


ENSAIOS EM AMBIENTE CONTROLADO COM O DISPOSITIVO DE MONITORAMENTO DE IMPACTO EM PRÁTICAS ESPORTIVAS

TESTS IN CONTROLLED ENVIRONMENT WITH IMPACT MONITORING DEVICE IN SPORTS PRACTICES

Francisco Chagas¹ 

Filipe Wiltgen² 

Resumo: Este artigo apresenta o planejamento e a forma estruturada para realizar ensaios em ambiente controlado de um dispositivo voltado a medir a intensidade e acúmulo de impacto em um atleta quando realiza práticas esportivas. O dispositivo funciona como uma tecnologia do tipo vestível no qual o atleta prende o dispositivo no tênis e na perna. Seu tamanho reduzido permite utilizar sensores alimentados por bateria que não interferem no desempenho do atleta. Apesar da simplicidade física deste dispositivo é a complexidade de programação que necessita de ensaios e testes individuais e de integração para que seu funcionamento ocorra da forma planejada em seus requisitos. Testes em ambientes controlados quase sempre são realizados em laboratórios, e seu procedimento engloba a realização de testes individuais de componentes e validação de funcionamento conforme a recomendação dos fabricantes e depois o processo de testes de integração seguindo as recomendações da Engenharia de Sistemas & Requisitos. No artigo existe uma descrição do equipamento proposto, porque se preocupar com impacto em práticas esportiva, a descrição do procedimento de ensaios baseado em DT&E (*Development Test & Environment*), e por fim, a análise dos resultados obtidos com os ensaios realizados com o dispositivo após a integração do sistema.

Palavras-chave: Impacto. DT&E. Teste. Tecnologia Vestível. Engenharia de Sistemas & Requisitos.

Abstract: This paper presents planning and structured way to perform tests in a controlled environment of a device aimed at measuring intensity and impact accumulation of an athlete when performing sports practices. The device acts as a wearable type technology in which athlete attaches device shoe and leg. Its small size allows use of battery sensors that do not interfere with the athlete's performance. Despite physical simplicity of this device, it is programming complexity that requires individual tests and tests and integration so that its operation occurs as planned in your requirements. Tests in controlled environments are almost always carried out in laboratories, and their procedure includes performance of individual component tests and validation of operation according to manufacturers' recommendation and then integration testing process following recommendations of Systems & Requirements Engineering. In paper there is a description of proposed equipment, why worry about impact on sports practices, description testing procedure based on DT&E (*Development Test & Environment*), and finally, analysis of the results obtained with tests performed with device after system integration.

¹ Tecnólogo Mecânico, FATEC-SP chagas.jwmendes@gmail.com

² Doutor e Mestre em Engenharia de Fusão Termonuclear Controlada e Eletrônica, ITA LFWBarbosa@gmail.com ou Filipe.Wiltgen@unitau.br

Keywords: Impact. DT&E. Test. Wearable Technology. Systems & Requirements Engineering.

1 INTRODUÇÃO

As tecnologias de monitoramento esportivo ajudam nas práticas de atividades esportivas como corrida de rua, voleibol, basquetebol, handebol, futebol, provoca impactos sucessivos do solo com os membros inferiores dos atletas profissionais ou amadores (MCCARTHYA *et al.*, 2013).

A motivação à prática de atividades físicas está relacionada à melhora do condicionamento físico, benefícios à saúde, diminuição da ansiedade elevando a autoestima (LIPPERTS *et al.*, 2017). A corrida de rua é uma dessas atividades adequadas cuja a biomecânica da corrida pode ajudar a evitar lesões (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

Pesquisa realizada com um grupo de atletas amadores e corredores de rua, nota-se que quanto maior a carga de treinamento, maior é o número de lesões apresentadas independentemente do sexo, se recebeu ou não orientações de profissionais para a prática de corrida (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

Nos últimos anos o esporte tem passado por mudanças importantes, pelas quais, o nível de exigência física e competitiva tem se aproximado dos limites da exaustão dos atletas. Treinos e em competições, tem aumentado a predisposição ao acometimento de lesões, que em alguns casos podem ser evitadas reduzindo os fatores de riscos com diagnósticos precoces e prognósticos assertivos quanto a condição do atleta (KLEINPAUL *et al.*, 2010).

Fazer monitoramento e avaliar atletas durante a prática de atividade em tempo real (*online*), é de interesse dos treinadores, assim como, dos atletas. Entretanto, é necessário a utilização de um sistema com sensores embarcados em um dispositivo de monitoramento sem fio, de modo a não interferir no rendimento esportivo do atleta (MCCARTHY *et al.*, 2013).

O acúmulo de impacto gerado na prática de algumas modalidades esportivas pode ser diagnosticado com monitoramento adequado, pelo qual se faz necessário conceber e construir um dispositivo portátil para monitoramento de impacto nas práticas esportivas embarcado no atleta.

Esse dispositivo deve mostrar e armazenar os parâmetros de impacto e o valor acumulado das cargas atuantes nos membros inferiores durante as práticas de atividades físicas e esportivas de todos os tipos, mas principalmente no voleibol, handebol, basquetebol, futebol e corrida de rua.

