

## DISPOSITIVO COM BIOFEEDBACK PARA CONTROLE DE CARGA EM EXERCÍCIOS COM RESISTÊNCIA ELÁSTICA

Tomé F.B.\* , Teles F.S.\*\* , Rocha-Júnior V.A.\*\* , Moura I.L.B.\* , Amvame G.D.\* , Andrade M.M.\*

\*Departamento de Pós Graduação em Engenharia Biomédica/Universidade de Brasília, Brasília, Brasil

\*\*Departamento de Pós Graduação em Educação Física/Universidade de Brasília, Brasília, Brasil

e-mail: tome.filipe@gmail.com

**Resumo:** Este trabalho tem como objetivo analisar o efeito do *biofeedback* no controle do movimento em exercício dinâmico e fadigante com resistência elástica. Um equipamento de controle foi projetado e desenvolvido no Laboratório de Processamento de Sinais Biológicos da Faculdade de Educação Física da Universidade de Brasília e tem registro de patente junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI). Foram adquiridos sinais de eletromiografia de superfície, força e um sinal de sincronização (*trigger*) de seis sujeitos do sexo masculino que realizaram o movimento de flexão de cotovelo. Os sinais foram extraídos pela plataforma Labview® e em seguida processados por um algoritmo desenvolvido na ferramenta computacional Matlab (2009b). Para verificar a similaridade dos sinais obtidos em cada repetição executada, foram calculados o Índice de Correlação Cruzada (ICC) e a Frequência de Potência Médiana (FPMd) de cada ciclo de movimento. A partir dos valores de FPMd de cada repetição também foi delineada uma regressão linear para verificar o comportamento da fadiga muscular. O efetivo controle da atividade exercida pôde ser observado pelos valores do ICC. As retas de regressão linear traçadas a partir da FPMd indicaram a presença da fadiga muscular e apresentaram decréscimo em cinco dos seis sujeitos. Os dados mostraram que a utilização do *biofeedback* com o implemento de resistência elástica permitiu a manutenção do padrão de movimento ao longo de toda série de exercício resistido mesmo com indicativo de fadiga muscular.

**Palavras-chave:** Exercício físico, resistência elástica, controle de movimento, *biofeedback*, fadiga muscular.

**Abstract:** This paper aims to analyze the effect of *biofeedback* in the motion control of a dynamic and wearisome exercise with elastic resistance. The equipment for load intensity control was designed at the Biological Signal Processing Lab of the Faculty of Physical Education at the University of Brasilia. The equipment has a patent register at the Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI). A surface electromyography signal, strength and trigger of six male subjects, doing the elbow movement flexion, has been acquired. The signals were extracted by the Labview® platform and then processed by a specific

algorithm, using the Matlab computational tool (2009b). The results herein presented allowed the calculation of the Cross-Correlation Coefficient between subjects, the Median Frequency of the EMG valid cycles signal and the Linear Regression curve. The effective control of the activity exercised by the subjects can be observed by the cross-correlation index values. The linear regression lines drawn from the Median Frequency indicate the presence of muscle fatigue and indicated decrease in five of the six subjects. The data showed that the use of *biofeedback* with the implementation of an elastic resistance has allowed the continuation of a natural movement pattern during the proposed series even with indication of muscle fatigue.

**Keywords:** Physical exercise, elastic resistance, motion control, *biofeedback*, muscle fatigue.

### Introdução

O treinamento resistido utiliza equipamentos e técnicas as quais possibilitam o controle de variáveis do treinamento e otimizam os ganhos de força. Dentre as variáveis, o nível de intensidade do exercício está associado com o controle de carga, considerado o principal estímulo relacionado às alterações nas mensurações de força e resistência muscular localizada [1, 2]. A manutenção da técnica de execução de exercícios também é um fator importante para o treinamento. Durante uma tarefa fadigante, modificações no padrão de movimento ocorrem como forma de compensar os fenômenos fisiológicos provocados pela fadiga muscular.

Atualmente, o controle de carga para resistências variáveis, em especial elásticas, é incipiente e muitas vezes feito de forma subjetiva por meio de uma escala de percepção de esforço [3]. Mecanismos de controle mais precisos são necessários para implementos resistência variável.

A junção de ferramentas que forneçam *biofeedback*, em conjunto com um sistema eletrônico embarcado acoplado a uma célula de carga mostra-se uma alternativa interessante para a obtenção de um controle mais objetivo em exercícios com resistência elástica. Seja visual ou sonoro, o *biofeedback* possibilita a manutenção do padrão de movimento e, conseqüentemente permite a análise de variáveis como velocidade de execução, volume de treinamento e intensidade [4].

