

Desenvolvimento de sistema para assistência na prática do esporte de combate Taekwondo

Ivan Mangini Lopes Junior, Rumenigue Hohemberger,
Bernardo Henz, Daniele Fernandes e Silva

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha
Alegrete — Rio Grande do Sul — Brasil

ivanmanginilopes@gmail.com

{rumenigue.hohemberger, bernardo.henz, daniele.fernandes}

@iffaroupilha.edu.br

Abstract. *Digital technologies are crucial in the evolution of sports practices, allowing for athlete performance monitoring. In Taekwondo, as a combat sport, there are still faces challenges in collecting data such as force, speed, and reaction time. This study aims at developing a solution for measuring the acceleration of a punching bag during Taekwondo practice, enabling the tracking of athletes' technical progression. By using an accelerometer and microcontroller that capture and transmit data via Wi-Fi to a database, the system can be visualized by the athletes through a web page. The system's usability is validated by athletes of various ages and ranks, achieving a 95% acceptance rate.*

Resumo. *Tecnologias digitais são fundamentais na evolução das práticas esportivas, permitindo o monitorando do desempenho do atleta. No Taekwondo, como esporte de combate ainda apresenta desafios quanto à coleta de dados como força, velocidade e tempo de reação. Este trabalho visa o desenvolvimento de uma solução para a mensuração da aceleração do saco de pancadas, obtida durante o treino prático do Taekwondo, possibilitando o acompanhamento da evolução técnica do atleta. O sistema é formado por acelerômetro e microcontrolador que captam e enviam as informações via rede Wi-Fi à base de dados, tais informações são apresentadas ao praticante mediante acesso à pagina web. O uso do sistema foi validado por atletas de diversas idades e graduações apresentando aceitação de 95%.*

1. Introdução

As artes marciais são formadas por um grupo de técnicas que, ao serem aprendidas e exercitadas, podem proporcionar ao praticante a melhora de suas aptidões físicas e mentais [Antunes 2009]. Artes marciais são definidas como um conjunto de técnicas de luta desenvolvidas individualmente, com o uso ou não de armas e são oriundas do extremo oriente. O Taekwondo é uma arte marcial de origem Coreana empregada para defesa pessoal, denominado como desporto de combate e reconhecida, desde o ano 2000, como esporte olímpico¹ [Sousa 2020].

¹<https://olympics.com/en/paris-2024/sports/taekwondo>

Atualmente, o emprego de tecnologias digitais vem impulsionando atletas e auxiliando o monitoramento de seu desempenho, empregando a tecnologia como fator determinante na evolução dos mais variados tipos de práticas esportivas [Santos 2017]. No Taekwondo, tecnologias são utilizadas com o objetivo de assistir o treinamento ou como auxílio técnico em competições para atletas e praticantes. Essas inovações tecnológicas incluem, mas não se limitam, ao uso de sensores vestíveis [Peruchi 2020], plataformas de medição de força [Jovanovski and Stappenbelt 2020] e sistemas avançados de câmeras 3D [Cunha et al. 2021]. O principal objetivo dessas aplicações é fornecer um acompanhamento detalhado das atividades dos usuários, possibilitando a análise precisa de variáveis críticas como força, velocidade e tempo de reação.

Apesar dos benefícios do emprego da tecnologia na coleta de dados, sua implementação traz uma série de desafios operacionais e técnicos que necessitam de atenção. Dentre esses podemos destacar: a precisão dos sensores, a fixação adequada dos dispositivos, a não obstrução/limitação da mobilidade do atleta, as limitações físicas do ambiente e uma gama de outros fatores externos. Ainda, a coleta e análise dos dados pode se apresentar um processo complexo e demorado. Outro fator é o custo associado às soluções, que pode limitar sua acessibilidade. Também a necessidade de plataformas de visualização intuitivas, rápidas e eficazes; capazes de auxiliar e facilitar a interpretação de métricas críticas (aceleração, força e velocidade).

Este estudo visa criar um sistema de apoio para praticantes de Taekwondo, especializado na captura (em tempo real) de dados de aceleração do saco de pancadas. O objetivo é desenvolver uma solução de baixo custo, capaz de processar esses dados e apresentá-los de forma gráfica para uma análise intuitiva. Utilizando tecnologia de comunicação sem fio, o sistema possibilita o monitoramento do progresso do atleta tanto presencialmente quanto à distância, oferecendo uma ferramenta versátil para o aprimoramento contínuo no treinamento de Taekwondo. Adicionalmente, o sistema desenvolvido foi avaliado por grupo de 20 praticantes de Taekwondo, com múltiplas idades e níveis de experiência.

