

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

António José Barroso Pacheco Leite

Desenvolvimento de um sistema de sensorização integrado num saco de boxe

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Engenharia Eletrónica Industrial e Computadores

Trabalho realizado sob a orientação de

Professor João Monteiro

Professor Hélder Carvalho

Abril de 2018

*"O único lugar onde o sucesso vem
antes do trabalho é no dicionário."*

Albert Einstein

Ao meu avô

AGRADECIMENTOS

A realização do trabalho aqui apresentado teve a contribuição de algumas pessoas, às quais transmito os meus mais sinceros agradecimentos.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao meu orientador Professor Doutor João Monteiro por toda a disponibilidade que sempre demonstrou apesar da sua agenda complicada.

Em segundo lugar, queria agradecer ao meu coorientador, Professor Hélder Carvalho por toda a sua disponibilidade em me ajudar nos pontos mais críticos do projeto e por toda a motivação e recursos que me forneceu na realização deste projeto. Foi um prazer e uma honra conhecê-lo e trabalhar a seu lado.

Um agradecimento para os SASUM por se mostrarem sempre disponíveis a ceder uma das salas do Complexo Desportivo de Azurém para a realização de testes.

Um agradecimento muito especial aos meus pais António Teixeira Leite e Maria Manuela Barroso Pacheco e à minha avó Sofia Barroso Magalhães pela educação que me deram, por terem feito de mim a pessoa que sou hoje e sobretudo pelo apoio incondicional mesmo nos momentos menos bons.

Um enorme agradecimento ao André Leite e ao Pedro Silva por toda a ajuda prestada e pela disponibilidade demonstrada sempre.

Um muito obrigado para uma das pessoas mais importantes que conheci, João Sousa, por me ter ajudado tanto academicamente como pessoalmente desde os primeiros dias de Universidade até este momento.

Um agradecimento especial para o Joel Antunes por todo apoio e por estar sempre presente sem me deixar desmotivar.

Por fim, mas não menos importantes, queria deixar um agradecimento aos meus amigos dos “Patos da Sheet” por todos os momentos que me proporcionaram, por todas as noites mal dormidas a estudar e por todas as vezes que dissemos “vamos só ouvir uma música ao BA”. Espero ter-vos comigo para o resto da vida.

A todos, muito obrigado.

RESUMO

Nos dias de hoje os instrumentos para monitorização e melhoria de performance têm grande procura em qualquer desporto ou prática do quotidiano. Os desportos de combate não são exceção a esta nova realidade. Porém, depois de uma pesquisa de mercado conclui-se que não existe um produto que reproduza as condições necessárias para a realização de um treino, isto é, que consiga monitorizar o treino a nível de força dos impactos sem que nada interfira com o atleta e este possa realizar um treino normal e sem interrupções. Um sistema económico, não intrusivo e capaz de fornecer informação importante para a avaliação e melhoria de performance tem um potencial de mercado significativo.

Esta dissertação, desenvolvida na Universidade do Minho em parceria com uma entidade externa, foi realizada com o objetivo de desenvolver um protótipo para um sistema de sensorização a integrar num saco de boxe, para apoiar o treino em artes marciais. O sensor piezoresistivo de força construído durante esta dissertação cobre grande parte da área do saco. Os sensores utilizados têm como finalidade medir a força dos impactos que são infligidos no saco de boxe. Assim sendo, este sistema permite ao utilizador ter uma perceção da sua evolução no que toca ao ganho de força e ao seu tempo de reação pois possibilita que este veja o seu treino em tempo real através de um gráfico desenvolvido na aplicação Android.

Este trabalho de mestrado foi realizado com o objetivo de obter um produto final que possua uma interface de comunicação entre o sistema de aquisição de sinal e o sistema de interface com o utilizador. Posto isto, foi necessário desenvolver o hardware de aquisição de sinal, assim como o software respetivo, para um microcontrolador ATMEL. Este microcontrolador foi utilizado para fazer a aquisição de sinal dos sensores utilizados e para fazer as comunicações (através de um dispositivo Bluetooth) necessárias. Por fim, foi criado um software para dispositivos móveis Android de forma a existir uma interface com o utilizador.

Palavras-Chave: Artes Marciais, Sensores Piezoresistivos, Acelerómetros, Android.

ABSTRACT

Nowadays the instruments for monitoring and improving performance have great demand in any sport or daily practice. Combat sports are no exception to this new reality. However, after a market research it is concluded that there is no product that reproduces the necessary conditions for the performance of a training, that is, that can monitor the training in the strength of the impacts without nothing interfering with the athlete and it can perform a normal and uninterrupted workout. An economical, non-intrusive system capable of providing important information for performance evaluation and improvement has significant market potential.

This dissertation, developed at the University of Minho in partnership with an external entity, was carried out with the objective of developing a prototype for a sensor system to be integrated into a boxing bag to support martial arts training. The piezoresistive force sensor constructed during this dissertation covers most of the area of the bag. The sensors used are intended to measure the force of the impacts that are inflicted in the boxing bag. Therefore, this system allows the user to have a perception of its evolution regarding the gain of strength and its reaction time because it allows the user to see his training in real time through a graph developed in the Android application.

This work was carried out with the objective of obtaining a product that has a communication interface between the signal acquisition system and the user interface system. That said, it was necessary to develop the signal acquisition hardware, as well as the respective software, for an ATMEL microcontroller. This microcontroller was used to make the signal acquisition of the sensors used and to make the necessary communications (through a Bluetooth device). Finally, a software for Android mobile devices was created in order to have an interface with the user.

KEYWORDS: MARTIAL ARTS, PIEZORESISTIVE SENSORS, ACCELEROMETERS, ANDROID.

ÍNDICE

| | |
|--|------|
| Agradecimentos..... | vii |
| Resumo..... | ix |
| Abstract..... | xi |
| Índice..... | xiii |
| Lista de Figuras..... | xv |
| Lista de Tabelas..... | xix |
| Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos..... | xxi |
| 1 Introdução..... | 1 |
| 1.1 Enquadramento..... | 1 |
| 1.2 Motivações..... | 1 |
| 1.3 Objetivos e Contribuições..... | 2 |
| 1.4 Organização e Estrutura da Dissertação..... | 3 |
| 2 Estado da Arte e Fundamentos Teóricos..... | 5 |
| 2.1 Estudo do mercado..... | 5 |
| 2.2 Acelerómetros..... | 8 |
| 2.2.1 Tipos de acelerómetros..... | 9 |
| 2.2.2 Especificações dos acelerómetros..... | 11 |
| 2.3 Sensores de força..... | 13 |
| 2.3.1 Sensores piezoresistivos..... | 13 |
| 2.3.2 Velostat..... | 14 |
| 2.3.3 Outras tecnologias no mercado..... | 14 |
| 2.4 Sistemas de condicionamento de sinal..... | 16 |
| 2.5 Transmissão sem fios..... | 17 |
| 2.5.1 Bluetooth..... | 18 |
| 2.5.2 Bluetooth Low Energy..... | 20 |
| 3 Descrição do sistema e seleção de materiais..... | 25 |
| 3.1 Arquitetura do sistema..... | 25 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3.1.1 | Definição de requisitos | 25 |
| 3.1.2 | Arquitetura geral..... | 26 |
| 3.2 | Seleção de hardware..... | 26 |
| 3.3 | Seleção de software | 30 |
| 3.4 | Definição da arquitetura final do sistema | 34 |
| 4 | Apresentação e discussão de resultados | 37 |
| 4.1 | Sensores..... | 37 |
| 4.1.1 | Evolução do sensor piezoresistivo de força | 37 |
| 4.1.2 | Acelerómetro..... | 50 |
| 4.2 | Placa de aquisição de dados..... | 53 |
| 4.3 | Software Android | 62 |
| 4.4 | Sistema final | 74 |
| 5 | Conclusão e trabalho futuro | 79 |
| 5.1 | Melhorias e trabalho futuro..... | 79 |
| 5.2 | Conclusão | 81 |
| | Bibliografia..... | 83 |
| | Anexo I – Lista de funções da placa de aquisição | 87 |
| | Anexo II – Lista de funções software android | 91 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1-Dados recolhidos dos inquiridos a praticantes de artes marciais..... | 2 |
| Figura 2-Camisola da Athos [4] | 5 |
| Figura 3-StrikeMeter [6] | 6 |
| Figura 4-Produto da LoadStar Sensors [7] | 7 |
| Figura 5-Produto da Corner [8] | 7 |
| Figura 6-Impact Wrap [9] | 8 |
| Figura 7-Break-Out de um Acelerómetro de 3 eixos [10] | 9 |
| Figura 8-Acelerómetro Capacitivo [13]..... | 10 |
| Figura 9-Acelerómetro Piezoelétrico [15]..... | 11 |
| Figura 10-Sensor piezoresistivo [18]..... | 13 |
| Figura 11-Velostat da 3M [21] | 14 |
| Figura 12-(Esquerda)Estrutura de um tecido sensível à pressão feito de duas camadas externas com padrões condutores ortogonais e um Velostat (3M como camada intermediária. (Direita). Dois sensores piezoresistivos baseados em processo de malha com fios metálicos diferentes: aço e cobre [22] | 14 |
| Figura 13-Sensor de pressão para o pé [23] | 15 |
| Figura 14-Produto da Tekscan e resultados [24] | 15 |
| Figura 15-MS9717 Mid Area FSR Matrix Array Sensor [25] | 16 |
| Figura 16-Transmissão sem-fios [27] | 17 |
| Figura 17-Espetro Eletromagnético [29]..... | 18 |
| Figura 18-Exemplos de Conexão Master/Slave[31]..... | 19 |
| Figura 19-Funcionamento das cargas no GAP [34] | 21 |
| Figura 20-Topologia Broadcast [34] | 21 |
| Figura 21-Troca de dados Servidor/Cliente [34] | 22 |
| Figura 22- Exemplo de um objeto de transação GATT [34] | 23 |
| Figura 23-Arquitetura geral do sistema | 26 |
| Figura 24-Arduino Mega 2560 [35] | 27 |
| Figura 25-MMA7361L Module | 27 |
| Figura 26-Tinysine Bluetooth 4.0 BLE module [36]..... | 28 |
| Figura 27-Esquema elétrico do circuito de condicionamento | 29 |