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar o efeito do *biofeedback*, visual e sonoro, no controle de movimento em exercício dinâmico e fadigante com uso de implemento elástico. A eletromiografia de superfície (EMG-S) foi adotada para a avaliação da fadiga muscular localizada e, juntamente com um *trigger*, para verificar se o padrão de movimento é mantido com o *biofeedback* mesmo em situações fadigantes.

## Materiais e métodos

Participaram do estudo seis indivíduos do sexo masculino, sem problemas de saúde e com idade média  $30 \pm 7$  anos. Todos foram advertidos sobre os riscos do procedimento experimental e participaram em livre consentimento. O estudo foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa da Faculdade de Ciências da Saúde/UnB cujo CAAE é 16303013.0.0000.0030.

O sistema eletrônico utilizado para monitorar e controlar a execução dos exercícios é denominado Sistema de Biofeedback para a Prática de Exercícios Resistidos com Sobrecarga Elástica. Esse equipamento, possui registro de patente junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), com número BR1020140072322. Esse sistema eletrônico é conectado a uma célula de carga, responsável por fornecer um sinal elétrico proporcional à força que promove a deformação do implemento elástico. Por meio de um conversor analógico-digital, é feita a aquisição do sinal. Através dos botões seletores do equipamento, é possível ajustar sua configuração para escolha de uma faixa de intensidade, ou seja, um valor mínimo em que deve ser iniciado o exercício e um valor máximo a ser atingido durante a sua execução. Caso o usuário atinja um valor fora dos limites desta faixa, o sistema emite, simultaneamente, um sinal sonoro e visual, correspondente a um bipe contínuo e um led de cor vermelha, respectivamente. Assim, o usuário, após o *biofeedback*, tem a possibilidade de corrigir a amplitude de execução e seu padrão de movimento. É importante salientar que além da configuração aplicada no presente trabalho, o equipamento possui outras configurações voltadas à atividade física com resistência elástica, como por exemplo, atividades isométricas e de potência.

A célula de carga utilizada foi a AEPH do Brasil Indústria e Comércio Ltda., modelo TS,  $50\text{kg} \pm 10\%$ , previamente calibrada. Os elásticos aplicados foram do fabricante Elastos®, onde já existe um valor quantificado em quilogramas força (kgf) para diferentes cores de elásticos [3]. No protocolo, todos os sujeitos foram submetidos às cargas com valores compreendidos entre 4 e 6 kg, identificadas como fadigantes [5]. O experimento não busca comparar a performance motora relativa entre sujeitos, logo não foi realizado a normalização da carga de forma proporcional a essas capacidades.

A aquisição do sinal EMG-S iniciou com a preparação prévia da pele por abrasão e tricotomia do braço direito dos sujeitos. Em seguida, os eletrodos foram fixados conforme as recomendações do SENIAM

para o músculo bíceps braquial. O eletrodo de referência foi posicionado no punho do mesmo braço em teste. O sinal foi adquirido por um eletromiógrafo Delsys, modelo Bagnoli-2 (Boston, Estados Unidos). O sistema de captação de EMG-S possui configuração bipolar e apresenta uma pré-amplificação de 10 V/V e filtro passa-faixa de 20Hz a 450Hz (4ª ordem). O ganho total do sinal foi de 1000 V/V. A distância entre os contatos elétricos do eletrodo é de 1cm, sendo estes confeccionados em prata clorada (Ag-AgCl).

Juntamente com os sinais de força e EMG-S foi adquirido um último sinal de marcação binária (MB) que funcionou como *trigger* para delimitar a faixa de intensidade estabelecida. Todo o processamento dos sinais foram realizados com base na faixa do sinal de MB. A plataforma Labview® foi adotada na aquisição dos supracitados sinais.

O protocolo experimental foi realizado no Laboratório de Processamento de Sinais Biológicos da Faculdade de Educação Física da Universidade de Brasília (FEF/UnB) contemplando o músculo bíceps braquial direito. Uma das extremidades do implemento elástico foi acoplada a um suporte de mão e a outra à célula de carga que, por sua vez, foi fixada próximo ao solo. O dispositivo de *biofeedback* e controle de carga, foi posicionado na frente do sujeito. Para garantir a indução da fadiga muscular, a contração foi executada em uma amplitude reduzida, mantendo o músculo sob tensão constante em duas intensidades, 4kg e 6kg. Assim, não houve um momento de relaxamento total do músculo.

