

MONITOR DE DESEMPENHO DE GOLPES EM TREINAMENTO DE LUTA UTILIZANDO TELEMETRIA *BLUETOOTH* EM SMARTPHONE

S. F. Pichorim, V. C. Z. Santos e V. K. Hirozawa

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (DAELN-UTFPR), Curitiba, Brasil
e-mail: pichorim@utfpr.edu.br

Resumo: No treinamento dos lutadores de artes marciais, o atleta não tem uma resposta quantitativa a respeito da evolução de seu desempenho. O objetivo desse trabalho foi desenvolver um sistema capaz de monitorar golpes de lutadores, de forma a quantificar a intensidade dos golpes em um treino, apresentando ao usuário do aplicativo de monitoramento um relatório de seu desempenho. Esse sistema possui um dispositivo sensor ($62 \times 39 \times 17 \text{ mm}^3$), no qual um acelerômetro tem a função de capturar as acelerações de golpes provenientes do lutador. Ele é fixado no saco de pancadas, a altura do seu centro de massa, e contém um microcontrolador que faz a aquisição dos sinais de aceleração do sensor, processa-os de forma a obter informações úteis a respeito do golpe, como as curvas de aceleração em 3 eixos, e envia na forma de pacote de dados, através de uma comunicação sem fio, *Bluetooth Low Energy*, para um *smartphone*, que contém um aplicativo. Através desse aplicativo o lutador é capaz de visualizar o desempenho de seu treinamento. Como resultados, percebeu-se que há variações de resposta do sensor de acordo com a massa do saco de boxe, mantendo-se altas correlações entre o pico de aceleração medido ($r=0,9121$) ou o pico de velocidade ($r=0,9783$) medido em relação à intensidade do golpe aplicado. Com isso, o trabalho traz um sistema simples e eficaz para avaliação do desempenho de atletas de lutas com perspectivas de aperfeiçoamento para futuras pesquisas.
Palavras-chave: Esportes de Combate, Aplicativo em *Smartphone*, Telemetria *Bluetooth*, Acelerômetro, Medição de Golpes.

Abstract: During the training of fighters, the athlete does not have a quantitative answer about the development of his performance. The aim of this work is to develop a system capable of monitoring fighter's punches, so quantify the intensity of the blows in a workout, presenting to users a monitoring application that reports their performance. This system has a sensor board in which an accelerometer captures the accelerations of punches from the fighter. The sensor board is adapted to the punching bag and contains a microcontroller that must acquire acceleration signals from the sensor, filter the signal, process it in order to obtain useful information about the punch, as 3-D acceleration curves, and send it in the form of package data through a *bluetooth low energy wireless communication* to a *smartphone*, which contains an application. Through this application the fighters will

be able to view the performance of their training. As results, we noticed that there are variations of sensor response according to the mass of the punching bag. But there are high correlations between the measured peak acceleration ($r=0.9121$) or measured peak velocity ($r=0.9783$) relative to the intensity of the applied punch. With this, the paper presents a simple and effective system for evaluating the performance of struggle athletes with prospects for improvement for future researches.

Keywords: *Combat sports, Smartphone App, Bluetooth Telemetry, Accelerometer, Punches Intensity.*

Introdução

Dentre os esportes de combate, Boxe e MMA são os mais populares e de rápido crescimento. Eles se tornaram uma importante fonte de entretenimento para os fãs e o público em geral. No treinamento dos lutadores de artes marciais, a utilização de sacos de pancada é uma das formas mais simples de aplicar e aperfeiçoar golpes, como socos e chutes. Nota-se, entretanto, que nesse tipo de treino, o atleta não tem resposta quantitativa a respeito de seu desempenho. Existem muitos materiais empregados para auxiliar lutadores a aprender a dar um soco eficiente, compreender a mecânica de um chute, além de exercícios para melhorar a resistência. Entretanto, poucos aparelhos de tecnologia auxiliam os combatentes no processo de aprendizagem [1].

Em uma reportagem, o preparador físico exalta que um bom lutador deve atender três requisitos: força, velocidade de golpes e reflexo [2]. A intensidade do golpe é importante, pois a partir desse dado pode-se avaliar a possibilidade de um nocaut. Para quantificar a força, o preparador utilizou uma plataforma de medição de força (balança) na posição vertical acoplada a um aparador de golpes. Assim os socos e chutes aplicados no aparador tinham uma resposta equivalente de força em kgf. No caso, o teste aplicado com atletas de ponta demonstrou que a força exercida equivale a pesos variando de 85 kgf a 173 kgf [2].