Para os testes do dispositivo é necessário realizar um procedimento de testes em um ambiente controlado (*DT&E – Development Teste & Environment*), conforme orienta a Engenharia de Sistemas & Requisitos (ESR) (WILTGEN, 2020; WILTGEN, 2021).

Geralmente os testes realizados em atletas (físico ou de desempenho), em laboratórios permite condições controladas as quais as características dinâmicas dos atletas são avaliadas através de monitoramento por equipamentos instrumentados com vários dispositivos e sensores eletrônicos, não podendo ser utilizado em campo de treino ou de competição (JAMES, 2006). No ambiente controlado não existem problemas e defeitos que podem conduzir a resultados diferentes como na condição natural, isso sem dúvida ajuda com a obtenção de comparação de condições ideais e não ideais (WILTGEN, 2020; ESKOFIER *et al.*, 2008).

Os primeiros testes a serem realizados em sistemas complexos são os testes em ambientes controlados (*DT&E*), individuais e integrados, no qual, a execução requer atenção e planejamento, aplicar e utilizar técnicas de Engenharia de Sistemas & Requisitos (ESR). Ensaios e testes complementares ou ciclos testes prolongados podem ser necessários e seus resultados devem levar aos objetivos traçados no documento de procedimento de testes (WILTGEN, 2020).

O nível de maturidade no desenvolvimento de um projeto complexo aumenta quando são aplicadas as técnicas sistemáticas e metódicas de testes e ensaios. O aumento do nível de maturidade tecnológica (*TRL – Technology Readiness Level*) só será alcançado com a realização de testes em ambiente controlado (*DT&E*) e em ambiente relevante ou de campo (*OT&E – Operational Test Environment*) se aplicados conforme planejado no procedimento de

ensaios e testes seguindo o documento de requisitos do sistema (WILTGEN, 2020; WILTGEN, 2021).

Este artigo tem o objetivo de apresentar e elucidar a necessidade de se realizar exaustivos ensaios e testes de modo sistêmico e hierarquizado, possibilitando elevar o nível de maturidade tecnológica (*TRL*) no desenvolvimento de um projeto. Nessa pesquisa a metodologia de ensaios e testes foi aplicada no dispositivo para monitoramento de impacto em práticas esportivas.

As análises realizadas a partir dos resultados dos testes objetiva avaliar e comparar os sinais obtidos durante as ações esportivas de caminhadas e de saltos verticais, observando sempre a comparação entre intensidade de força reação, e em diferentes tipos de solo e se o atleta está calçado e descalço.

2 EFEITO DO ACÚMULO DE IMPACTOS EM ATLETAS

As lesões nos tornozelos de atletas são responsáveis por 25% (vinte e cinco por cento) dos afastamentos de suas atividades esportivas no qual o salto como indicador de desempenho como no voleibol, basquetebol, ginástica olímpica, judô, entre outros (PIUCCO *et al.*, 2007; SANTOS *et al.*, 2007).

Com o qual, joelhos e coluna são afetados com lesões devido ao acúmulo de impactos inerentes a sucessivas repetições de saltos devido a massa corpórea do atleta está diretamente relacionada com as forças de reação com solo (FRS) (SANTOS *et al.*, 2011).

Em atividades esportivas com saltos e aterrissagens frequentes, é alto o índice de lesões e fraturas nos membros inferiores, principalmente durante a aterrissagem, momento que o impacto com o solo pode chegar a mais de cinco vezes à massa corpórea (MANN *et al.*, 2010). Cargas excessivas e repetitivas em atividades físicas, são as principais causas de lesões nos joelhos de corredores (SOUZA *et al.*, 2013).

Quando os limites biológicos do cotidiano são ultrapassados na prática esportiva, lesões quase sempre poderão ocorrer (GUEDES *et al.*, 2012).

É importante conhecer a magnitude das forças de impacto com o solo durante a prática esportiva, em corrida de rua, principalmente de longa distância, é necessária a redução das forças de impacto com o solo devido à sobrecarga, que poderá levar a lesões crônicas (BIANCO *et al.*, 2011).

3 IMPACTO EM PRÁTICAS ESPORTIVA

Novas tecnologias aplicadas ao esporte têm proporcionado uma melhor compreensão das respostas fisiológicas humanas nos treinos e competições, ajudando a determinar o limiar de cada atleta e sua carga de treinamento adequada, proporcionando maior eficiência física aos atletas (MARINS *et al.*, 2014). A aceleração instantânea é uma grandeza física que pode ser medida com uso de sensores do tipo acelerômetros (NG *et al.*, 2016). Este sensor pode ser utilizado nas mais diversas aplicações (biomecânica, navegação inercial, robótica, jogos eletrônicos, telefonia celular, entre muitos outros) (OLIVEIRA *et al.*, 2008; ROCHA *et al.*, 2012).

O dispositivo acelerômetro é um elemento eletromecânico que é capaz de medir a força, usado indiretamente a medição da aceleração de uma força aplicada a um de seus eixos (DADAFSHAR, 2014).

Geralmente chamado de Unidade de Medida Inercial (*IMU – Inertial Measurement Unit*) é composta por um sensor do tipo acelerômetro e um sensor do tipo giroscópio, em alguns casos pode incorporar também um sensor do tipo magnetômetro (FAISAL, *et al.*, 2019).