2. Trabalhos relacionados

Na literatura, [C.Tessis et al. 2022] aborda uma análise entre diferentes sensores para a mensuração de dados durante a prática de Taekwondo. Dentre os sensores comparados, destacam-se células de carga, acelerômetro, sensor de vibração e *Force Sensitive Sensor* (FSR). Tal trabalho, destaca a dificuldade no uso de fiação para a comunicação entre sensores, microcontrolador e o computador. A presença de fios não apenas comprometia significativamente a mobilidade do atleta, como também era propensa a interrupções na comunicação, particularmente durante a execução de golpes de maior intensidade. Dessa forma, é imprescindível que haja uma solução que minimize a utilização de fiação exposta.

O trabalho de [Peruchi 2020] teve como objetivo monitorar os golpes de Taekwondo aplicados em saco de pancadas. Os autores desenvolveram um protótipo baseado em acelerômetro e transmissão de dados a um dispositivo móvel via comunicação Bluetooth. Este trabalho utiliza o acelerômetro MPU-6050, apresentando o tamanho máximo da faixa de leitura do acelerômetro (16G) como principal limitação.

Para uma maior precisão, [Buško et al. 2016] focou em um sistema para medir as forças de chutes e socos, bem como o tempo de reação de atletas em esportes de combate.

Tal estudo foi realizado utilizando um saco de pancadas, no qual foi montada uma haste rígida (cilíndrica) no seu centro de massa, e dois acelerômetros triaxiais nas extremidades desta haste. O estudo apresenta um modelo matemático para o cálculo dinamométrico e seu erro relativo para aferição da força é de 3% , enquanto que o erro para aferição da aceleração é inferior a 1%.

Além disso, [Worsey et al. 2019] revisa estudos de força e velocidade com o emprego de sensores dos tipos digital e analógico em esportes como Boxe, Karatê e Taekwondo. Os autores comparam taxas de *força G* (aceleração da gravidade) e frequência (Hertz) dos sensores empregados. Ainda, demonstram que esportes de combate, por envolverem movimentos rápidos e com fortes impactos, necessitam de algoritmos e hardwares específicos, com alta faixa de operação (entre 8g a 750g) e alta taxa de amostragem (de 2Hz a 1MHz). O estudo destaca o uso de tecnologias comerciais na medição em alguns trabalhos limitando a obtenção de informações sobre seus métodos no processamento de dados.

Tabela 1. Comparação entre os trabalhos relacionados e a presente abordagem

Autor do estudo	Acelerômetro	Plataforma Arduino	Transmissão sem fio
[C.Tessis et al. 2022]		x	
[Peruchi 2020]	x	x	x
[Worsey et al. 2019]	x		x
[Buško et al. 2016]	x		
Este trabalho	x	x	x

A Tabela 1 apresenta um resumo comparando características das soluções encontradas e da proposta deste trabalho. Tais estudos demonstram o crescente uso de sensores acelerômetros na monitoração de atividades físicas, evidenciando a importância da captura de movimentos rápidos em práticas como a corrida [Peruchi 2020, Buško et al. 2016, Howard 2016]. Além disso, a adoção da plataforma Arduino [Peruchi 2020, C.Tessis et al. 2022] ressalta a versatilidade dessa plataforma que, além de ser código aberto, se destaca pela sua ampla gama de componentes e sensores disponíveis.

Por outro lado, [Buško et al. 2016] opta por um sistema de monitoramento com tecnologia própria, limitando a transparência sobre seus processos, especialmente do tratamento de dados. Adicionalmente, apesar do uso de comunicação Bluetooth ter sido capaz de eliminar o problema de fiação, a tecnologia é limitada em relação a alcance, segurança e capacidade de transmissão, quando comparado ao Wi-Fi [Peruchi 2020]. Comparando ambas, o Wi-Fi possui maior frequência (2.4GHZ-60GHZ), velocidade de transmissão de dados (1Mb/s-6.75Gb/s) e alcance ($< 100m$). Porém, maiores capacidades acarretam em um maior consumo de energia [Souza et al. 2016].

Portanto, a utilização de um único acelerômetro e a tecnologia Wi-Fi é uma estratégia econômica e eficiente, para que a abordagem seja de baixo custo e tenha maior mobilidade de acesso aos dados.

3. Metodologia

O presente trabalho surgiu diante da falta de soluções eficazes, intuitivas e de baixo custo, que permitam o acompanhamento da evolução do atleta de Taekwondo. Diante dessa lacuna, foi necessária a concepção, implementação e avaliação de um sistema de captura e processamento de dados para suprir essa demanda.