Em outra pesquisa, os autores tinham como objetivo mensurar a força de chutes de certa modalidade de arte marcial, o Muay Thai. Para isso contaram com um sistema com dois sensores interdependentes ligados a uma placa de alumínio, inserido em espuma para absorção do impacto, revestido com lona e fixado em uma estrutura metálica com regulação de altura.

Experimentalmente, foi definida uma variável para quantificar a força, que seria equivalente ao impacto de uma massa de 1,222 kg que partia do repouso a uma altura de 1 metro, solta em queda livre [3].

Uma instrumentação foi utilizada para avaliar a biomecânica do soco de lutadores e sua correlação com a força [4]. Lutadores amadores foram instruídos a bater em um manequim masculino (*Hybrid III 50%*), usualmente chamado de BOB, aplicando dois tipos de golpes: o gancho e o direto. A força do soco foi então calculada usando os dados vindos do BOB, os quais foram adquiridos por três acelerômetros alocados no centro de gravidade da cabeça do manequim. Já a velocidade de pré-impacto da mão foi medida usando uma câmera estática coletando 500 quadros por segundo (*TrackEye Motion Analysis*). Ainda, uma ferramenta de análise de movimento foi utilizada, a qual consiste de 13 sensores sem fio (acelerômetros, giroscópios e magnetômetros) para calcular os valores de força gerados no corpo do atleta [4].

Navas e colaboradores [1] utilizaram o acelerômetro para auxiliar o lutador no treino do seu nível de guarda, onde uma luva instrumentada foi desenvolvida, baseada em três métricas: número de socos, força do soco e monitoramento do nível de guarda. Quando o lutador dá um golpe, o dado do sensor de força é coletado por um microprocessador Arduino®. Esse dado é então manipulado pelas rotinas de *software* para determinar se o golpe conta como um soco válido ou não. Isso é conseguido impondo um valor limite para contar apenas os golpes acima de um valor de força. Segundo os autores, isto assegura que o lutador está acertando o alvo [1].

Com o objetivo de obter dados quantitativos da intensidade de golpes de lutadores e auxiliar o treinamento, um sistema de pequenas dimensões e capaz de monitorar o treinamento de atletas foi desenvolvido e avaliado. O sistema utiliza comunicação sem fio e a informação da evolução do atleta pode ser acompanhada diretamente no *smartphone* do usuário.

Materiais e métodos

A descrição do sistema desenvolvido e dos testes que foram realizados está detalhada nas sessões seguintes.

Sensor Telemétrico – O sistema é composto por um pequeno sensor portátil ($62 \times 39 \times 17 \text{ mm}^3$), alimentado por uma bateria de 3 V (CR2032), o Kit CC2541 Sensor Tag da Texas Instruments (CC2541DK-SENSOR) [5]. Ele contém um acelerômetro (KXTJ9 da Kionix) triaxial com saída digital e interface de comunicação serial I²C com capacidade de medir acelerações de até $\pm 8 g$. Também apresenta o *Proprietary RF System-on-Chip* CC2541, que é um circuito impresso com núcleo microcontrolador 8051 e um rádio *Bluetooth Low Energy* de 2,4 GHz, com características de baixo consumo e alto desempenho.

O Sensor *Tag* foi fixado com uma cinta elástica no centro de massa do saco de pancadas do lado oposto aos

golpes. Para captura dos dados, usou-se o acelerômetro coletando as curvas de acelerações (em 3 eixos) que o saco de pancadas recebe durante os golpes com taxa de amostragem de 500 Hz. Após processamento, esses dados foram enviados em pacotes via *Bluetooth Low Energy* para um aplicativo em Iphone 4s que mostra um relatório de desempenho do treino.

Aplicativo no Smartphone – O programa, que foi desenvolvido para sistema iOS, faz o processamento dos dados recebidos do Sensor *Tag*. Ele estabelece uma interface dinâmica com o usuário, mostrando um cronômetro para o treino em execução e a intensidade da aceleração aplicada no saco de boxe. Para uma análise mais detalhada do treino, incluindo as estatísticas envolvidas, é possível exportar todos os dados em um arquivo tipo CSV. O arquivo é lido por uma macro *user friendly* com execução no *software* Microsoft® Office Excel, que além de processar estatisticamente os dados, também oferece a opção de gerar um relatório de todo o treino [6].