As primeiras pesquisas no movimento humano com uso de acelerômetros ocorreram em meados de 1950 (YANG *et al.* 2010), mas foi apenas na década de 70 que houve o aprimoramento dos sensores acelerômetros tornando-os menores e mais fáceis de serem utilizados com o advento da técnica de micro eletromecânica (*MEMS – Microelectromechanical System*). A utilização de *MEMS* traz diversas vantagens, as mais importantes

são o tamanho reduzido e o baixo consumo de energia elétrica (ARIFFIN *et al.*, 2018; YANG; HSU, 2010; GUAN *et al.*, 2012).

Os sensores do tipo giroscópio são utilizados para medir velocidade angular em orientação de veículos. Comumente utilizados na robótica, principalmente como aplicação de sensores na detecção de movimentos de rolagem, arfagem e guinada.

Em aplicações militares são utilizados em torretas de tiro como sistemas de estabilidade horizontal nas plataformas mecânicas e em robôs especiais (OLIVEIRA *et al.*, 2008; OLSSONA *et al.*, 2016).

Os impactos com o solo estão relacionados tanto com a massa do corpo que exerce a força, assim como, o tipo de piso no qual ocorre a força de reação (rígido, semi rígido ou macio).

São comuns corridas em asfalto cujo piso rígido aumenta a reação do solo e aumenta o impacto, pisos como terra, areia e grama são semi rígidos ou macios e ajudam na dissipação da energia, e assim diminuem o impacto nas pernas, pois grande parte da energia fica distribuída no solo (ROSOKY *et al.*, 2000).

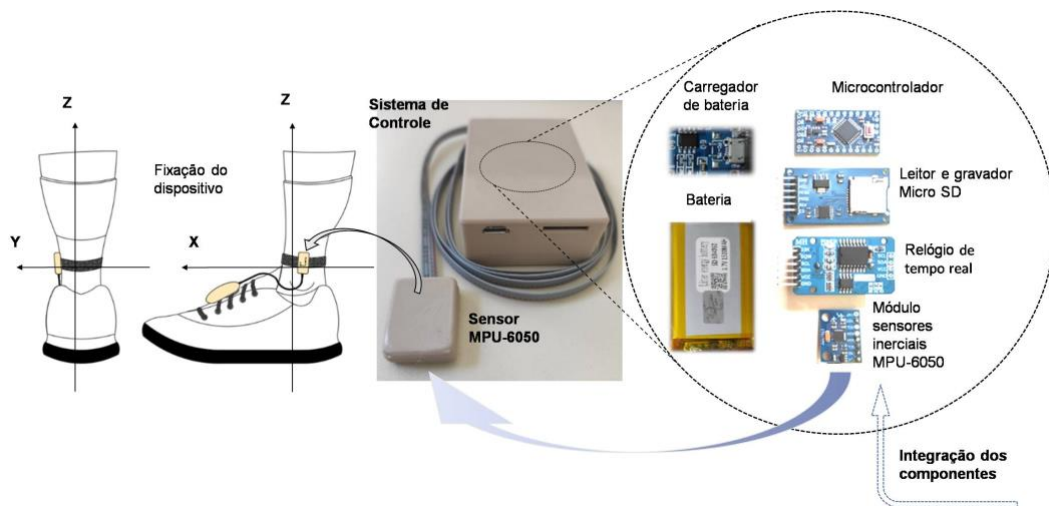
4 INTEGRAÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO DE IMPACTO

O sistema de monitoramento de impactos é composto por um microcontrolador Pro Mini da plataforma Arduino *ATmega328P* a 8MHz e tensão de operação de 3,3Vcc, uma unidade de medida inercial *IMU* composta por sensor do tipo acelerômetro e sensor do tipo giroscópio, a *MPU-6050*, um leitor gravador de cartão de memória *microSD* para armazenamento de dados coletados pelo dispositivo.

O relógio de tempo real do tipo *RTC DS3231* para registro de data e hora, ou seja, relógio calendário, foi integrado ao sistema, assim como foi incorporada uma bateria de Lítio recarregável para alimentação e autonomia do

dispositivo sistema de controle e sensores com um carregador de baterias. Controle e sensores são acomodados em dois compartimentos fabricados de polímero de ácido Poliláctico *PLA*, por manufatura aditiva, para proteção e fixação do sensor e controle, como pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 - Integração do Sistema de Monitoramento de Impacto.



Fonte: Próprios Autores.

A integração de cada parte do sistema depende basicamente da realização de testes básicos de funcionamento de cada componente que faz parte do sistema. É comum realizar estes testes ou ensaios em um ambiente controlado de laboratório (*DT&E*), podendo sempre ser dividido em subsistemas para compor um sistema, se assim for necessário (WILTGEN, 2020; WILTGEN, 2021).

Como o dispositivo de monitoramento de impacto proposto é muito simples. A integração é realizada apenas pelo conjunto de componentes (módulos), os quais na verdade são pequenos subsistemas completos com sensores e transdutores eletrônicos juntos, os quais são tratados como componentes ou módulos.