A solução proposta envolve a integração de um circuito eletrônico acoplado a um saco de pancadas, conforme ilustrado na Figura 1. O objetivo do protótipo é efetuar a medição de valores de aceleração em m/s^2 quando o atleta realiza golpes (chutes e/ou socos) no saco de pancadas. Para isso, o acelerômetro captura os valores de aceleração do saco de pancadas e os envia, por meio do protocolo I2C, ao microcontrolador, com uma frequência de até 400kHz.

Após o processamento inicial, o microcontrolador transmite os dados processados, via roteador Wi-Fi, para a base de dados. Os dados são recebidos e armazenados em um banco de dados relacional, para que, posteriormente, possam ser exibidos por meio de uma interface web. A página web realiza requisições HTTP ao banco de dados e exibe os dados na forma de gráficos para o atleta.

A Seção 4 detalha cada etapa do desenvolvimento do sistema, desde a escolha e integração dos componentes eletrônicos, até a implementação do processamento de dados e a criação da interface gráfica. Além disso, o sistema foi submetido a um teste de usabilidade, com participantes de diversos níveis de experiência em Taekwondo. A Seção 5 detalha todo o processo de experimentação para validar a eficácia e praticidade de uso da abordagem proposta.

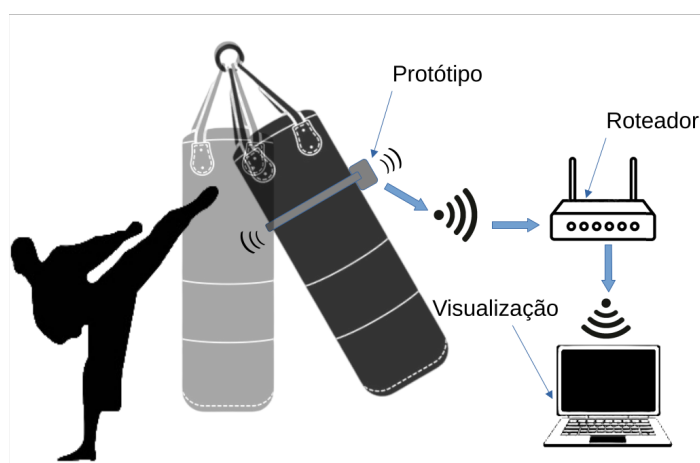


Figura 1. Sistema de captura, envio e apresentação dos dados

4. Desenvolvimento

4.1. Circuito eletrônico para saco de pancadas

A placa de prototipação utilizada foi o WEMOS D1 Mini. Esse modelo é uma placa com dimensões reduzidas ($34.2 \times 25.6 \text{ mm}$) do modelo WEMOS. Baseado no ESP8266,

opera com voltagem de 3.3 volts, *clock* de 80MHz, dispondo de uma memória *flash* de 4MB e conectividade Wi-Fi (802.11 b/g/n). O acelerômetro utilizado foi o MPU-6050. Fabricado pela InvenSense², esse sensor é capaz de gerar leituras de aceleração (m/s^2) e inclinação (graus) em 3 eixos (x , y , e z). A escala de leitura (*range*) da aceleração é de $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$, e $\pm 16g$ e utiliza o protocolo de comunicação I2C (*Inter-Integrated Circuit*) [Hemmanur 2009].

4.1.1. Montagem do circuito eletrônico

O circuito eletrônico tem como componentes principais a placa WEMOS, acelerômetro MPU-6050, bateria de lítio e módulo carregador (Figura 2). A alimentação do sistema eletrônico foi utilizada uma bateria de lítio com tensão de 3.7 volts e capacidade de 860 mAh da fabricante Nokia³. O Módulo Carregador de Bateria de Lítio TP4056⁴ é utilizado para gerenciamento de bateria e carregamento.