Equacionamento – Para se gerar golpes sobre o saco com intensidades controladas e padronizadas, pode-se utilizar um pêndulo com massa conhecida [7 e 8]. Esse pêndulo, solto de diversas alturas h , acerta o saco no seu instante de maior velocidade e aceleração zero, conforme pode ser visto na Figura 1.

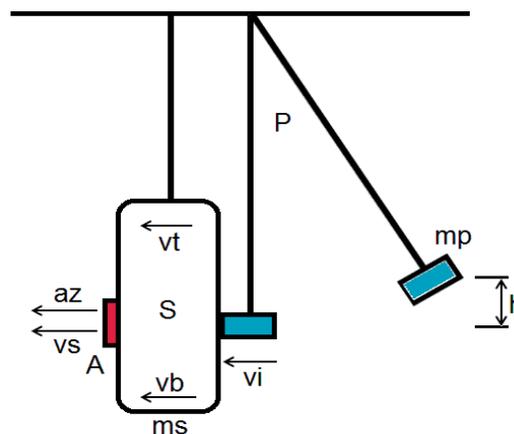


Figura 1: Experimento de teste. Saco S com massa ms e sensor acelerômetro A, fixado na parte oposta ao ponto dos golpes. O sensor mede a aceleração do golpe na direção z e determina vs . O pêndulo P, de massa mp , aplica um golpe com velocidade vi , quando solto de uma altura. Outras velocidades podem aparecer no saco (vt e vb , por exemplo), já que se trata de uma estrutura flexível.

Mecanicamente, a relação entre a força e a intensidade do golpe não é diretamente dependente. É importante lembrar que um soco de alta intensidade ou energia pode ter força (e aceleração) nula. Basta que o punho (ou martelo) esteja em MRU no momento do golpe. Em um soco, uma força de reação aparece no saco (aceleração de frenagem do punho), que depende do tempo que o saco vai gastar para fazer parar ou frear o punho, ou ainda, do deslocamento sofrido pelo saco.

Esta maneira de estimativa necessita a medição de um intervalo de tempo e de distância, que não é muito simples de ser feita na prática. Este recurso não foi utilizado neste trabalho.

O pêndulo, quando passa pelo ponto mais baixo (ponto de colisão, conforme a Figura 1), tem aceleração zero e uma velocidade máxima dada por

$$v_i = \sqrt{2gh} \quad (1)$$

onde g é a aceleração da gravidade e h a altura. O martelo do pêndulo tem uma massa conhecida (mp), portanto pode-se saber exatamente a energia cinética aplicada no soco com o martelo do pêndulo.

Os golpes em um saco não são colisões elásticas e nem perfeitamente inelásticas. Várias velocidades diferentes podem aparecer, inclusive no próprio saco. A energia cinética aplicada em um soco ($E_{ci}=0,5.m_p.v_i^2$) é dissipada e distribuída ao longo do saco em várias outras energias. Uma maneira simplificada de representar pode ser

$$E_{ci} = E_{ct} + E_{cb} + E_{cs} + E_p + P \quad (2)$$

onde E_{ct} e E_{cb} são as energias cinéticas no topo e na base do saco, E_{cs} é a energia cinética no local onde está o sensor, E_p é a energia potencial do saco, já que ele também é um pêndulo e P representa as perdas por deformação, amortecimento, atrito, calor etc.

Neste experimento foi avaliada a correlação entre a velocidade de impacto (v_i) e a máxima aceleração (ap) medida pelo sistema na direção z , ou seja, a força de reação do saco ao golpe (F_p). Esta força de frenagem é calculada por

$$F_p = m_s . a_p \quad (3)$$

onde m_s é a massa do saco de boxe utilizado.

Outra técnica avaliada foi o registro da velocidade medida pelo sistema (v_s), em especial o ponto de máximo (vp), e sua correlação com a velocidade do impacto (v_i). A partir da curva de aceleração no tempo, pode-se determinar a velocidade no sensor (v_s), a qual é calculada pela integração da aceleração (az), ou numericamente

$$v_s = \int az . dt \cong \sum az . \Delta t \quad (4)$$

onde Δt é a taxa de amostragem realizada pelo sensor, ou seja, 2 ms.

Procedimentos de teste – Toda a estrutura do experimento (sacos, pêndulo e sistema) foi montada em uma academia de luta em Curitiba.

Inicialmente utilizou-se um saco de treinamento com massa de 28 kg, contudo, nos testes observou-se que, devido ao fundo de escala do sensor ser 8 gravidades (g), ocorria a saturação das leituras. Este problema pode ser contornado se um saco mais pesado for utilizado.