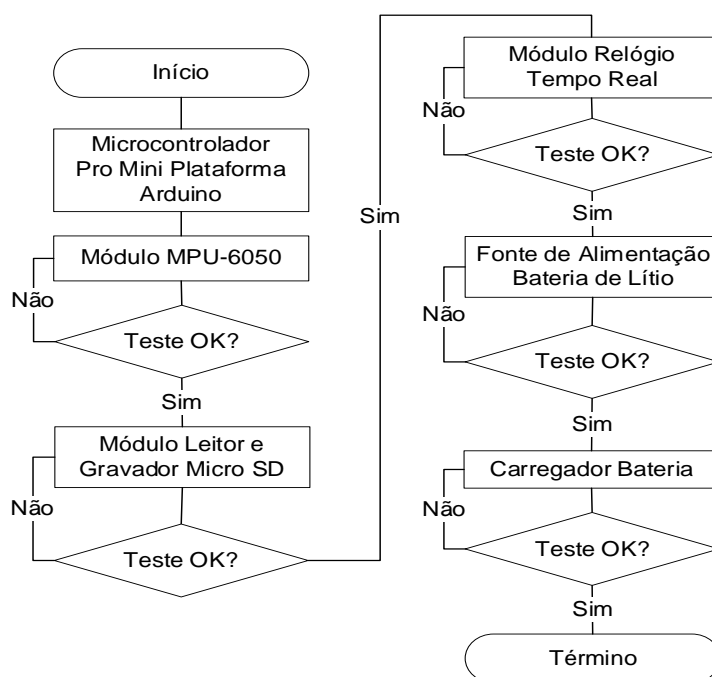
Cada um destes módulos (componentes) deve ser testado individualmente e em conjunto com o sistema de controle com o microcontrolador escolhido para essa função.

Para a integração o sistema de controle deve operar cada módulo sozinho, depois é selecionada a ordem ou sequência de integração de cada módulo com o sistema de controle.

A cada novo módulo integrado ao sistema de controle deve funcionar apresentando os mesmos sinais medidos quando os módulos foram testados separadamente. Se alguma mudança ocorrer, o teste deve ser repetido e verificado até que possa ser validado.

A sequência de integração dos módulos ao sistema de controle que compõem o dispositivo de monitoramento de impacto nas práticas esportivas (DIPE), pode ser observada na Figura 2.

Figura 2 – Fluxograma de ensaio de integração do DIPE.



Fonte: Próprios Autores.

A integração só estará completa e validada quando o último módulo do sistema estiver sido testado com os outros módulos e todos ligados ao

microcontrolador utilizado como sistema de controle e seus sinais assim como de todos os outros módulos corresponder aos sinais de referência obtidos com os testes realizados separadamente com cada módulo antes da integração.

O módulo de impacto *MPU-6050* possui os sensores inerciais (acelerômetro e giroscópio), o movimento do módulo junto ao sistema de controle foi testado aplicando-se a variação crescente e decrescente dos valores nos eixos do sensor acelerômetro *AcX*, *AcY* e *AcZ*, assim como, do sensor giroscópio *GyX*, *GyY* e *GyZ* em conjunto com o microcontrolador do sistema de controle.

O módulo *RTC DS3231* relógio de tempo real que fornece parâmetros de relógio de precisão integrado tipo calendário (dia, mês, ano, hora, minuto e segundo) foi testado individualmente e o registro das informações foi confirmado em conjunto com o microcontrolador do sistema de controle.

O teste do módulo gravador de cartão de memória *microSD*, responsável pelo armazenamento de dados do sistema, foi comprovado com a gravação e leitura de um arquivo “.txt em conjunto com o microcontrolador.

O último módulo testado individualmente foi a fonte de energia autônoma via uma bateria recarregável de Lítio (~3,7 Vcc e ~1,500 mA) é capaz de alimentar o sistema de controle proporcionando liberdade e autonomia ao atleta nas práticas esportivas, durante a realização dos testes em conjunto com o microcontrolador do sistema de controle funcionou em carga e descarga.

O sistema de controle é baseado no uso da plataforma Arduino Pro Mini, usando o microcontrolador *ATmega328*.

5 TESTES EM AMBIENTE CONTROLADO

Para a realização dos testes do sistema junto ao atleta, é preciso fixar o dispositivo no calçado e na perna do atleta. O sensor deve ficar bem fixado à perna do atleta devido e da precisão na coleta de sinais pelo sensor. O importante é garantir a não ocorra movimentação do sensor em relação ao ponto de fixação da própria perna do atleta. O módulo de controle (dispositivo)

deve ficar fixado no cadarço do calçado de treino, para a realização dos testes em piso asfáltico e solo com grama natural.

Os testes e ensaios foram executados de acordo com o procedimento descrito e apresentado neste artigo, baseado em Engenharia de Sistemas & Requisitos e no procedimento *DT&E* (WILTGEN, 2020; WILTGEN 2021).

O procedimento para execução dos testes e ensaios é baseado em realizar caminhadas com percursos estabelecidos de 100 metros de distância e saltos verticais com deslocamento definido em até 0,4 metro de altura, para comparação de desempenho os testes foram realizados com calçado de treino e descalço.

Os testes com o dispositivo de monitoramento de impacto nas práticas esportivas, foi executado por um jovem adolescente e atleta amador de 14 anos idade com ~1,75 m de altura e peso de ~61 kg, com experiência de um ano de prática esportiva (frequência de treino de três vezes por semana).