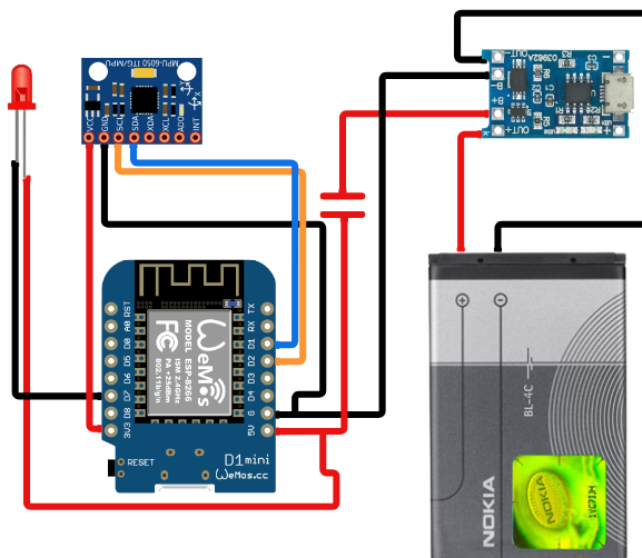


Figura 2. Representação da ligação dos componentes eletrônicos

4.1.2. Montagem do dispositivo

Após a montagem do circuito eletrônico, criou-se uma base rígida específica para acomodá-lo e fixá-lo ao equipamento de treino. A fixação da base ao saco foi realizada em altura intermediária entre a base inferior e topo do equipamento, utilizando fita dupla face de velcro, garantindo uma montagem segura e removível [Cunha et al. 2021, Santos and Hirozawa 2014]. O design da base foi elaborado no software SolidWorks⁵ e

²<https://invensense.tdk.com/>

³www.nokia.com

⁴www.tp-asic.com

⁵<https://www.solidworks.com/pt-br>

fabricado em material PLA através de tecnologia de impressão 3D. A Figura 3 demonstra o dispositivo já construído e sua efetiva fixação no saco de pancadas.



Figura 3. Dispositivo e montagem

4.2. Captura, processamento e armazenamento de dados

Foram utilizadas bibliotecas específicas para a captura de dados, integração e comunicação eficiente entre todos os componentes. Todas as bibliotecas utilizadas foram baixadas gratuitamente dos repositórios do Arduino.cc e Github⁶, sendo detalhadas a seguir:

- *I2c.h*: define o protocolo utilizado na comunicação entre sensor e microcontrolador;
- *ESP8266WiFi.h*: realiza a conexão Wi-Fi através do chip ESP8266;
- *adafruit_MPU6050.h*: contém funções para a interação com o sensor MPU-6050;
- *Adafruit_Sensor.h*: facilita a interface e abstração de diversos sensores para Arduino, permitindo uma fácil leitura de dados sensoriais através de uma API comum;
- *Eletronic Cats*: calcula valores de *offsets* mais precisos, a partir de uma série de testes com o sensor MPU-6050.

Ao receber a leitura dos valores de aceleração AcX , AcY , AcZ dos eixos x , y , z ; o microcontrolador calcula a aceleração resultante (Ra) através da fórmula de magnitude [Halliday et al. 2004]:

$$|Ra| = \sqrt{AcX^2 + AcY^2 + AcZ^2}. \quad (1)$$

Para determinar os valores da velocidade relativa do golpe, é necessário calcular a diferença de tempo entre o início do movimento de golpe e seu impacto no saco de pancadas [Halliday et al. 2004]. A tomada de tempo inicial foi determinada com o uso de um sinal luminoso indicado por um LED (disparado randomicamente). O sinal luminoso indica ao praticante o início da contagem do tempo em que o golpe deve ser executado. Dessa forma, a velocidade pode ser encontrada por:

$$v = a.t \quad (2)$$

⁶<https://github.com/>

A aceleração do objeto é calculada como a relação entre a variação de velocidade desse objeto em um determinado espaço de tempo:

$$a = \frac{dV}{dT}, \quad (3)$$

onde a é a aceleração, dV a derivada da velocidade e dT a derivada do tempo. A determinação da força relativa do golpe é referenciada pela segunda lei de Newton:

$$F = m.a \quad (4)$$

onde m é a massa do objeto (saco de pancadas), e a é sua aceleração.

Após o cálculo destas grandezas, o microcontrolador envia os dados via rede Wi-Fi para uma API que é responsável pelo armazenamento no banco de dados. Foi utilizado o MySQL⁷ para persistência dos dados. A Figura 4 demonstra o diagrama entidade-relacionamento construído no banco.

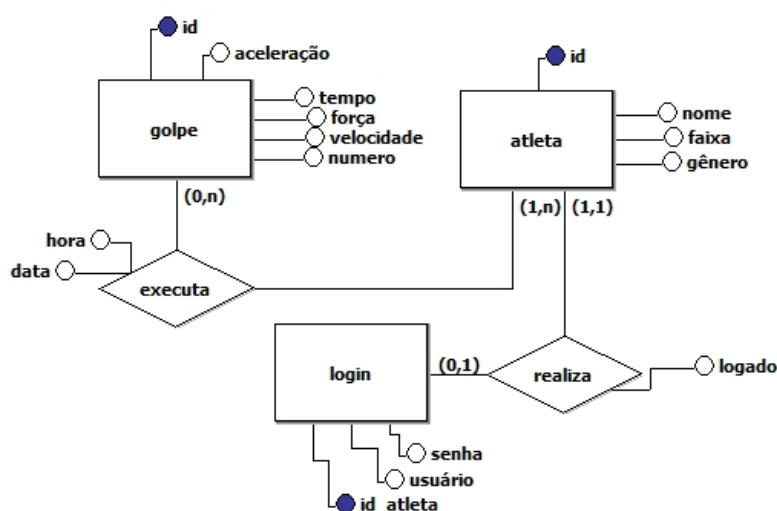


Figura 4. Diagrama entidade-relacionamento do banco de dados.

