinal elétrico e as cargas aplicadas. Diante de tal fato, podemos afirmar que o dispositivo apresenta como característica alto grau de objetividade, confiabilidade e validade.

5 CONCLUSÃO

Com os resultados apresentados após a calibração dos instrumentos desenvolvidos, pode-se concluir que este projeto de plataformas de força extensométricas é eficiente para quantificação das forças aplicadas e conseqüente sobrecarga sobre o aparelho musculoesquelético dos indivíduos e tem grande aplicação prática para subsidiar a prescrição dos exercícios realizados no método Pilates.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, B. D.; SPECTOR, A. Introduction to pilates-based rehabilitation. **Orthopaedic Physical Therapy Clinics of North America**, Philadelphia, v. 9, n. 3, p. 395-410, 2000.

BERNARDO, L. M. The effectiveness of pilates training in healthy adults: An appraisal of the research literature. **Journal of Bodywork and Movement Therapies**, London, v. 11, n. 2, p. 106-110, 2007.

CORTEZ, P. J. O. *et al.* Dispositivo para avaliar a força externa produzida pelo sistema musculoesquelético dos membros superiores. **Revista Norte Ciência**, Belém, v. 2, n. 2, p. 93-102, 2011.

CRAIG, C. **Pilates com a bola**. São Paulo: Phorte, 2003.

DILLMAN, E. **O pequeno livro de Pilates**. Rio de Janeiro: Record, 2004.

EMERY, K. *et al.* The effects of a pilates training program on arm-trunk posture and movement. **Clinical Biomechanics**, London, v. 25, n. 2, p. 124-130, 2010.

ENDLEMAN, I.; CRITCHLEY, D. J. Transversus abdominis and obliquus internus activity during pilates exercises: measurement



with ultrasound scanning. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, Reston, v. 89, n. 11, p. 2205-2212, 2008.

FARIA, U. C.; CARVALHO, A. A. Implementação de transdutores com extensômetros para monitorar forças exercidas pelos membros superiores e inferiores de pacientes. **Revista Brasileira de Engenharia Biomédica**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 3, p. 163-172, set./dez. 2002.

HAY, D.; SOUZA, V. A.; FUKASHIRO, S. Human bilateral deficit during a dynamic multi-joint leg press movement. **Human Movement Science**, Amsterdam, n. 25, p. 181-191, 2006.

HERRINGTON, L.; DAVIES, R. The influence of pilates training on the ability to contract the transversus abdominis muscle in asymptomatic individual. **Journal of Bodywork and Movement Therapies**, London, v. 9, n. 1, p. 52-57, 2005.

LANGE, C. *et al.* Maximizing the benefits of pilates-inspired exercise for learning functional motor skills. **Journal of Bodywork and Movement Therapies**, London, v. 4, n. 2, p. 99-108, 2000.

LEVINE, B.; KAPLANEK, B.; JAFFE, W. L. Pilates training for use in rehabilitation after total hip and knee arthroplasty: a preliminary report. **Clinical Orthopaedics and Related Research**, Seattle, v. 467, n. 6, p. 1468-1475, 2009.

MADELEINE, P.; NIE, H; ARENDT-NIELSEN, L. Dynamic shoulder dynamometry: a way to develop delay onset muscle soreness in shoulder muscles. **Journal of Biomechanics**, New York, v. 39, p. 184-188, 2006.

McNEILL, W. Core stability is a subset of motor control. **Journal of Bodywork and Movement Therapies**, London, v. 14, n. 1, p. 80-83, 2010.

MEMBERG, W.D. A transducer to measure isometric elbow moments. **Clinical Biomechanics**, Oxford, v. 16, p. 918-920, 2001.

MUSCOLINO, J. E.; CIPRIANI, S. Pilates and the powerhouse - I. **Journal of Bodywork and Movement Therapies**, London, v. 8, n. 1, p. 15-24, 2004.



PANELLI, C.; DE MARCO, A. **Método Pilates de condicionamento do corpo**: um programa para vida toda. São Paulo: Phorte, 2006.

PAYTON, C. J.; BARTLETT, R.M. **Biomechanical evaluation of movement in sport and exercise**. New York: Routledge, 2008.

PEREIRA, L. M. *et al.* Comparing the Pilates method with no exercise or lumbar stabilization for pain and functionality in patients with chronic low back pain: systematic review and meta-analysis. **Clinical Rehabilitation**, London, v. 26, n. 1, p. 10-20, 2011.

OLIVEIRA, M. A.; LOSS, J. F.; PETERSEN, R. D. S. Controle de força e torque isométrico em crianças com DCD. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 89-103, abr./jun. 2005.

QUEIROZ, B. C. *et al.* Muscle activation during four pilates core stability exercises in quadruped position. **Archives of Physical Medicine and Rehabilitation**, Reston, v. 91, n. 1, p. 86-92, 2010.

RIBEIRO, D. C. *et al.* Análise eletromiográfica do quadríceps durante a extensão do joelho em diferentes velocidades. **Acta Ortopédica Brasileira**, São Paulo, v. 13, n. 4, p. 189-193, 2005.

ROBINSON, L.; NAPPER, H. **Exercícios Inteligentes com Pilates e Yoga**. São Paulo: Pensamento, 2012.

RODRIGUEZ, J. **Pilates**. São Paulo: Marco Zero, 2006.

ROESLER, H. **Desenvolvimento de plataforma subaquática para medições de forças e momentos nos três eixos coordenados para utilização em Biomecânica**. 1997. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SANTOS, A.B. **Análise comparativa de variáveis biomecânicas e da percepção de esforço do exercício leg work do Pilates realizado na Chair e no Reformer**. 2010. 42 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Movimento Humano) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SHEDDEN, M.; KRAVITZ, L. Pilates exercise a research-based review. **Journal of Dance Medicine of**



Science, Oregon, v. 10, n. 3, p. 111-116, 2006.

STOTT PILATES. **Complete Stability Chair Manual**.
Toronto: Merrithew Corporation, 2003.

SILVA, L. R. O.; ALVES, M. L. A calibração periódica de instrumentos de medição e padrões e suas relações com custos e benefícios. In: ENCONTRO PARA A QUALIDADE DE LABORATÓRIOS, 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo: [s.n.], 2004.

SILVA, Y. O. *et al.* Analysis of the external resistance and electromyographic activity of hip extension performed according to the Pilates method. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, São Carlos, v. 13, n. 1, p. 82-88, 2009.

TOLEDO, J. M; RIBEIRO, D. C; LOSS, J.F. Critérios mecânicos para progressão de exercícios de rotação interna e externa do ombro no plano sagital. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, São Carlos, v. 11, n. 1, p. 1-6, 2007.

Recebido em: 01 jul. 2013

Aprovado em: 21 jul. 2013