O primeiro teste teve início com uma caminhada em solo de grama natural e calçado, cujo percurso de ida e volta em 50 metros de distância e velocidade moderada de ~6,3 km/h, percorrendo o total de 100 metros, com retorno em curva à direita com raio de ~1,5 metros e sem parada.

O segundo teste foi realizado com uma caminhada em solo de grama natural e descalço, percurso de 50 metros ida e volta percorrendo 100 metros no total com velocidade moderada mantendo ~6,3 km/h, retornando em curva com raio de ~1,5 metros, logo após trinta minutos de descanso da realização do primeiro teste.

O terceiro teste consistiu na realização de uma sequência de cinco saltos verticais, após descansar por trinta minutos do término do segundo teste. A sequência de saltos deve ter um alcance vertical ~0,4 metro em relação ao solo, com o atleta descalço em piso de grama natural, mantendo as pernas estendidas verticalmente mantendo o corpo ereto, e em suspensão no ar durante a realização dos saltos.

Ao finalizar a terceira fase de testes, o atleta descansou por cinco minutos. Após o descanso foi realizado o quarto teste com uma sequência de

cinco saltos na vertical calçado em piso de grama natural, atingindo uma altura de ~0,40 metros, mantendo as pernas estendidas verticalmente na fase de salto. Com o término das fases de testes na grama natural, descansar por trinta minutos e iniciar o quinto teste em piso asfáltico, iniciando uma caminhada calçado e percorrendo a distância linear de 100 metros, com velocidade moderada de ~6,3 km/h.

O sexto teste repetiu a mesma caminhada, porém descalço.

Para realizar o sétimo e o oitavo testes após descanso de trinta minutos, realizado uma sequência de cinco saltos verticais, com os pés descalços e mantendo as pernas estendidas verticalmente na fase na execução do salto. Após o descanso de cinco minutos, o teste foi repetido com o atleta calçado.

Nas fases de testes da sequência de saltos verticais, há um intervalo de tempo de 10 segundos entre os saltos. Ao concluir toda a sequência de testes, o atleta terá percorrido e equivalente a 400 metros, sendo 100 metros percorridos na grama natural calçado com tênis, 100 metros de distância percorrida na grama descalço, 100 metros percorridos no asfalto calçado e 100 metros percorridos no asfalto descalço.

O total de testes com saltos verticais correspondeu a 20, sendo 5 saltos realizados na grama descalço, 5 saltos realizados na grama natural calçado, 5 saltos e descalço no piso asfáltico e 5 saltos realizados calçado no piso de asfalto. Os dados referentes ao deslocamento e números de saltos verticais, podem ser observados na Tabela 1.

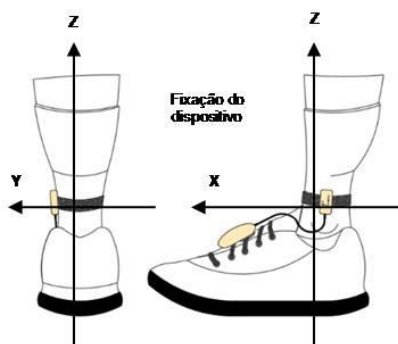
Tabela 1 – Testes de Corrida e de Saltos.

| <i>Caminhada e Saltos</i> | <i>Distância Percorrida (m)</i> | <i>Nº de Saltos Verticais</i> |
|----------------------------------|--|--------------------------------------|
| <i>Grama calçado</i> | <i>100</i> | <i>5</i> |
| <i>Grama descalço</i> | <i>100</i> | <i>5</i> |
| <i>Asfalto calçado</i> | <i>100</i> | <i>5</i> |
| <i>Asfalto descalço</i> | <i>100</i> | <i>5</i> |
| <i>TOTAL</i> | <i>400</i> | <i>20</i> |

Fonte: Próprios Autores.

A Figura 3 apresenta a fixação do dispositivo no calçado e a fixação do sensor de impacto na perna do atleta. O sensor fica fixado por uma fita adesiva e uma tira elástica ajustada apenas para manter o sensor no local adequado para a realização dos ensaios em ambiente controlado.

Figura 3 – Fixação do Dispositivo para Testes.



Fonte: Próprios Autores.

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS TESTES

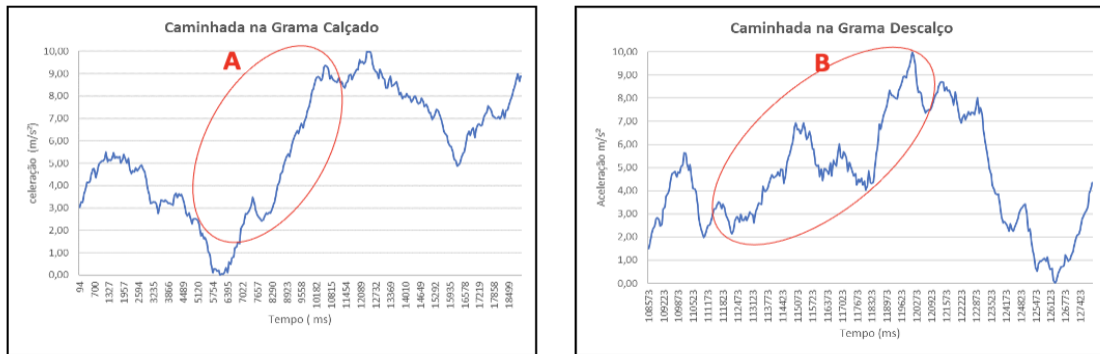
Ao analisar os sinais de impacto, foram observadas regiões referentes à dinâmica de caminhada e saltos verticais, em piso do tipo grama natural, e também, no piso do tipo asfáltico, ambos com os pés calçados e descalços.