Por fim, a página web desenvolvida teve por objetivo apresentar graficamente, em tempo real, os dados dos golpes. A visualização implementada facilita a interpretação por parte dos atletas e professores, oferecendo uma maneira de monitorar seu desempenho. Também foram implementados recursos básicos para manipulação do banco, como cadastro de usuários, login, e visualização de histórico de registros. A Figura 5 mostra a visualização dos dados de aceleração (vermelho), velocidade (azul) e tempo (verde); exibindo tanto os valores absolutos destes, como o histórico e valores mínimos/máximos.

Utilizando a biblioteca Charts.js⁸, foram construídos gráficos na interface sem a necessidade de requisição de serviço externa e sem necessidade de conexão com a internet. Foi utilizado JQuery e Ajax para a atualização automática dos dados, não sendo necessário o carregamento da página a cada golpe.

⁷<https://www.mysql.com/about/>

⁸<https://www.chartjs.org/>

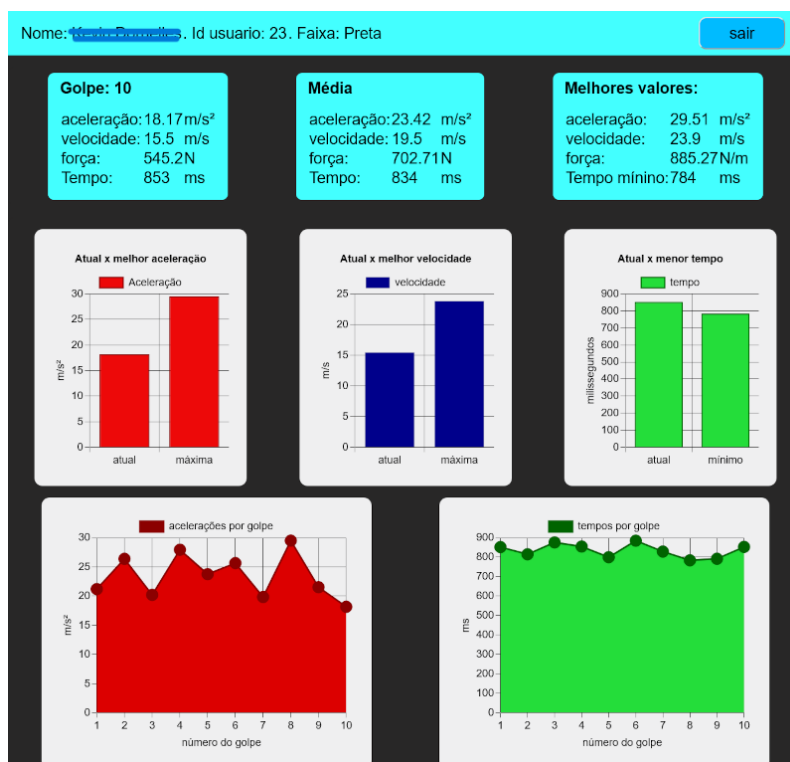


Figura 5. Interface do sistema com apresentação de dados.

5. Avaliação da abordagem proposta

A abordagem proposta foi avaliada em respeito à coerência dos dados capturados e à usabilidade de todo o sistema. Uma análise qualitativa foi realizada de forma empírica através do acompanhamento da mestre de Taekwondo 4º DAN Juliane Diniz Rossi.

Participaram dos experimentos 20 praticantes de Taekwondo da Escola Exodus de Taekwondo da cidade de Alegrete. Os participantes deste estudo abrangem uma ampla faixa etária, variando de 6 a 46 anos, incluindo indivíduos de ambos os sexos e com diferentes níveis de graduação em Taekwondo. A experiência dos participantes nesta modalidade esportiva varia entre 1 e 18 anos. A Figura 6 ilustra a distribuição dos participantes por nível de graduação, de acordo com as normas estabelecidas pela Confederação Brasileira de Taekwondo (CBTKD)⁹.