| | |
|---|----|
| Figura 28-Circuito de condicionamento na Veroboard | 29 |
| Figura 29-Diagrama Sequencial de um treino normal | 30 |
| Figura 30-Diagrama sequencial de um treino de reacção | 31 |
| Figura 31-Android Studio | 32 |
| Figura 32-Trama OK | 33 |
| Figura 33-Formato da trama de envio de dados de um treino normal | 33 |
| Figura 34-Formato da trama de envio de dados de um treino de reacção | 34 |
| Figura 35-Trama Fim | 34 |
| Figura 36-Trama Nack | 34 |
| Figura 37-Esquema da arquitetura do sistema | 35 |
| Figura 38-Esquema do sensor de força | 37 |
| Figura 39-Sensor de força | 38 |
| Figura 40-Aplicação em LabView..... | 38 |
| Figura 41-5 socos com o saco solto | 39 |
| Figura 42-5 socos com o saco seguro | 39 |
| Figura 43-Sensor piezoresistivo com a área de uma luva de boxe | 40 |
| Figura 44-Esquema do sensor do tamanho da luva de boxe (vista de frente e vista das diferentes camadas sobrepostas) | 41 |
| Figura 45-Teste do sensor | 41 |
| Figura 46-Teste em LabView do sensor com a área de uma luva de boxe | 42 |
| Figura 47-Esquema do sensor com espuma (vista de frente e vista das diferentes camadas sobrepostas) | 43 |
| Figura 48-Teste do sensor com espuma | 43 |
| Figura 49-Representação do local onde os fios foram colocados (vista de frente) | 44 |
| Figura 50-Teste em LabView do sensor com espuma | 45 |
| Figura 51-Esquema do sensor com carcela [37] | 45 |
| Figura 52-Protótipo do sensor com carcela [37]..... | 46 |
| Figura 53-Desenho técnico do sensor. 1) com tubo de malha; 2) com dois elásticos em cada lado [37] | 47 |
| Figura 54-Sensor plano com malha. 1) sensor fechado; 2) sensor aberto [37]..... | 47 |
| Figura 55-Sensor plano com elásticos. 1) sensor fechado; 2) sensor aberto [37] | 48 |
| Figura 56-Esquema do protótipo real (vista de frente e vista das diferentes camadas sobrepostas) | 49 |

| | |
|---|----|
| Figura 57-Protótipo funcional do sensor, vestido no saco de boxe. 1) sensor fechado; 2) sensor aberto [37]..... | 49 |
| Figura 58-Testes no protótipo e software LabView | 50 |
| Figura 59-Soco Frontal..... | 51 |
| Figura 60-5 socos frontais | 51 |
| Figura 61-Soco Lateral..... | 52 |
| Figura 62-6 Socos laterais..... | 53 |
| Figura 63-Diagrama de blocos do software da placa de aquisição | 53 |
| Figura 64-Diagrama temporal de leitura de uma amostra do ADC..... | 54 |
| Figura 65-Fluxograma da interrupção do Timer1 | 55 |
| Figura 66-Fluxograma da interrupção do ADC | 56 |
| Figura 67-Fluxograma do Ciclo Principal..... | 57 |
| Figura 68-Fluxograma do modo Treino Normal | 58 |
| Figura 69-Função que gera um tempo aleatório entre 3 e 12 segundos | 59 |
| Figura 70-Função impact_detect..... | 59 |
| Figura 71-Fluxograma do modo do Treino de Reacção..... | 61 |
| Figura 72-Diagrama de blocos do software Android desenvolvido..... | 62 |
| Figura 73-Apresentação do icon no menu do dispositivo móvel | 63 |
| Figura 74-Start page da aplicação Android..... | 63 |
| Figura 75-Home da aplicação Android..... | 64 |
| Figura 76-Fluxograma do Ciclo Inicial da aplicação Android..... | 65 |
| Figura 77-Atividade Evolution da aplicação Android | 66 |
| Figura 78-Fluxograma da atividade Evolution | 67 |
| Figura 79-Atividade Training na aplicação Android..... | 68 |
| Figura 80-Fluxograma da atividade Training | 69 |
| Figura 81-Atividade Paired na aplicação Android | 70 |
| Figura 82-Demonstração da procura de dispositivos | 71 |
| Figura 83-Fluxograma da atividade Paired | 71 |
| Figura 84-Atividade Normal Training na aplicação Android | 72 |
| Figura 85-Demonstração do uso do botão STOP | 73 |
| Figura 86-Fluxograma da atividade Normal Training | 74 |
| Figura 87-Apresentação do sistema final | 75 |

| | |
|---|----|
| Figura 88-Demonstração durante início do treino | 76 |
| Figura 89-Demonstração durante o treino..... | 76 |
| Figura 90-Demonstração do final do treino | 77 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1-Comandos enviados pelo sistema interface para o servidor | 32 |
|---|----|

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

| | |
|-------|--|
| ADC | Analog to Digital Conversion |
| AVRCP | <i>A/V Remote Control Profile</i> |
| A2DP | <i>Advanced Audio Distribution Profile</i> |
| BLE | Bluetooth Low Energy |
| EOLC | <i>End Of Last Conversion</i> |
| GAP | <i>Generic Access Profile</i> |
| GATT | <i>Generic Attribute Profile</i> |
| GPIO | <i>General Purpose Input/Output</i> |
| HFP | <i>Hands-Free Profile</i> |
| HID | <i>Human Interface Device</i> |
| HSP | <i>Headset Profile</i> |
| ISR | <i>Interrupt Service Routine</i> |
| I2C | <i>Inter-Integrated Circuit</i> |
| SPI | <i>Serial Peripheral Interface</i> |
| SPP | <i>Serial Port Profile</i> |

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

Desde os primórdios da civilização que as artes marciais estiveram presentes na história da humanidade. Existem poucos registos históricos que datem o princípio das artes marciais. Alguns colocam o seu aparecimento no século VI com um monge proveniente da Índia que viveu na China. Porém, arqueólogos encontraram registos em escavações com mais de 5000 anos que indicam a existência do kung-fu nessa época. O enriquecimento da população levou a que as pessoas sentissem necessidade de serem protegidas, conduzindo à profissionalização dos praticantes [1].