A fim de atenuar o impacto com o solo, os saltos foram realizados com as pernas estendidas. Durante as aterrissagens dos saltos, os mesmos foram realizados com ponta do pé e posteriormente o calcanhar para amortizar o impacto, garantindo iguais condições nos testes.

O solo com grama natural, tem dentre suas características proporciona o amortecimento devido a sua superfície macia. Porém, na caminhada e nos saltos verticais, apesar do amortecimento do solo com os membros inferiores, parte do impacto é transferido para estrutura musculoesquelético do atleta.

Na Figura 4, podem ser observados os sinais de impacto referentes a uma caminhada em solo do tipo grama natural.

Figura 4 – Sinais de impacto durante o teste de caminhada no piso do tipo grama (calçado e descalço).

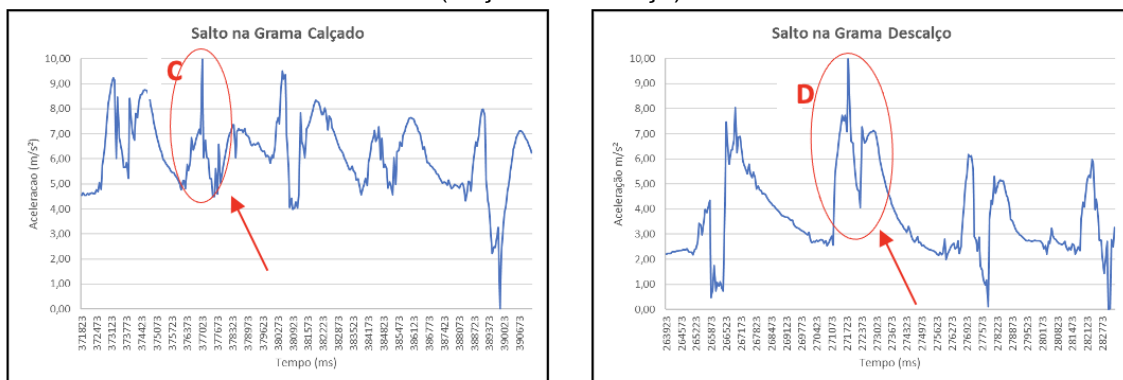


Fonte: Próprios Autores.

Na região “A” na Figura 4, tem-se o sinal referente a caminhada calçado. Esses sinais representam uma diluição do impacto, visto que não mostram que sinais de alta frequência referentes a impacto. Na região “B” na Figura 4, tem-se o sinal referente a caminhada descalço. Estes sinais representam maior absorção de impacto pelo membros inferiores, caracterizado por apresentar sinais de alta frequência referentes a impactos.

Na Figura 5, é possível ver os sinais de impacto nos saltos realizados em um piso do tipo grama natural tanto calçado, quanto descalço. Na região “C” na Figura 5, pode ser observado uma rápida subida referente ao impacto na aterrissagem nos saltos calçado. O comportamento do sinal indica um impacto amortecido. A análise no sinal na região “D” na Figura 5, com o teste de saltos descalços representa forte impacto nos membros inferiores do atleta.

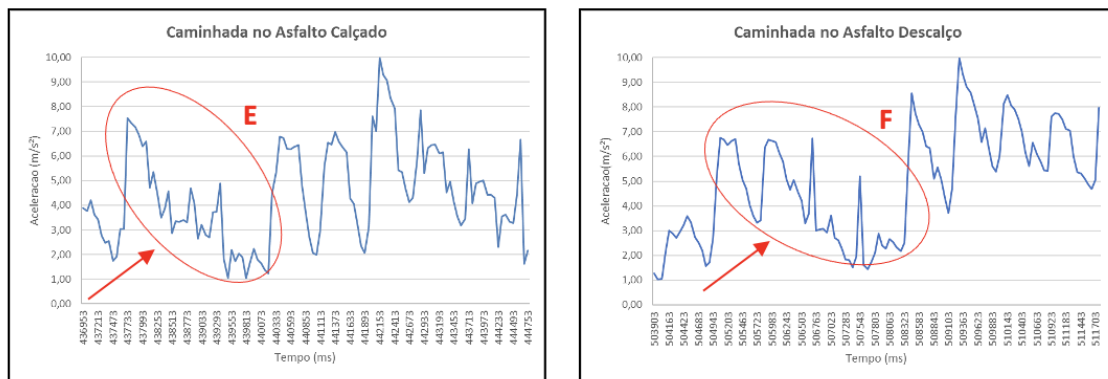
Figura 5 – Sinais de impacto durante o teste de saltos no piso do tipo grama (calçado e descalço).



Fonte: Próprios Autores.

A caminhada em piso asfáltico com os pés calçados e descalços, podem ser vistos nas regiões “E” e “F” na Figura 6. É possível observar que sem o calçado e devido ao tipo do solo, os impactos ocorridos durante a caminhada têm comportamento similar, porém é fácil notar que descalço sem o amortecimento do calçado, os impactos foram mais severos (maior magnitude).