5.1. Cenário de teste

Para a avaliação do circuito eletrônico, foi elaborado um cenário de teste que consiste na execução de golpes para cada participante. Nesse experimento, cada praticante recebe instruções iniciais de uso do sistema: após um sinal luminoso, o participante deve iniciar a execução de sua técnica no saco de pancadas. A técnica solicitada para os experimentos foi o *Dollyeochagi*¹⁰, que consiste em um chute semi-circular na altura do tronco. A técnica foi aplicada utilizando sempre a perna dominante (perna que o participante

⁹<https://cbtkd.org.br/>

¹⁰<https://kukkiwon.or.kr/eng/board/read?boardManagementNo=56&boardNo=1368&searchCategory=&page=1&searchType=&searchWord=&menuLevel=3&menuNo=73>

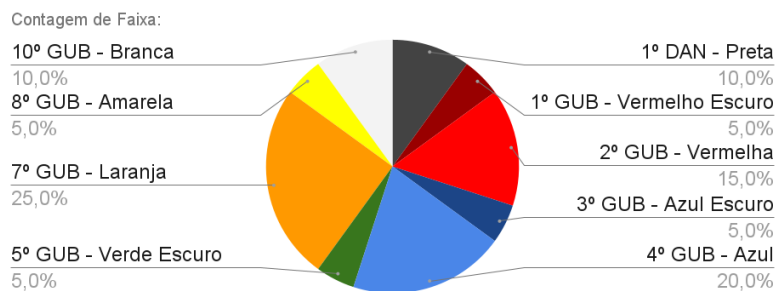


Figura 6. Disposição dos participantes por graduações.

se sente mais confiante) para executar o golpe. Para possibilitar uma análise estatística robusta, um total de 5 golpes foi coletado de cada participante.

Ao final da sequência de execução dos golpes, os atletas avaliaram o sistema como um todo, incluindo a interface gráfica e o dispositivo montado no saco de pancadas. Também foi pedido para que os participantes respondessem um questionário de usabilidade, criado a partir da escala de usabilidade SUS (*System Usability Scale*) [BROOKE 1995].

5.2. Avaliação de usabilidade do dispositivo

O questionário SUS consiste em 10 afirmações para avaliar a usabilidade de um sistema em critérios como efetividade, eficiência e satisfação. A seguir, são discutidas as principais afirmações e suas avaliações:

- **“Gostaria de usar o sistema com frequência”**: 75% dos usuários concordaram completamente e outros 20% concordaram, enquanto 5% das repostas no valor 3 da escala (neutralidade);
- **“Eu achei o sistema fácil de usar”**: 75% dos participantes concordaram completamente e 15% concordaram;
- **“Eu acho que preciso de ajuda de uma pessoa com conhecimentos técnicos para usar o sistema”**: 50% dos atletas discordaram, enquanto 30% concordaram com essa afirmação. Observou-se que a maioria dos atletas do segundo grupo (que acreditam necessitar de um acompanhamento de uma pessoa com conhecimentos técnicos) são de atletas entre 11 e 15 anos;
- **“As funções do sistema estão bem integradas”**: 85% concordaram completamente;

Além disso, 95% dos participantes se sentiram mais confiantes ao utilizar o sistema, e 95% gostariam de utilizar o dispositivo com frequência, demonstrando que a aceitação de seu emprego no ambiente de treino. A avaliação do dispositivo obteve 84,50% como média dentre todas as avaliações, indicando que o dispositivo atende as necessidades dos usuários dentro de suas experiências.

5.3. Avaliação de usabilidade da interface

A análise da interface foca em avaliar a usabilidade, estética e funcionalidade da interface desenvolvida. Esse processo busca identificar características do design, tais como: eficiência, facilidade de uso, intuitividade e satisfação do usuário.