Para um saco de 80 kg, o martelo de 7 kg do pêndulo foi solto de oito alturas diferentes, entre 30 e 100 cm.

Para cada altura foram realizadas 5 medições das curvas de acelerações no tempo (Figura 2). Cerca de 100 pontos eram registrados para cada golpe. Estes pacotes de dados eram transmitidos via *Bluetooth 4.0* e processados no *smartphone*.

Com a determinação dos picos de aceleração (ap), apenas no eixo z , foram calculadas as forças de reação via equação 3. Fazendo-se a integração das curvas de aceleração, via equação 4, foram obtidas as curvas de velocidade do sensor (Figura 3) e seus respectivos pontos de máximo (vp).

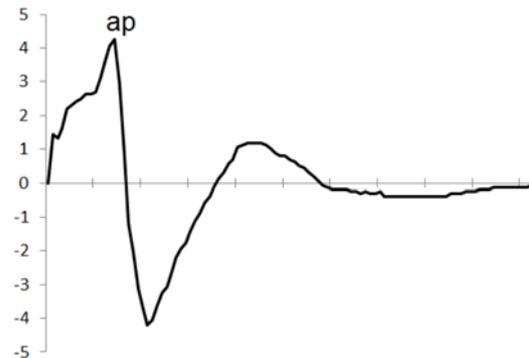


Figura 2: Exemplo da curva de aceleração medida na direção z , em gravidades (g), para um soco com altura h de 50 cm. Escala de tempo com 20 ms por divisão.

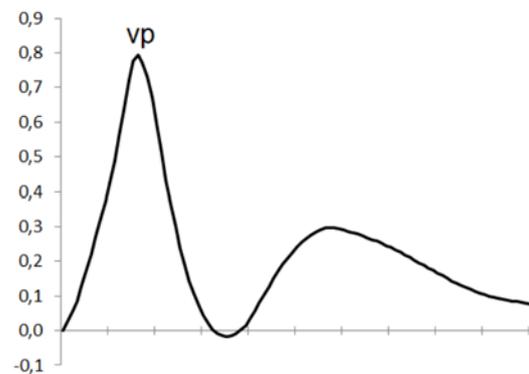


Figura 3: Exemplo da curva de velocidade v_s do sensor (em metros por segundo) calculada para o soco da Figura 2. Escala de tempo com 20 ms por divisão.

Resultados

Para cada altura que o martelo foi solto, a velocidade de impacto foi calculada via equação 1. Um gráfico, mostrando a relação entre a velocidade de impacto aplicada e a força de reação (frenagem) medida pelo sensor, foi gerado e está apresentado na Figura 4. Para cada velocidade, cinco medidas de ap e F_p foram realizadas. Forças de 3000 a 7000 N foram registradas pelo sistema, com um desvio padrão menor que 500 N. Este registro de pico de aceleração (ou força de reação) apresentou uma alta correlação (valor $r=0,9121$) com relação à velocidade aplicada no golpe.

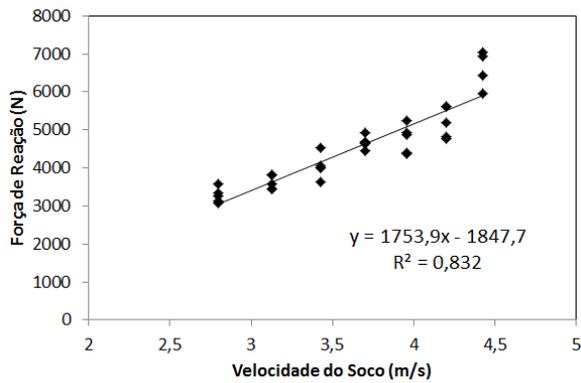


Figura 4: Força de reação no saco (valor de pico) medida pelo sensor em função da velocidade aplicada no soco pelo martelo (pêndulo) de 7 kg, solto com alturas de 30 a 100 cm.

Para o segundo método proposto de registro, através da integração das acelerações, os resultados estão mostrados na Figura 5. Para cada velocidade de soco, cinco curvas de v_s e cinco medidas de v_p foram calculadas e registradas. Velocidades de deslocamento do sensor/saco de 0,5 a 1,2 m/s foram registradas pelo sistema, com um desvio padrão menor que 0,076 m/s. Este registro de pico de velocidade do sensor (ou do saco de boxe) apresentou uma alta correlação (valor $r=0,9783$) com relação à velocidade aplicada no golpe.