Figura 6 – Sinais de impacto durante o teste de caminhada no piso do tipo asfalto (calçado e descalço).

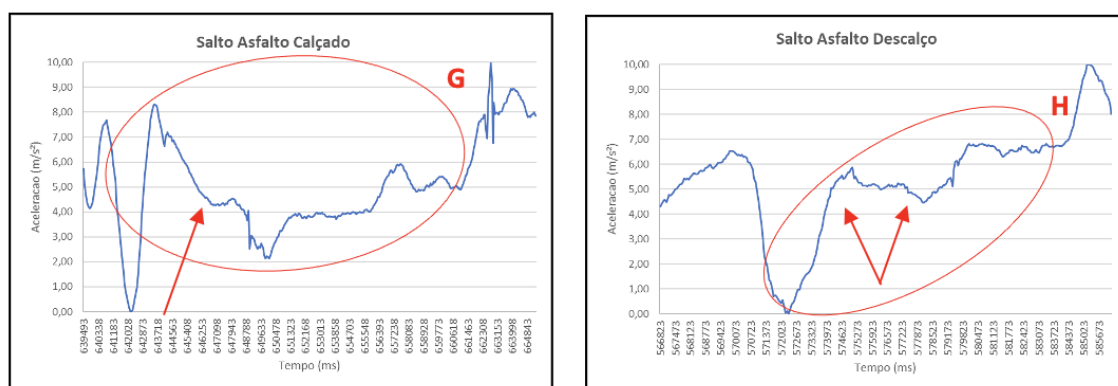


Fonte: Próprios Autores.

Na Figura 7 é possível notar os sinais de saltos verticais realizados em piso do tipo asfáltico calçado e descalço.

A região “G” na Figura 7, é possível observar que ocorrem oscilações, sendo que a primeira representada pela seta é mais acentuada devido ao impacto do pé com o solo durante aterrissagem de um salto vertical calçado, e na sequência sugere um ligeiro amortecimento com absorção do impacto pelo calçado do atleta.

Figura 7 – Sinais de impacto durante o teste de saltos no piso do tipo asfalto (calçado e descalço).



Fonte: Próprios Autores.

Na região “H” na Figura 7, nota-se um sinal referente a um salto descalço, sugerindo que ocorre um comportamento de forte impacto, diferente do sinal que ocorreu na análise na região “G” com salto calçado.

Análise dos sinais obtidos com os sensores de impacto do dispositivo durante a realização dos testes, sugere um maior amortecimento das forças de impacto durante aterrissagem sempre que o atleta está calçado, o que de fato era o esperado, porém nota-se que a amplitude dos impactos deve ser monitorada devido a fadiga acumulativa na realização das práticas esportivas.

7 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Para alcançar a maturidade tecnológica (*TRL*) de um projeto novo, é fundamental a realização de testes que além de comprovar e melhorar o desenvolvimento do produto permitem avançar de forma significativa nos requisitos necessários para o propósito do projeto.

A análise dos impactos acumulados em práticas esportivas se mostra importante para a saúde dos atletas, como pode ser visto nas análises dos testes em ambiente controlado (*DT&E*) realizados nesta pesquisa.

Um dispositivo portátil capaz de monitorar o acúmulo de impactos em atletas durante a execução das práticas esportivas em treinamentos deve

ajudar a avaliar o limite individual de cada atleta. Isso conforme foi apresentado nas análises dos testes realizados mostra que mesmo quando calçados com tênis específicos para práticas esportivas, ainda assim, os impactos transferidos para as pernas dos atletas é muito significativo.

Realizar outros testes, com diferentes atletas, diferentes calçados e em diferentes solos podem ajudar a entender melhor os efeitos dos impactos a longo prazo, e assim permitir que atletas possam avaliar o tempo e a intensidade de seus treinamentos.

Os resultados apresentados neste artigo podem ser utilizados para melhorar o equipamento de monitoramento, mas sobretudo mostra que os impactos podem ser significativos para o afastamento de atletas por lesões.

É fato que dispor de um aparelho que possa realizar o monitoramento dos sinais de treinamento esportivo, sem que a presença do mesmo interfira com o desempenho do atleta tem importância ímpar no futuro próximo das atividades esportivas tanto profissionais, quanto amadoras.

REFERÊNCIAS

ARIFFIN, N. H.; ZAKARIA, I. R. I.; ARSAD, N.; BAKAR, A. A. B.; BAIS, B.; ZAN, M. S. D. Autonomous MEMS Gyroscope and Accelerometer for North Finding System. **UTeM Open Journal System**, v.10(01), p.13-17, 2018.

DADAFSHAR, M. Accelerometer and Gyroscopes Sensors: operation, Sensing and Application. **Application note 5830**, p.1-11, 2014.

ESKOFIER, B. M; HARTMANN, E.; KÜHNER, P.; GRIFFIN, J.; SCHLARB, H.; SCHMITT, M.; HORNEGGER, J. Real Time Surveying and Monitoring of Athletes Using Mobile Phones and GPS, **International Journal of Computer Science in Sport**, Chicago, v.7(01), p.18-27, 2008.