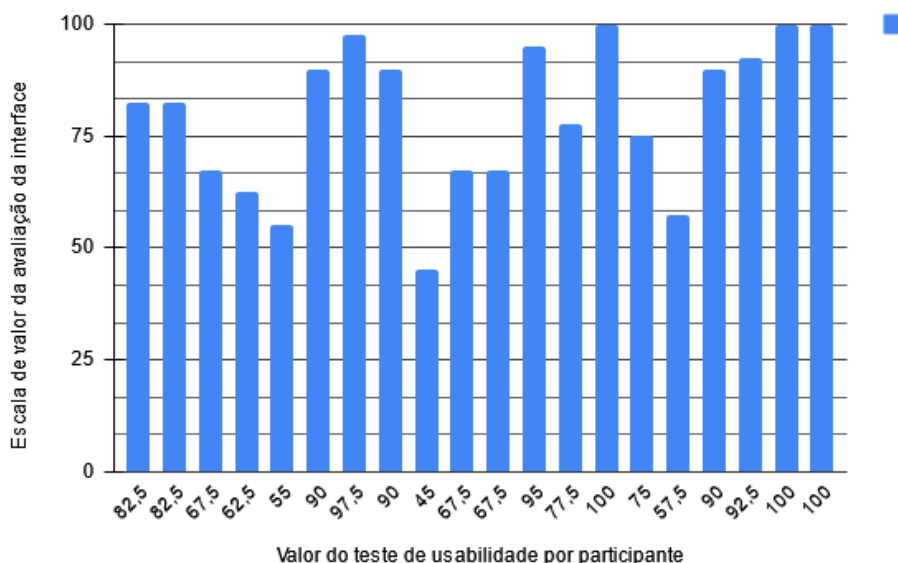


Figura 7. Disposição das avaliações da interface

Assim como na avaliação do dispositivo, a interface obteve resultados promissores quanto ao primeiro item avaliado do questionário: 100% dos usuários informaram que gostariam de utilizar a interface com frequência. A afirmação “Eu acho que precisaria de ajuda de uma pessoa com conhecimentos técnicos para usar o sistema” teve maior concordância (30%) entre participantes na faixa de 8 a 13 anos. Quanto à afirmação “Eu imagino que as pessoas aprenderão como usar esse sistema rapidamente”, 75% concordaram, e 80% dos participantes julgaram a interface fácil de se usar.

5.4. Discussão do Caso de Teste

O caso de teste realizado ocorreu em ordem alternada entre os participantes. Ainda, todo o processo foi supervisionado pela mestre de Taekwondo, a qual dava sua avaliação empírica quanto a força e velocidade dos golpes. Tal avaliação foi corroborada pela verificação na interface.

Atletas com idades entre 21 e 46 anos executaram golpes com aceleração máxima captada de $39,1m/s^2$ (3,98g) e força máxima de $1170N$. Atletas com idades entre 12 e 16 anos executaram golpes com aceleração máxima captada de $23,6m/s^2$ (2,4g) e força máxima de $707N$. Por fim, atletas com idades entre 6 e 11 anos executaram golpes com aceleração máxima captada de $14,3m/s^2$ (1,45g) e força máxima de $324N$. Os dados coletados sugerem que a diferença na aceleração e força dos resultados estão associados as variações de idade, peso e experiência dos atletas.

O valor de força máxima obtido, $1170N$, apresenta valor próximo aos apresentados no trabalho de [Buško et al. 2016]. Em seus resultados, atletas praticantes de Taekwondo com idades entre 16 e 21 anos, efetuaram golpes similares com força de $1206.7 \pm 239.5N$ e $965.3 \pm 234.1N$, para os gêneros masculinos e femininos, respectivamente. Os dados de força coletados separados por gênero resultaram em valores de força de $1170N$ para atletas do gênero masculino e $717N$ para atletas do gênero feminino.

Em [Martins 2011] foram obtidos valores de aceleração de $7,3g$ com o emprego

de mesma técnica de chute, *Dollyeochagi*, e acelerômetro montado em saco de pancadas. No entanto, no presente estudo a aceleração máxima captada foi de 3,98g. Fatores como massa do saco têm relação direta com a captação da aceleração e força, [Santos and Hirozawa 2014] definem um peso mínimo de 62,66kg para o saco de pancadas permitir confiabilidade da medição.

Durante a avaliação de identificação do melhor golpe executado sem o auxílio da interface, apenas 20% dos participantes conseguiram identificar qual golpe, dentre os 5 executados, foi de fato o melhor quanto ao valor de aceleração. Logo, 80% dos atletas não identificaram com exatidão sua melhor execução. Este número demonstra a importância de uma solução para acompanhamento e monitoramento dos golpes do atleta, proporcionando uma maneira de comparar os golpes efetuados.

6. Conclusão

Em conclusão, este estudo demonstrou a eficácia do sistema desenvolvido na captura e análise de dados de aceleração e força, evidenciando diferenças entre atletas de diferentes idades, pesos e níveis de experiência no esporte. A aceitação do sistema foi notavelmente alta: 95% dos atletas validaram a interface e o dispositivo como eficazes e desejáveis no ambiente de treino.

Os materiais utilizados na construção do dispositivo fixado ao saco de pancadas asseguraram a resistência mecânica necessária para suportar altos impactos, e o uso de tecnologia sem fio assegurou que em nenhum momento a comunicação entre microcontrolador e banco de dados fosse interrompida. Além disso, destaca-se que a abordagem adotada neste estudo tem um custo relativamente baixo em comparação com outras soluções disponíveis.