O protocolo consistiu em executar o máximo de contrações isométricas até a exaustão completa ou até o tempo máximo de 200 segundos. O dispositivo de controle de carga foi programado para a faixa de carga de 4 a 6 quilos. Com o implemento elástico (Elastos®) e o uso do *biofeedback*, cada ciclo de contração foi executado durante cinco segundos em cada amplitude, uma a 90 graus do cotovelo, ajustada para 4kg e outra com o punho próximo ao ombro, ajustada para 6kg. Os sujeitos deveriam fazer a transição de uma amplitude para outra durante um segundo. A velocidade de execução e permanência foi controlada através de um metrônomo (Seiko®) ajustado para 60 bpm [7]. Para medir a angulação inicial e final do cotovelo foi usado um goniômetro (TTK, modelo 1216).

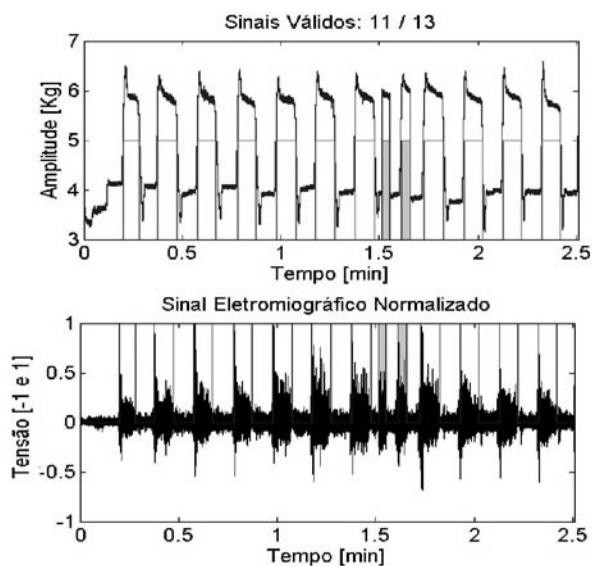
Inicialmente, foi calculado o espectro de frequência pelo algoritmo de Transformada de Fourier a fim de detectar a presença de ruídos de 60 Hz. Foi calculada a Frequência de Potência Mediana (FPMd) para observar o deslocamento da energia do sinal eletromiográfico, para representar uma assinatura espectral típica de fadiga muscular localizada [5, 6]. O valor da FPMd do S-EMG foi calculado para cada bulha de contração. Retas de regressão linear foram traçadas para indicar o comportamento de acréscimo ou decréscimo da variável FPMd. Todos os dados foram processados em rotinas específicas desenvolvidas em Matlab (2009b).

Foram calculados os coeficientes de correlação cruzada dos sinais de força intra-repetições de cada

sujeito. Essa abordagem busca informar a similaridade entre esses sinais de força e verificar a relação entre sujeitos quanto a essa característica.

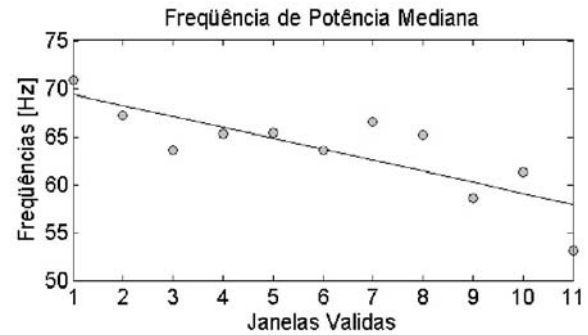
## Resultados

A Figura 1 apresenta o comportamento típico de um indivíduo durante o teste. Na primeira plotagem tem-se representada a curva de força juntamente com o sinal do *trigger*. Para cada ciclo de contração de cinco segundos, o intervalo considerado foi maior ou igual a 80% do maior ciclo de *trigger*. Assim, percebe-se que a oitava e nona contração não foram consideradas pelo algoritmo. Na segunda plotagem encontram-se os sinais da EMG-S juntamente com o *trigger* para cada bulha de contração durante o protocolo de teste.



**Figura 1:** Sinais adquiridos durante a execução do protocolo experimental. Gráfico superior, sinal de força e *trigger* ou MB, com a identificação (cinza) dos ciclos não válidos. Gráfico inferior, sinal EMG-S normalizado e *trigger* ou MB, com a identificação (cinza) dos ciclos não válido.

Através do algoritmo de cálculo da FPMd para cada ciclo de contração válido, foi traçada uma reta de regressão linear com o intuito de analisar a inclinação da reta formada e o padrão de acréscimo e decréscimo das variáveis eletromiográficas. Esses dados são mostrados na Figura 3.