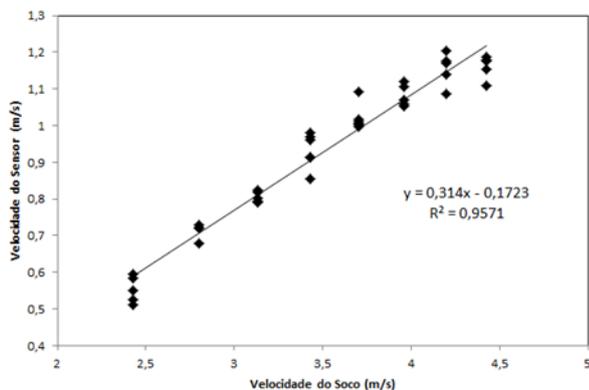


Figura 5: Velocidade do saco de boxe (v_s) medida pelo sensor (via equação 4) em função da velocidade aplicada no soco pelo martelo (pêndulo) de 7 kg, solto com alturas h de 30 a 100 cm.

Discussão

Um sistema composto por um *kit* Sensor Tag da Texas Instruments com acelerômetro e comunicação sem fio (*Bluetooth 4.0*) para a medição de intensidades de golpes ou socos foi desenvolvido e apresentado. A fixação do sensor na parte central do saco de treinamento na parte oposta ao ponto de aplicação dos golpes se mostrou funcional e de fácil instalação. Uma aplicação para *smartphone* foi proposta e se mostrou funcional no registro nas intensidades de golpes dadas pelo martelo do pêndulo.

O acelerômetro com faixa de medição de $\pm 8 g$ se

mostrou suficiente para o registro de golpes aplicados num saco de boxe de 80 kg, sem que ocorressem saturações nas medidas. Para sacos de boxe de menor peso devem-se utilizar acelerômetros com maior faixa de medição.

Dois métodos para a determinação da intensidade dos socos foram propostos. O primeiro, utilizando-se o pico de aceleração da direção z para se ter a máxima força de reação ou frenagem do saco de boxe. E o segundo, calculando-se a integral da curva de aceleração para se obter a máxima velocidade do saco. Ambos os métodos obtiveram altas correlações com relação à velocidade aplicada no golpe, tendo o segundo um valor ($r=0,9783$) um pouco maior que o primeiro ($r=0,9121$). Entretanto, o primeiro método requer um menor tempo de processamento na aplicação do *smartphone*.

O uso deste sistema dentro de academias e centros de treinamento de esportes de combate (boxe, MMA, etc) pode ajudar os atletas a avaliarem seus graus de evolução no desenvolvimento e aprimoramento dos golpes aplicados nos sacos de treinamento e/ou manequim.

Referências

- [1] Navas VX, Destefano J, Koo BJ, Doty E, Westerfeld D. Smart Glove. In: Systems, Applications and Technology Conference (LISAT), 2012, IEEE Long Island, maio, 2012.
- [2] Globo Esporte. Caratê é a modalidade com golpes mais efetivos, aponta enquete [internet]. 22 dez 2013. Disponível em: <http://globoesporte.globo.com/programas/esporte-espetacular/noticia/2013/12/carate-e-modalidade-com-golpes-mais-efetivos-aponta-enquete.html>. Acesso em: 17 jul. 2014.
- [3] Yassaka EJ. Proposta para analisar a variável força em praticantes de combate de alto nível [trabalho de conclusão de curso]. Faculdade Dom Bosco; 2004.
- [4] Mack J, Stojsih S, Sherman D, Dau N, Bir C. Amateur Boxer Biomechanics and Punch Force. In: ISBS Conf. Proceedings Arch, Intern. Conf. on Biomechanics in Sports, 2010.
- [5] Texas Instruments. SensorTag User Guide [internet]. 22 out 2013. Disponível em: http://processors.wiki.ti.com/index.php/SensorTag_User_Guide. Acesso em: 17 mar. 2014.
- [6] Santos VCZ, Hirozawa VK. Monitor de Desempenho de Golpes [trabalho de conclusão de curso]. Universidade Tecnológica Federal do Paraná; 2014.
- [7] Cooper RA, Robertson RN, VanSickle DP, Stewart KJ, Albright SJ. Wheelchair impact response to ISO test pendulum and ISO standard curb. IEEE trans. on Rehabilitation Engineering. 1994; 2(4): 240-246.
- [8] Fujii Y. Pendulum for precision force measurement. Review of Scientific Instruments. 2006; 77(3): 035111-5.