Com o passar dos tempos e com a evolução das técnicas e da tecnologia, a performance dos atletas foi melhorando. Apesar disso, atualmente ainda existe escassez de produtos que possam monitorizar os treinos dos atletas e os existentes têm bastantes limitações, não reproduzindo as condições realistas de um treino.

O produto que se pretende desenvolver pretende quantificar a força exercida, o tempo de reação ou o número de golpes que o utilizador executou durante um treino num saco de boxe. O sistema proposto tem como ponto forte o potencial de poder oferecer um conjunto de funcionalidades extenso, a baixo custo, que nenhum outro oferece.

Este sistema terá uma grande margem de evolução, tal como a introdução de outros sensores, a medição da localização dos golpes por sensorização matricial ou o processamento avançado para classificação da performance. Por outro lado, pode vir a ser aplicável a outros desportos.

1.2 Motivações

Atualmente os instrumentos para a melhoria de performance, têm grande procura em todos os desportos, tal como também nos desportos de combate. Isto verifica-se especialmente em treino para competição, mas também em desporto de lazer. Associado a isto existe ainda a componente de monitorização da saúde dos praticantes.

Para perceber melhor quais as necessidades que os atletas sentem foram realizados 46 inquéritos a praticantes de artes marciais na área de Santarém. Nas seguintes figuras estão presentes alguns resultados.

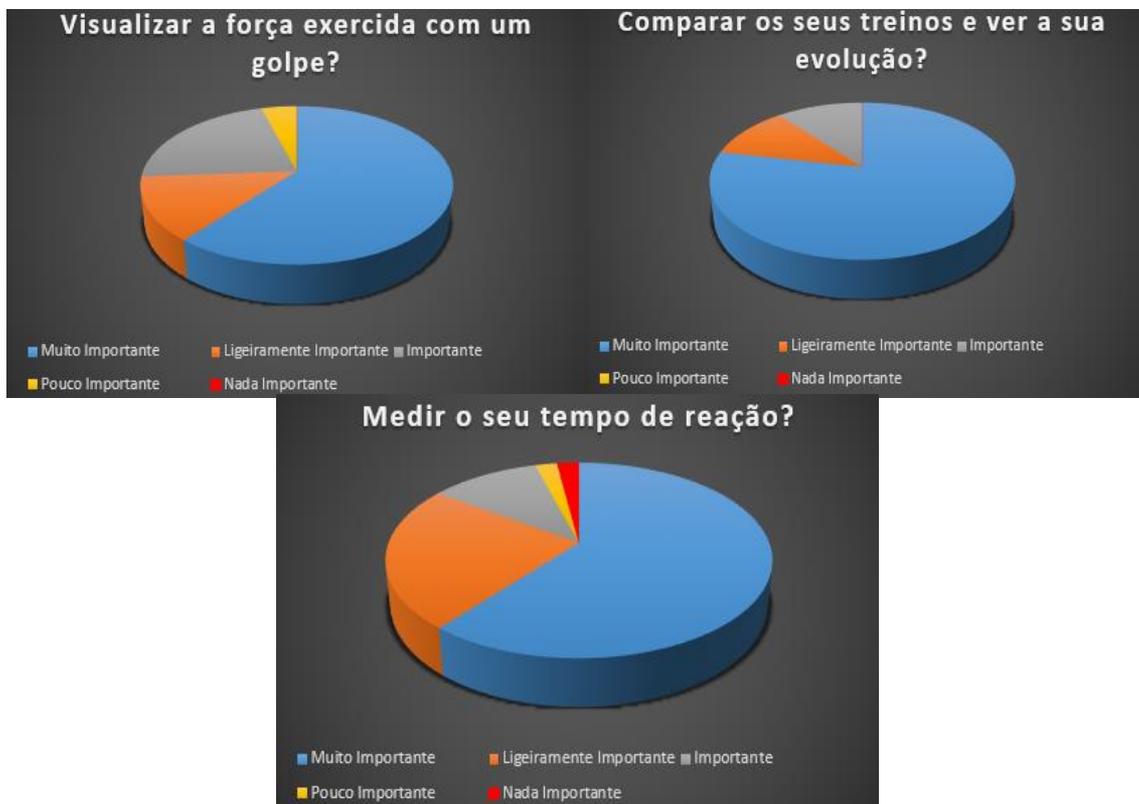


Figura 1-Dados recolhidos dos inquéritos a praticantes de artes marciais

A nível pessoal, a escolha do trabalho de Dissertação de Mestrado consistiu em encontrar um tema de interesse em que fosse possível aplicar os conhecimentos que foram adquiridos no curso de Engenharia Eletrónica Industrial e de Computadores nas duas áreas de mestrados escolhidas, nomeadamente as áreas de Microtecnologias e de Tecnologias e Sistemas de Informação e também ter uma perspetiva do funcionamento do mercado comercial.

1.3 Objetivos e Contribuições

Nesta dissertação pretende-se criar um sistema de baixo custo que permita monitorizar em tempo real a performance dos atletas, permitindo-lhes um maior desenvolvimento das suas capacidades físicas. Toda a informação recolhida pelo sistema será enviada para dispositivos móveis (smartphones ou tablets) ou para um computador, possibilitando ao treinador monitorizar o atleta e adaptar seu treino.

Para isso irá desenvolver-se um sistema que abrange dois subsistemas.

No primeiro subsistema pretende-se colocar acelerómetros de 3 eixos no interior do saco de boxe e também na integração de sensores flexíveis de força da dimensão de toda a área do saco, colocado na periferia do mesmo. Estes sensores deverão ter uma grande resistência mecânica devido a neles serem exercidas grandes forças, bem como uma boa resposta dinâmica.

O segundo subsistema consiste na receção e envio dos dados para dispositivos móveis, através de uma aplicação, e/ou para um computador. Na aplicação serão calculados alguns parâmetros básicos sobre os dados recolhidos, tal como picos de sinal, contagem dos mesmos, determinação de intervalos de tempo entre os mesmos, possibilitando ao treinador e ao atleta uma monitorização contínua do exercício, em tempo real e em condições normais de treino, potenciando o desenvolvimento das capacidades físicas e técnicas dos atletas.

Este sistema permitirá ao utilizador ter uma perceção da força exercida em cada golpe, o tempo entre cada golpe ou o número de impactos durante um treino.

1.4 Organização e Estrutura da Dissertação

Nesta dissertação, é descrito o software e hardware capaz de cumprir todos os objetivos especificados, bem como o estudo de mercado realizado. Deste modo, este documento encontra-se estruturado em 6 capítulos, que são apresentados e descritos de seguida.

Assim, no capítulo 1, denominado “Introdução”, são apresentadas e explicadas as motivações e a necessidade que levou à proposta deste tema bem como um breve estudo levado a cabo no decorrer desta dissertação.

No capítulo 2, intitulado “Estado da Arte e Fundamentos Teóricos”, é apresentado o estudo de mercado que foi realizado para assim perceber o que já existe e que os atletas podem adquirir. Também neste capítulo é explicado o uso e funcionamento dos sensores, do hardware necessário e sobre o que são e para que servem as plataformas de desenvolvimento de aplicações móveis.

No capítulo 3, designado “Descrição do sistema e seleção de material”, é descrita a definição de requisitos e toda a seleção de material de *hardware*, *firmware* e *software*. Este capítulo é dividido em três grupos. No primeiro grupo é apresentado inicialmente os requisitos para a elaboração deste sistema bem como a arquitetura geral do sistema. Posteriormente, é exibido o hardware implementado, bem como as principais razões que levaram à escolha dos componentes utilizados. Seguidamente está explicada a arquitetura do sistema detalhadamente depois de ter sido escolhido todo o hardware e software.