**Figura 3:** Inclinação da curva de regressão processada pelas frequências de potência mediana dos ciclos válidos.

Os resultados apresentados na Tabela 1 representam a quantidade de ciclos válidos e o índice médio de correlação cruzada entre todos os sinais de força de cada sujeito no intuito de revelar a similaridade dessas informações.

**Tabela 1:** Valores dos índices de correlação cruzada a partir dos ciclos válidos para cada sujeito.

Sujeitos	Sinais válidos	Índice de Correlação Cruzada (ICC)
1	18/18	0,709 ± 0,151
2	11/16	0,710 ± 0,138
3	16/16	0,655 ± 0,168
4	16/16	0,732 ± 0,150
5	11/13	0,655 ± 0,172
6	16/16	0,816 ± 0,145

A Tabela 2 apresenta os valores da inclinação das retas de regressão calculados para cada valor de FPMd em cada ciclo de movimento.

**Tabela 2:** Valores das inclinações das retas de regressão linear da frequência de potência mediana (FPMd).

Sujeitos	Curva de Regressão Linear
1	-2,013
2	-0,814
3	-1,558
4	0,604
5	-1,150
6	-1,520

## Discussão

O *biofeedback* no exercício com resistência elástica mostrou-se uma eficiente ferramenta para controle do padrão motor durante uma atividade física de caráter fatigante. Os valores dos índices de correlação cruzada na Tabela 1 indicam a similaridade em cada uma das contrações isométricas mesmo quando evidenciada a fadiga muscular. Isso demonstra a existência de um controle da intensidade e, garante que o exercício físico

proposto está sendo executado de acordo com o que foi ordenado.

Com o auxílio do metrônomo, obteve-se o controle do intervalo de ciclos, determinados em cinco segundos, cada. Desta forma, houve uma quantidade satisfatória de sinais válidos para cada sujeito.

A partir dos valores calculados pelas retas de regressão linear adquiridas pela FPMd, há um decréscimo em cinco dos seis sujeitos. Esse fato corrobora com estudos de fadiga muscular analisado através da eletromiografia de superfície, onde o recrutamento de novas unidades motoras e a redução da velocidade de condução caracteriza uma assinatura espectral com um aumento das baixas frequências comparada às altas em contrações isométricas [5, 6]. Para estudos futuros, sugere-se a análise do controle de intensidade do exercício com resistência elástica aplicada a outros músculos por meio do *biofeedback*.

### Conclusão

Mesmo em estado de fadiga, a utilização do *biofeedback* com o implemento de resistência elástica permitiu a manutenção do padrão de movimento ao longo de toda série de exercício resistido. Isso demonstra sua eficiência quanto o controle da intensidade durante uma atividade fatigante.

A FPMd pode ser utilizada como variável de identificação de fadiga muscular localizada, durante exercícios submáximos realizados com implementos elásticos.

### Agradecimentos

Deixamos expressos nossos sinceros agradecimentos aos participantes do presente trabalho, aos voluntários que contribuíram para as coletas de dados e aos departamentos de Pós Graduação em Engenharia Biomédica/UnB e em Educação Física/UnB.

### Referências

- [1] Tan, B. Manipulating resistance training program variables to optimize maximum strength in men: a review. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 1999, 13(3), 289-304.
- [2] Fleck SJ, Kraemer WJ. Fundamentos do Treinamento de Força Muscular. Tradução Jerri Luiz Ribeiro, 3 edição, Porto Alegre: Artmed, 2006, 376p.
- [3] Martins WR OR, Carvalho RS, Damasceno V, Santos M. Elastic resistance training to Increase Muscle Strength in Elderly: A systematic review with meta-analysis. *Archives of Gerontology and Geriatrics* 57 (2013) 8–15.
- [4] Moras G, Rodríguez-Jiménez S, Busquets A, Tous-Fajardo J, Pozzo M, Mujika I. A metronome for controlling the mean velocity during the bench press exercise. *Journal of strength and conditioning research*. 2009, 23(3), 926-931.
- [5] Lindstrom, L., Magnusson, R., and Petersen, I. (1970). Muscular Fatigue and Action Potential Conduction Velocity changes Studied With Frequency Analysis of EMG Signal. *Electromyography* 4:341-356.
- [6] DeLuca CJ. The use of surface electromyography in biomechanics. *J Applied Biomechanics*. 1997, 13: 135-163.
- [7] Melchiorri, G; Rainoldi, A. Muscle fatigue induced by two different resistances: Elastic tubing versus weight machines. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 2011; 21(6): 954-959.