FAISAL, I. A.; PURBOYO, T. W.; ANSORI. A. A Review of Accelerometer Sensor and Gyroscope Sensor in IMU Sensors on Motion Capture. **Journal of Engineering and Applied Sciences**, v.15(03), p.826-829, 2020.

GUAN, T.; CEYSSENS, F.; PUERS, R. Polymer MOEMS accelerometer. **Procedia Engineering**, v.47, p.120-123, 2012.

JAMES, D. A. The Application of Inertial Sensors in Elite Sports Monitoring, **The Engineering of Sport** 6, v.7, p.289-294, 2006.

KLEINPAUL, J. F.; MANN, L.; SANTOS, S. G. Lesões e Desvios Posturais na Prática de Futebol em Jogadores Jovens. **Fisioterapia e Pesquisa**, v.17(03), p.236-241, 2010.

LIPPERTS, M.; LAARHOVEN, S. V.; SENDEN, R.; HEYLIGERS, I.; GRIMM, B.; Clinical Validation of a Body-Fixed 3D Accelerometer and Algorithm for Activity Monitoring in Orthopaedic Patients. **Journal of Orthopaedic Translation**, v.11, p.19-29, 2017.

MARINS, J. C. B.; FERNANDES, A. A.; MOREIRA, D. G.; SILVA, F. S.; COSTA, C. M. A.; PIMENTA, E. M.; SILLERO-QUINTANA, M. Thermographic profile of soccer players' lower limbs. **Rev Andal Med Deporte**, v.7(01), p.1-6, 2014.

MCCARTHYA, M. W.; JAMES, D. A.; ROWLANDSA, D. D. Smartphones: Feasibility for real-time sports monitoring. **Procedia Engineering**, v.60, p.409-414, 2013,

NG, K. M.; NGUYEN, P.; GAN, S. K. VibraTilt: Accelerometer & Gyroscope measurement App. **Scientific Phone Apps and Mobile Devices**, v.2(05), p.1-3, 2016.

OLIVEIRA, D. G.; ESPÍRITO-SANTO, G.; SOUZA, I. S.; FLORET, M. Prevalência de Lesões e Tipo de Treinamento de Atletas Amadores de Corrida de Rua. **Corpus et Scientia**, v.8(01), p.51-59, 2012.

OLIVEIRA, E. J. L.; SILVA, F. R.; WILTGEN, F (BARBOSA, L. F. W.). Dispositivo Inercial Baseado em Giroscópio para Aplicação em Robótica. **XII Encontro Latino-Americano de Iniciação Científica e VIII Encontro Latino-Americano de Pós-Graduação**. Universidade do Vale do Paraíba, Jacareí, 16 outubro, p.1-4, 2008.

OLSSONA, F.; KOK, M.; HALVORSEN, K.; SCHÖN, T. B. Accelerometer Calibration Using Sensor Fusion with a Gyroscope. **IEEE Statistical Signal Processing Workshop**, Palma de Mallorca, 6-29 June, p.660-664, 2016.

PIUCCO, T.; SANTOS, S. G. Relação Entre Percentual de Gordura Corporal, Desempenho no Salto Vertical e Impacto nos Membros Inferiores em Atletas de Voleibol. **Fit. Perf. Journal**, v.8(01), p.9-15, 2009.

PIUCCO, T.; SANTOS, S. G.; PACHECO, A. G.; SOUZA, P. D.; REIS, D. C. Magnitude dos Impactos Durante as Aterrissagens no Basquete Associado com Lesões nos Membros Inferiores. **XII Congresso Brasileiro de Biomecânica CBB 2007**, Rio Claro, 30 maio a 02 junho, p.1-6, 2007.

ROCHA, F. S.; MARRANGHELLO, G. F. Propriedades de um acelerômetro eletrônico e possibilidades de uso no ensino de mecânica. **Latin-American Journal of Physics Education**, v.7(01), p.37-46, 2013.

ROSOKY, R. M. A.; WOLOSKER, N.; MURACO-NETTO, B.; PUECH-LEÃO, P. Ground Reaction Force Pattern in Limbs with Intermittent Claudication. **Eur. J. Vasc Endovasc. Surg.**, v.20, p.254–259, 2000.

SANTOS, S. G.; DETANICO, D.; PIUCCO, T. Fatores que Interferem nas Magnitudes de Impacto na Recepção ao Solo no Remate em Suspensão do Handebol. **Revista Motricidade**, v.7, n.2, p.65-72, 2011.

WILTGEN, F. Técnica de Ensaio de Sistemas Complexos com Metodologia de Engenharia de Sistemas & Requisitos, **Exatas e Tecnológicas - Interfaces Científicas**, v.4(01), p.51–60, 2020.

WILTGEN, F. Testing Plan in Systems & Requirements Engineering for Strategic Engineering Areas. **26° International Congress of Mechanical Engineering (COBEM)**, Curitiba, 22 a 26 de novembro, p.1–10, 2021.

YANG, C. C.; HSU, Y. L. A Review of Accelerometry-Based Wearable Motion Detectors for Physical Activity Monitoring. **MDPI Journal Sensors (Basel)**, v.10, n.8, p.7772-7788, 2010.

Enviado em: 04 jun. 2021.

Aceito em: 18 out. 2021.

Editor responsável: Mateus das Neves Gomes.