No capítulo 4 é mostrado todo o processo de desenvolvimento do software para as plataformas selecionadas. Também neste capítulo é exibida toda a evolução do sistema bem como os resultados finais a que se chegou. Durante a apresentação dos resultados também será feita a discussão dos mesmos.

No capítulo 5, denominado “Melhorias, trabalho futuro e conclusão”, são apresentadas algumas sugestões de trabalho futuro com vista à melhoria de todo o sistema e as conclusões relativas à implementação deste trabalho, definidas as dificuldades encontradas na implementação e as soluções encontradas para ultrapassar essas mesmas dificuldades.

No capítulo 6, intitulado “Bibliografia”, são apresentadas as referências utilizadas durante esta dissertação.

2 ESTADO DA ARTE E FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Estudo do mercado

Nos dias em que vivemos, a busca da perfeição no que toca ao desempenho físico tornou-se quase uma obsessão, seja a nível profissional ou apenas de lazer. Assim sendo, o mercado de produtos de monitorização da performance é muito grande.

Na procura árdua de desenvolver a sua capacidade física, os atletas de alta competição treinam e aperfeiçoam as técnicas intensamente. De modo a conseguirem obter ganhos que lhes proporcionem vantagem competitiva chegam a condicionar os seus hábitos de vida.

Existem no mercado exemplos de produtos que permitem a monitorização de treino para ajudar neste objetivo.

O TRACAB [2] e o Prozone/Stats [3] são sistemas que, através do processamento de imagens, por intermédio de um conjunto de câmaras, compila inúmeros parâmetros tanto individuais como coletivos. Este sistema está a ser utilizado por muitas equipas de topo do futebol europeu.

Um produto muito recente é proposto pela empresa Athos, Figura 2. Este produto integra elétrodos no vestuário que os atletas utilizam de forma a obter o ritmo cardíaco e toda a atividade muscular durante uma sessão de treino. O registo da atividade muscular é um parâmetro de grande relevância para melhorar a performance [4].



Figura 2-Camisola da Athos [4]

A quantidade de produtos e projetos semelhantes é grande e impossível de esgotar aqui, sendo atualmente uma enorme explosão no mercado [5].

Relativamente a produtos relacionados com o trabalho aqui proposto, não há muito a assinalar.

O StrikeMeter, Figura 3, da Martial Arts Instruments é um dispositivo que se coloca na base de um saco de boxe de chão [6]. As limitações são a não utilização de uma unidade de medida do Sistema Internacional, a informação recolhida desaparecer muito depressa do display que os dispositivos possuem, a existência de um tempo de espera entre cada golpe efetuado (devido à recalibração do sensor). Isto leva à quebra do ritmo do atleta pois não permite monitorizar em tempo real o treino. Outra desvantagem é que não possibilita guardar para visualização posterior todo o treino efetuado e não é um sistema integrado no próprio saco de boxe.



Figura 3-StrikeMeter [6]

O Boxer Training Kit da LoadStart, Figura 4, faz o registo de todo o treino medindo a força e a frequência dos impactos, porém não é um saco de boxe e a transmissão de dados é realizada via USB para um PC [7].



Figura 4-Produto da LoadStar Sensors [7]

Outra proposta é a da empresa Corner, Figura 5, lançado no mercado este ano, que consiste na colocação de um acelerômetro de 3 eixos em cada uma das luvas do atleta [8]. Esta abordagem é ainda mais limitadora no que toca à reprodução das condições reais de treino. Por um lado, o registo é feito na luva e não no objeto que sofre o impacto e por outro lado não é possível medir a localização dos golpes. Este produto poderá causar um determinado desconforto e estranheza comprometendo o treino dos atletas.



Figura 5-Produto da Corner [8]

O ImpactWrap, Figura 6 , também lançado no mercado este ano, já possui a sua plataforma para ginásios disponível, porém a plataforma para atletas individuais encontra-se em pré-venda tendo como data de lançamento 2018. Este sistema também utiliza acelerómetros o que mais uma vez não permite a medição da força de impacto diretamente [9].



Figura 6-Impact Wrap [9]

2.2 Acelerómetros

Nos últimos anos tem existido uma grande evolução dos sensores. Um dos sensores que mais evoluiu foi o acelerómetro. Nesta dissertação foram utilizados para medir a força indiretamente, através de variação da aceleração. Estes sensores podem medir aceleração em até 3 eixos ortogonais, Figura 7, e são usados, habitualmente num dos três modos:

- Como medida inercial de velocidade e posição;
- Como um sensor de inclinação ou orientação em duas ou três dimensões, referenciado a partir da aceleração gravítica $g \cong 9,8 \frac{m}{s^2}$
- Como um sensor de vibração ou impacto.

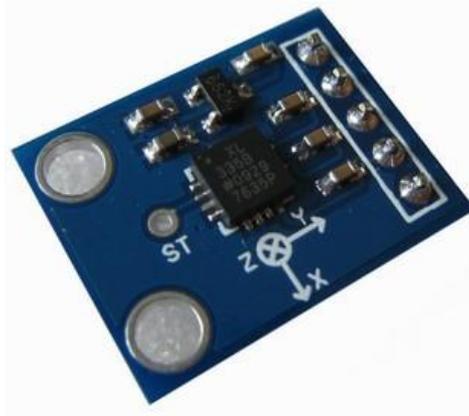


Figura 7-Break-Out de um Acelerómetro de 3 eixos [10]

A maioria dos acelerómetros são Micro-Electro-Mechanical Sensors (MEMS). O princípio básico de operação do acelerómetro MEMS é o deslocamento de uma pequena massa de prova, sob o efeito da aceleração a medir, gravada na superfície de silício do circuito integrado e suspensa por pequenas vigas[11].

2.2.1 Tipos de acelerómetros

Um acelerómetro analógico utiliza na sua maioria três princípios distintos para deteção de deslocamento de massa, uns utilizam transdutores capacitivos, outros o efeito piezoelétrico e outros a transdução piezoresistiva, sendo este último o mais comum.

2.2.1.1 Acelerómetros capacitivos

Para o fabrico deste tipo de transdutores, são colocadas duas placas condutoras com uma determinada distância entre si. O princípio é o de um condensador de placas paralelas, em que a distância entre as placas varia com o movimento da massa de prova, variando assim a capacidade do condensador. A capacidade é formada entre todo o corpo da massa de prova (*sense fingers*) e o corpo do elétrodo, como demonstra a Figura 8.

Esta variação é transformada numa variação de tensão por um circuito de condicionamento apropriado

Os acelerómetros capacitivos têm como principais vantagens o baixo ruído, menor dissipação de energia, larguras de banda maiores e baixa vulnerabilidade à variação da temperatura [12].

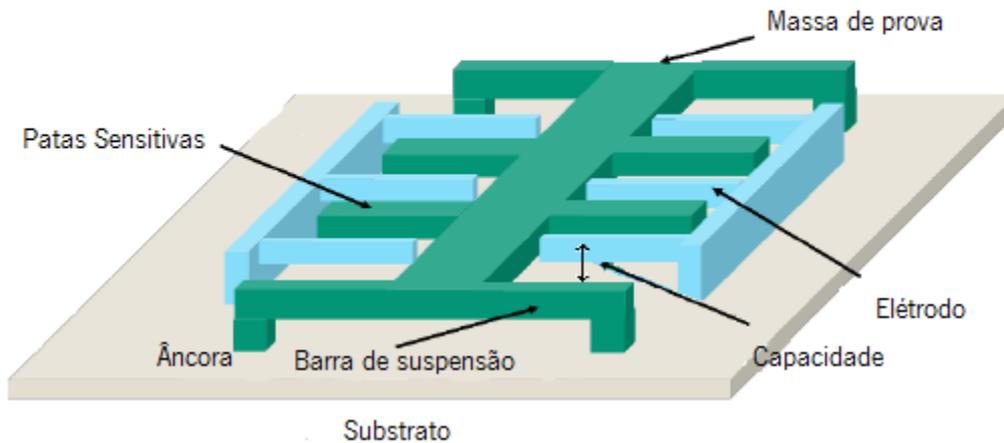


Figura 8-Acelerómetro Capacitivo [13]

2.2.1.2 Acelerómetros piezoelétricos

A detecção piezoelétrica é a capacidade de alguns cristais e outros materiais gerarem tensão elétrica por resposta a uma ação mecânica. À relação eletromecânica entre a força mecânica e o estado elétrico dá-se o nome de efeito piezoelétrico. Através de uma força mecânica aplicada gera-se uma carga elétrica interna, Figura 9. Num acelerómetro piezoelétrico, a carga acumula-se no material piezoelétrico sendo traduzida e amplificada para uma corrente ou tensão de saída.