Este trabalho destacou-se na superação de desafios encontrados em estudos similares, validando o emprego do sistema proposto. No entanto, identificou-se a necessidade de aprimoramentos na precisão da coleta de dados de força e tempo. Vários trabalhos já focaram na obtenção de dados mais precisos [Buško et al. 2016], tendo trabalhos que utilizam câmeras 3D com acelerômetros para tal aferição [Cunha et al. 2021].

6.1. Limitações e Trabalhos Futuros

Este estudo apresentou uma limitação importante relativa à precisão da captura do momento exato do início do golpe. A dificuldade para determinar com precisão o instante inicial do movimento pode levar a dados imprecisos, impactando o cálculo de velocidade. Para trabalhos futuros pretende-se desenvolver uma metodologia mais precisa para captura do tempo de início do golpe.

Observa-se que a comunicação Wi-Fi utilizada no projeto mostrou-se estável e confiável. Dessa forma, acredita-se que a inclusão de novos dispositivos de monitorização podem ser facilmente implementados, escalando esta solução para vários objetos (sacos de pancadas, alvos, escudos, e outros).

Por fim, sugere-se desenvolver uma funcionalidade para emissão de relatórios, contanto com um resumo estatístico dos treinos realizados ao longo de um determinado período. Tal funcionalidade facilitaria a visualização da progressão do atleta, auxiliando treinadores e mestres na otimização dos planos de treino. A implementação dessa funcionalidade representaria um avanço importante para a tomada de decisões, uma vez que

regimes de treinamento baseadas em dados concretos serão capazes de melhor atender às necessidades específicas de cada atleta.

Referências

- Antunes, M. M. (2009). A relação entre as artes marciais e lutas das academias e as disciplinas de lutas dos cursos de graduação em educação física. *Lecturas: Educación Física y Deportes, Revista Digital, Buenos Aires*, 14(139).
- BROOKE, J. (1995). Sus: A quick and dirty usability scale. *Usability Eval. Ind.*, 189.
- Buśko, K., Staniak, Z., Szark-Eckardt, M., Nikolaidis, P. T., Mazur-Różycka, J., Łach, P., Michalski, R., Gajewski, J., and Górski, M. (2016). Measuring the force of punches and kicks among combat sport athletes using a modified punching bag with an embedded accelerometer. *Acta of bioengineering and biomechanics*, 18(1).
- C.Tessis, N., Fernandes, D., and Hohemberger, R. (2022). Sistema para monitoramento da capacidade física de praticantes de taekwondo usando arduino.
- Cunha, P., Barbosa, P., Ferreira, F., Fitas, C., Carvalho, V. H., and Soares, F. O. (2021). Real-time evaluation system for top taekwondo athletes: Project overview. In *BIODEVICES*, pages 209–216.
- Halliday, D., Resnick, R., Walker, J., and Romo, J. (2004). *Fundamentos de física*. Compañía Editorial Continental.
- Hemmanur, K. (2009). Inter-integrated circuit (i2c). *ECE 480 Journal*, 8.
- Howard, R. (2016). Wireless sensor devices in sports performance. *IEEE Potentials*, 35(4):40–42.
- Jovanovski, A. and Stappenbelt, B. (2020). Measuring the boxing punch: development and calibration of a non-embedded in-glove piezo-resistive sensor. In *Proceedings*, volume 49, page 13. MDPI.
- Martins, R. D. (2011). A influência do kihap na força do chute toliõ-tchagui do taekwondo um estudo de revisão.
- Peruchi, G. S. (2020). Além da arte marcial: protótipo eletrônico para monitorar golpes da prática esportiva do taekwondo combinado a tecnologia móvel android para demonstração de resultados.
- Santos, B. (2017). O esporte mediado pelas tecnologias digitais esportivas: uma breve discussão. *Educação Física em Revista*, 11(2).
- Santos, V. C. Z. and Hirozawa, V. K. (2014). Monitor de desempenho de golpes. B.S. thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- Sousa, J. L. R. F. (2020). *Observação dos comportamentos técnicos de Taekwondo*. (doctoral dissertation,, Instituto Politecnico de Santarem (Portugal)).
- Souza, P., Marques, W., Temp, D., Hohemberger, R., and Rossi, F. (2016). Redes voltadas à internet das coisas: Uma revisão. page 8.
- Worsey, M. T., Espinosa, H. G., Shepherd, J. B., and Thiel, D. V. (2019). Inertial sensors for performance analysis in combat sports: A systematic review. *Sports*, 7(1):28.