Os acelerómetros piezoelétricos respondem a fenómenos como a vibração ou o choque. Estes têm uma ampla gama dinâmica, porém podem ser dispendiosos, consoante as características que possuem.

Os acelerómetros baseados em filmes piezoelétricos são mais adequados para medir os fenómenos anteriormente enunciados, do que fenómenos estáticos como a aceleração da gravidade. Estes acelerómetros são de menor custo e respondem a outros fenómenos como a temperatura, o que geralmente é um efeito indesejado [14].

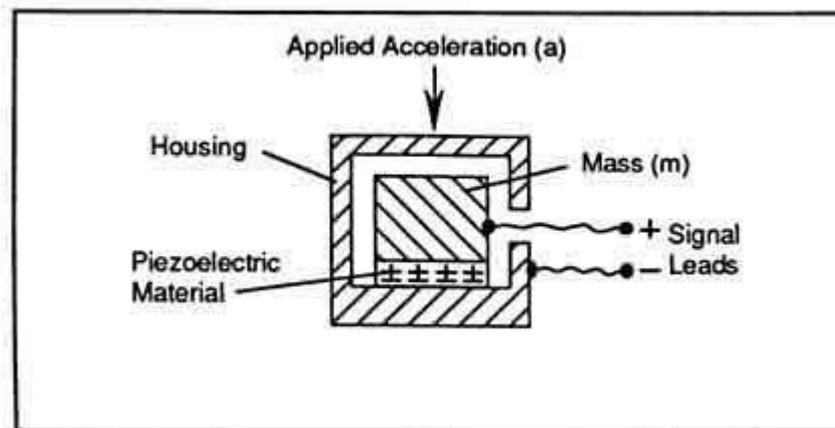


Figura 9-Acelerómetro Piezoelétrico [15]

2.2.1.3 Acelerómetros piezoresistivos

Inicialmente a construção de acelerómetros piezoresistivos era feita termicamente através de elementos piezoresistentes difundidos sob um elemento mecânico numa topologia de Wheatstone. Esta construção foi assim realizada para detetar forças inerciais.

Estes acelerómetros proporcionam uma boa sensibilidade, porém são suscetíveis às condições de temperatura.

Apesar da evolução tecnológica ter sido exponencial, os acelerómetros piezoresistivos mantiveram geometrias simples o que facilita a sua implementação e a sua sensibilidade, sendo estas as principais vantagens deste tipo de acelerómetros. [16]

2.2.2 Especificações dos acelerómetros

Um acelerómetro tem como especificações básicas: ser analógico ou digital, o número de eixos, a gama de saída, a sensibilidade, a faixa dinâmica, a largura de banda e a sua massa.

2.2.2.1 Analógico/Digital

Consoante a aplicação do acelerómetro escolher-se-á o tipo de saída, sendo esta das principais especificações. Os acelerómetros analógicos originam uma determinada tensão conforme a aceleração que lhe é aplicada. Inicialmente os acelerómetros digitais produziam uma onda quadrada modulada em largura de pulso. A aceleração é proporcional à largura de pulso do PWM. Atualmente os acelerómetros digitais geralmente fornecem os valores medidos usando protocolos como o I2C ou SPI.

2.2.2.2 Número de eixos

O número de eixos pode variar entre um e três eixos, sendo os acelerómetros de dois eixos os mais comuns. Porém os acelerómetros de três eixos são cada vez mais usados e de menor custo.

2.2.2.3 Gama de medida ou Faixa dinâmica

Como já referido anteriormente, dependendo da aplicação a utilizar, assim deve ser escolhido o acelerómetro. Para utilização como um sensor de inclinação, uma gama de medida de $\pm 1,5$ g é aceitável, no entanto para medições de impacto será necessária uma gama de ± 5 g ou superior.

2.2.2.4 Sensibilidade

A sensibilidade é a variação do sinal de resposta depois do acelerómetro ser submetido a uma aceleração.

2.2.2.5 Largura de banda

A largura de banda de um sensor é geralmente medida em Hertz (Hz) e indica o limite da resposta em frequência do sensor. Para utilização como sensor de inclinação, uma largura de banda de 0 a 40-60 Hz é aceitável. Por outro lado, para leituras de forças de impacto ou vibrações, a largura de banda deve-se situar nas centenas de Hertz.

2.2.2.6 Massa

A massa do sensor é um fator crítico. É recomendado que o dispositivo tenha uma massa pelo menos uma ordem de grandeza inferior à massa da peça na qual se quer medir a aceleração.

2.2.2.7 Outras especificações

- Zero g offset (saída de tensão a 0 g);
- Ruído (resolução mínima do sensor);
- Faixa de temperatura;
- Desvio de polarização com temperatura (efeito da temperatura na saída de tensão a 0 g);

- Desvio de sensibilidade com a temperatura (efeito da temperatura na saída de tensão por g);
- Consumo de energia [17].

2.3 Sensores de força

2.3.1 Sensores piezoresistivos

O efeito piezoresistivo só existe se ocorrer algum tipo de deformação. Devido a uma tensão mecânica aplicada no material condutor ou semicondutor sucede uma mudança na resistência elétrica.

Em termos históricos, *“em 1856, Lord Kelvin constatou que existia uma mudança de resistência nos dispositivos de metal carregados mecanicamente. Quase 100 anos depois, C.S. Smith relatou o efeito piezoresistivo no silício e no germânio em 1954”* [18].

Os sensores e transdutores utilizam o efeito piezoresistivo para detetar e medir variáveis.

O fabrico dos sensores piezoresistivos pode ser realizada de diversas maneiras, podendo ser utilizado resistências finas, silício monocristalino, e outras variações. A escolha destas variáveis depende tanto da aplicação como do orçamento disponível.

De acordo com a Maxim Integrated Products, *“os sensores monocristalinos de pressão de silício tornaram-se amplamente utilizados ultimamente”*. Através da utilização de semicondutores, Figura 10, conseguiu-se um incremento na sensibilidade em relação à maioria dos sensores piezoelétricos[18]

Estes sensores têm algumas limitações, como o facto de possuírem dependência não-linear do sinal para temperaturas até 1%/Kelvin e offsets com a temperatura [19].

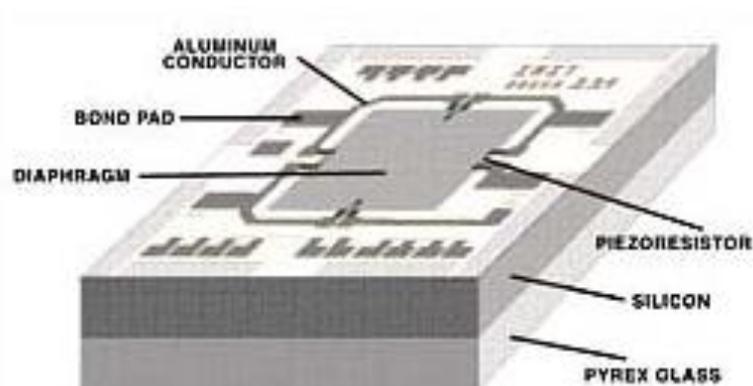


Figura 10-Sensor piezoresistivo [18]

2.3.2 Velostat

O Velostat é fabricado pela 3M [20] e é um material piezoresistivo. Este material é um polímero embebido de carbono e opaco, Figura 11. Os seus atributos elétricos não são afetados com o passar dos anos nem com a humidade.



Figura 11-Velostat da 3M [21]

Quando o Velostat é colocado entre duas camadas de um outro material condutor forma um sensor piezoresistivo flexível [22], Figura 12.

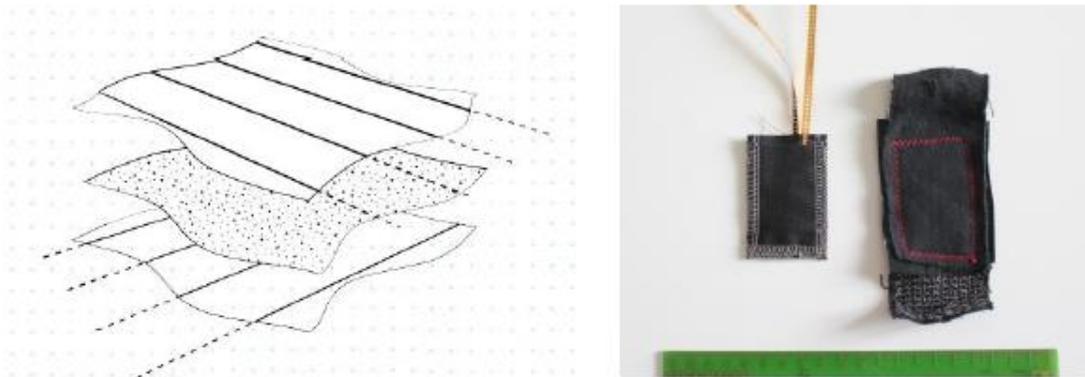


Figura 12-(Esquerda)Estrutura de um tecido sensível à pressão feito de duas camadas externas com padrões condutores ortogonais e um Velostat (3M como camada intermediária. (Direita). Dois sensores piezoresistivos baseados em processo de malha com fios metálicos diferentes: aço e cobre [22]

2.3.3 Outras tecnologias no mercado

Existem muitas empresas que estão atualmente a apostar constantemente no mapeamento de forças.

A empresa PPS - Pressure Profile Systems já possui sistemas como o que está apresentado na Figura 13, que permitem a medição da força exercida por cada parte da planta do pé.

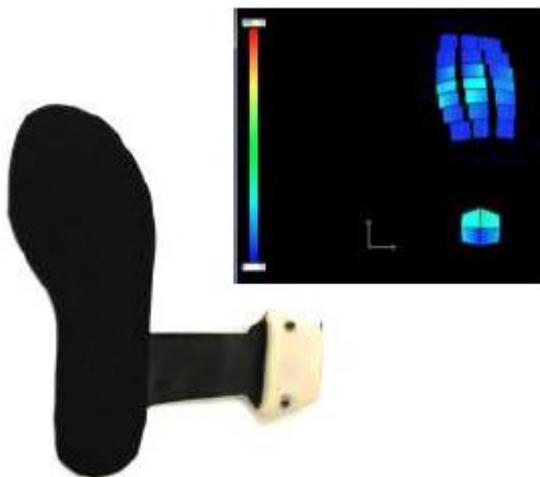


Figura 13-Sensor de pressão para o pé [23]

A empresa Tekscan desenvolveu por sua vez uma capa, Body Pressure Measurement System™ para testar ergonomicamente os estofos de carros ou sofás. Podemos visualizar a capa bem como os resultados que podem ser obtidos na Figura 14.

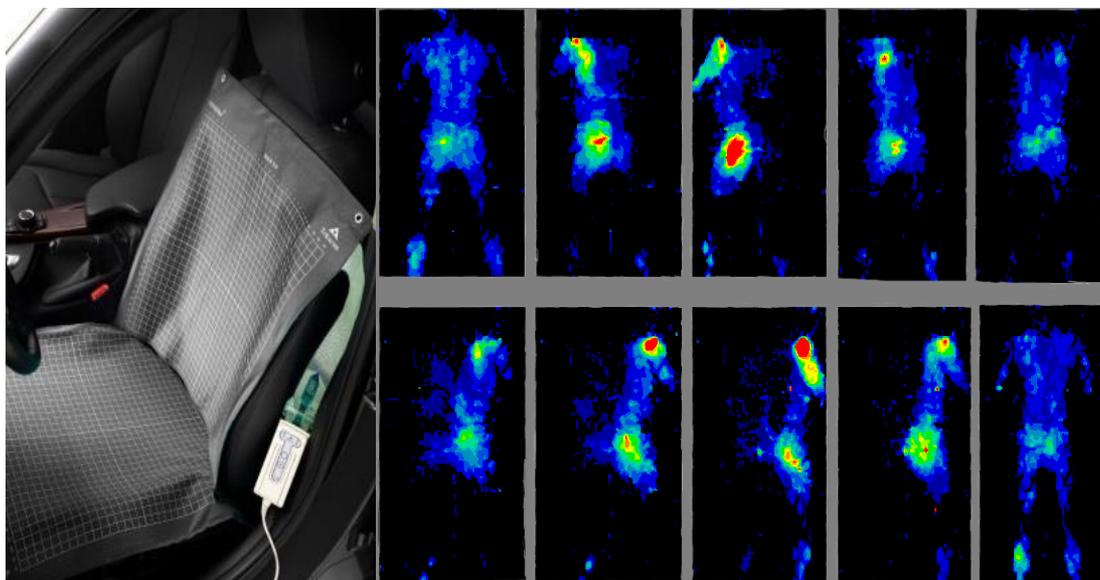


Figura 14-Produto da Tekscan e resultados [24]

A Kitronyx desenvolveu várias matrizes com sensores sendo que o maior tem 240mm x 240mm de área ativa e custa 500 dólares. Um exemplo deste sensor está presente na Figura 15.

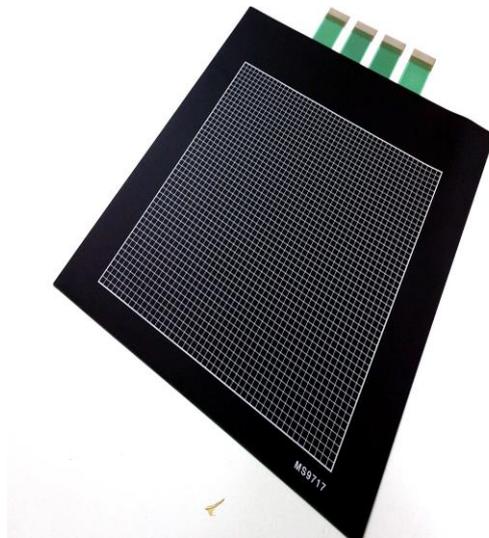


Figura 15-MS9717 Mid Area FSR Matrix Array Sensor [25]

Todos estes produtos podiam ser facilmente integrados no sistema que se implementou, porém, como um dos objetivos era ser o mais económico possível, foram descartadas estas hipóteses e optou-se pela construção do sensor.

2.4 Sistemas de condicionamento de sinal

Os sistemas de condicionamento de sinal servem para tratar um sinal de um transdutor de modo a que ele possa ser transmitido, apresentado ou gravado. Para isso os sinais medidos pelos sensores passam posteriormente por estes sistemas de condicionamento. Nestes sistemas de condicionamento de sinal, os sinais recolhidos dos sensores podem ser afetados de diversas maneiras, tais como serem amplificados, filtrados, modulados, entre outros.

Na maioria das vezes as saídas dos sensores são analógicas. Para resolver isto os conversores analógicos para digitais (ADC's) produzem um código digital do sinal analógico. Por norma os ADC's têm uma impedância pequena e exigem que o sinal de entrada seja em corrente contínua. Geralmente os ADC's possuem uma amplitude que não excede o intervalo entre -10 e +10 Volt. Como muitas vezes os sensores têm variações na ordem dos miliVolt, existe uma necessidade destes sinais serem condicionados antes de serem passados aos ADC's.[26]

Dependendo da finalidade do uso do sensor assim existem diversos métodos de condicionamento de sinal.

2.5 Transmissão sem fios

A comunicação sem fios é uma forma de comunicação que não necessita de nenhuma ligação física entre os dispositivos que pretendem comunicar. Os sinais provenientes destes dispositivos propagam-se pelo ar, sendo recebidos por antenas apropriadas.

Depois da existência de uma conexão entre um dispositivo sem fios ou um computador e uma antena, esta converte os dados em sinais sem fios. Por sua vez, o recetor recebe esses mesmos sinais e converte-os de novo para sinais digitais, Figura 16.

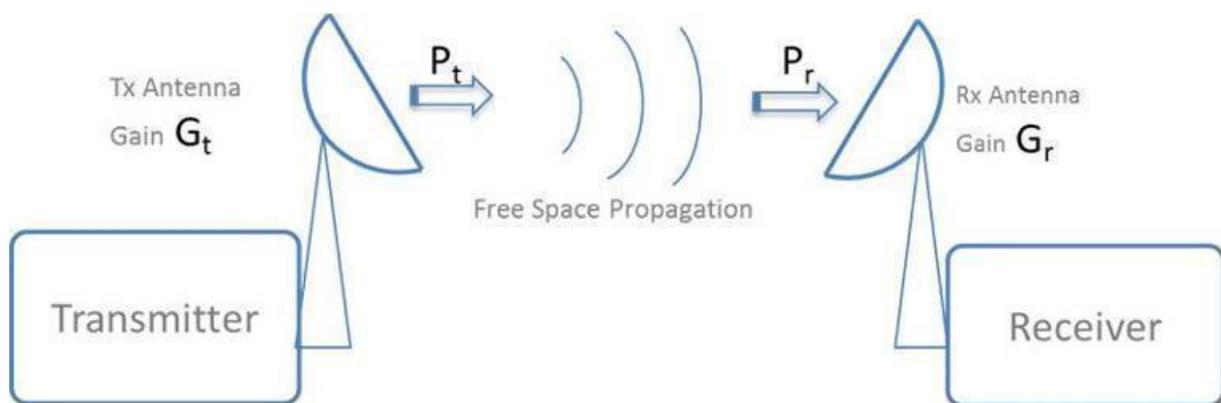
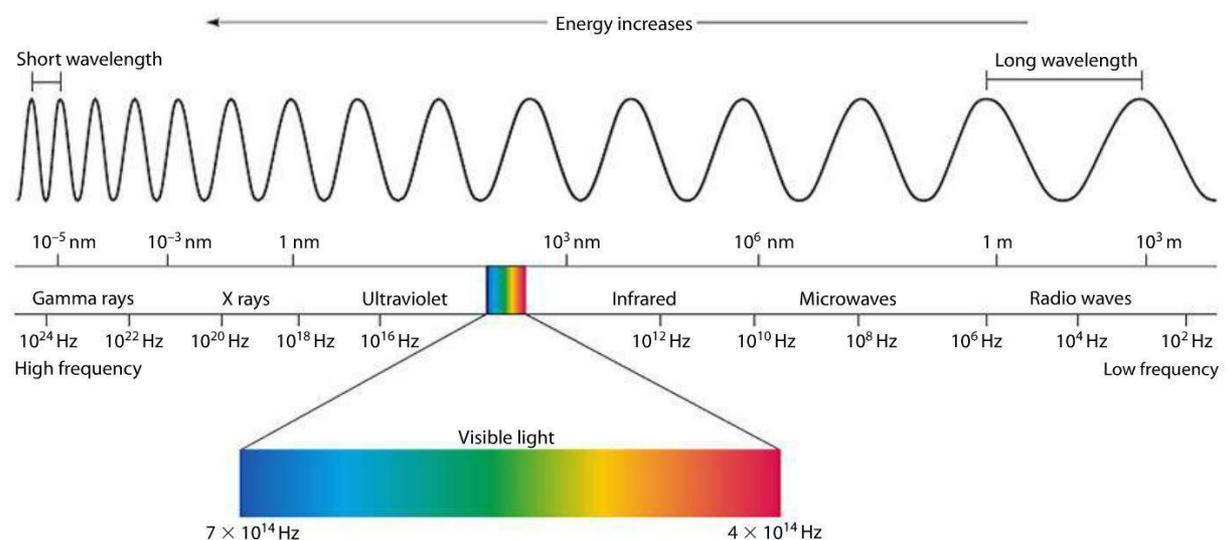


Figura 16-Transmissão sem-fios [27]

As transmissões sem fios apenas podem ser feitas numa pequena parte do espectro eletromagnético [28], Figura 17



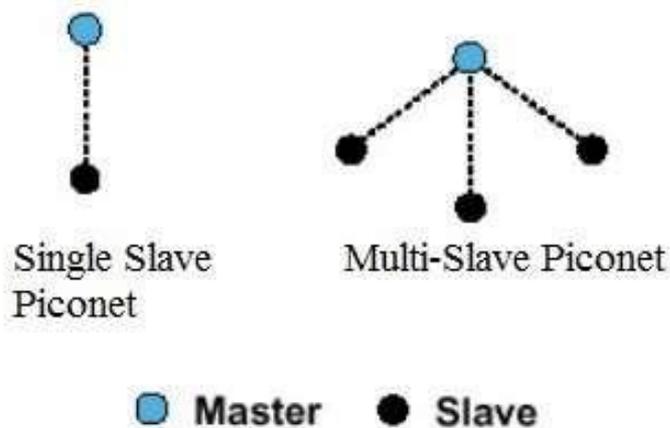
2.5.1 Bluetooth

O Bluetooth é usado para troca de dados entre dispositivos fixos e móveis e construção de redes de área pessoal. Estas trocas são realizadas a pequenas distâncias e funcionam através de ondas Rádio de onda curta no espectro eletromagnético no intervalo de 2,402 GHz até 2,480 GHz, tal como o ZigBee e o Wi-Fi.

Esta tecnologia foi criada pelo fornecedor de telecomunicações Ericsson em 1994 para substituir a utilização dos cabos RS-232 que eram utilizados até então para a troca de dados.[30]

Nas redes Bluetooth, o controlo de envio de dados é feito através de um modelo *Master/Slave*. Tal como demonstrado na Figura 18, o dispositivo configurado como *Master* pode ser conectado a até sete outros dispositivos configurados como *Slave*, porém um dispositivo configurado como *Slave* pode ser conectado apenas a um *Master*.

Como os próprios nomes indicam, o *Master* coordena toda a rede podendo pedir ou enviar dados a todos os dispositivos *Slave*. Estes últimos só podem enviar e receber dados do *Master*, isto é, não comunicam com os outros *Slaves* da rede de Bluetooth.



O endereço de cada dispositivo Bluetooth é um número em hexadecimal de 12 dígitos. Os primeiros 6 dígitos identificam o fabricante do dispositivo e os últimos 6 dígitos são a parte exclusiva do endereço.

Para facilitar a visualização por parte do utilizador, muitos dispositivos Bluetooth possuem nomes, que não podem ultrapassar os 248 bytes, e que são apresentados em vez do endereço.

O processo de conexão passa por três fases:

- 1- **Procura** – Esta fase acontece quando dois dispositivos não se conhecem. Assim o dispositivo envia um pedido e qualquer dispositivo nas proximidades que receber esse pedido envia o seu endereço e/ou nome.
- 2- **Paginação (conexão)** – Antes de ser iniciada a conexão entre dois dispositivos, estes têm que conhecer o endereço um do outro. A este processo junto com o processo de formar uma conexão chama-se Paginação.
- 3- **Conexão** – Depois de conectado, o dispositivo pode ser colocado em vários modos:
 - *Modo ativo* – Neste modo o dispositivo pode transmitir ou receber dados;
 - *Modo sniff* – Neste modo o dispositivo escuta transmissões num intervalo definido;
 - *Modo hold* – Neste modo o dispositivo fica inativo durante um período definido de tempo voltando em seguida ao modo ativo;
 - *Modo park* – Neste modo o dispositivo *Master* pode comandar quando o dispositivo *Slave* está ativo ou inativo.

Depois de se conectarem a primeira vez, as informações, tal como o endereço, o nome e perfis, são geralmente guardadas na memória, criando-se uma ligação. Esta ligação permite que no futuro estes mesmos dispositivos se conectem automaticamente quando estiverem nas proximidades um do outro.

O alcance de uma transmissão varia de acordo com a classe de potência do dispositivo Bluetooth. Existem três classes diferentes (classe 1 (alcance de 100 metros), classe 2 (alcance de 10 metros) e classe 3 (alcance de 10 centímetros)), sendo que os módulos Bluetooth podem trabalhar numa ou várias dessas classes.

Para simplificar a interação entre os dispositivos foram criados os perfis que são protocolos adicionais que definem como o Bluetooth é usado. Para dois dispositivos serem compatíveis têm que ter o mesmo perfil. Existem diversos perfis, os mais comuns são o Serial Port Profile (SPP), o Human Interface Device (HID), o Hands-Free Profile (HFP), o Headset Profile (HSP), o Advanced Audio Distribution Profile (A2DP) e o A/V Remote Control Profile (AVRCP).

Desde a sua criação o Bluetooth tem evoluído constantemente, e tendo passado por várias versões até chegar ao mais recente Bluetooth v4.0 e Bluetooth Low Energy (BLE). Esta versão permite a economia de energia. Esta especificação é muito importante em sistemas que trabalham a baterias.

2.5.2 Bluetooth Low Energy

O Bluetooth utilizado nesta dissertação é o Bluetooth 4.0 que possui o protocolo Bluetooth Low Energy (BLE) [32].

O protocolo BLE foi criado com a finalidade de transmitir pequenos pacotes de dados em simultâneo, enquanto consome significativamente menos energia do que os módulos Bluetooth que possuem protocolos de comunicação anteriores ao BLE. Isso permite que o módulo possa ser integrado numa aplicação em que o consumo de energia é uma das restrições mais importantes.

Quando comparado com o Bluetooth clássico, verifica-se que é mais rápido em questão de emparelhamento e a voltar a conectar-se, quando a conexão por algum motivo foi interrompida. Quando, por exemplo, numa rede em que se possui Bluetooth com o protocolo clássico e com o novo protocolo (BLE) nunca se pode ter o BLE como um “*slave*” do Bluetooth clássico pois não será possível a comunicação entre eles, mas na configuração inversa, o BLE como “*master*” de uma Bluetooth clássico, a comunicação entre eles já é possível[33].

O Generic Access Profile, GAP, controla e determina a visibilidade de um dispositivo e se dois dispositivos podem ou não se conectar. Para se entender melhor o GAP, existem dois conceitos principais que são os dispositivos centrais, tais como um telemóvel ou um computador, e os dispositivos periféricos que por norma são dispositivos de baixa potência que são emparelhados com um dispositivo central, tal como uma *smartband*.

O GAP possui dois tipos de *payload*, a carga útil de dados e a carga útil de resposta. Apesar de ambas as cargas terem a mesma capacidade de 31 bytes, somente a carga útil de dados é obrigatória pois é constantemente transmitida de forma a que outros dispositivos saibam da sua existência. A carga de resposta só é enviada caso o dispositivo central o solicite e geralmente contém uma *string* com dados como o nome do dispositivo.

Na Figura 19 está um exemplo de como são realizadas os pedidos e respostas por parte dos dispositivos centrais e periféricos.

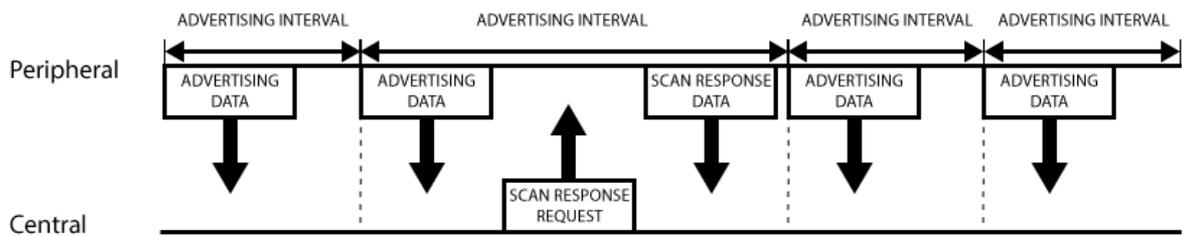


Figura 19-Funcionamento das cargas no GAP [34]

O dispositivo periférico estabelece um intervalo específico de envio de carga útil de dados, e se esse tempo for ultrapassado esse mesmo periférico volta a transmitir o pacote. Para uma maior economia de energia esse intervalo deve ser mais longo, a capacidade de mostrar que está visível fica afetada.

Como já referido anteriormente, se um dispositivo central estiver interessado na carga de resposta, este pode solicitar e o periférico responde com esses dados como pode ser verificado na Figura 19.

Apesar de na maioria dos casos os periféricos se anunciarem e assim os serviços e características do GATT serem usados, existem situações em que somente interessa o envio de dados. Essas situações são geralmente o envio de dados por parte de um periférico para vários dispositivos centrais.

Para estes casos usa-se a topologia Broadcast, que está apresentada na Figura 20. Esta topologia consiste em colocar uma pequena quantidade de dados personalizados nas cargas de 31 bytes ou de resposta e assim enviar dados de um periférico para qualquer dispositivo central que esteja ao seu alcance.

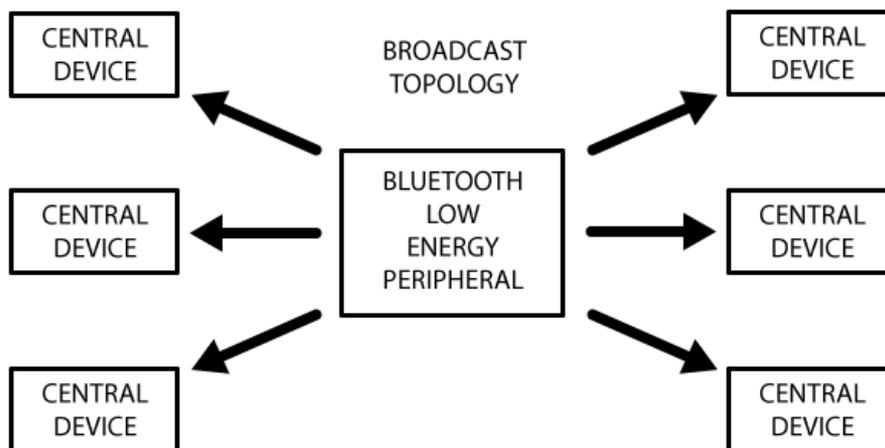


Figura 20-Topologia Broadcast [34]

Depois de uma conexão ser estabelecida, este processo irá parar e irão ser utilizados os serviços GATT e as características para a comunicação entre o periférico e o dispositivo central.

Ao relacionamento entre um periférico e um dispositivo central dá-se o nome de relacionamento servidor/cliente. O periférico é designado como Servidor GATT e contém os dados de pesquisa GATT e as definições de serviço e característica e o dispositivo central é conhecido como Cliente GATT. O Cliente envia as solicitações para o Servidor.

Qualquer transmissão de dados é iniciada pelo *Master* (Cliente GATT), ao qual o *Slave* (Servidor GATT) responde.

Ao estabelecer uma ligação, o periférico pode sugerir um “Intervalo de Conexão” ao Cliente e este por sua vez tentará conectar-se ao periférico a cada tempo de intervalo e obter novos dados ou simplesmente ficar sempre conectado ao periférico.

A Figura 21 ilustra um processo de troca de dados entre o Servidor GATT e o Cliente GATT

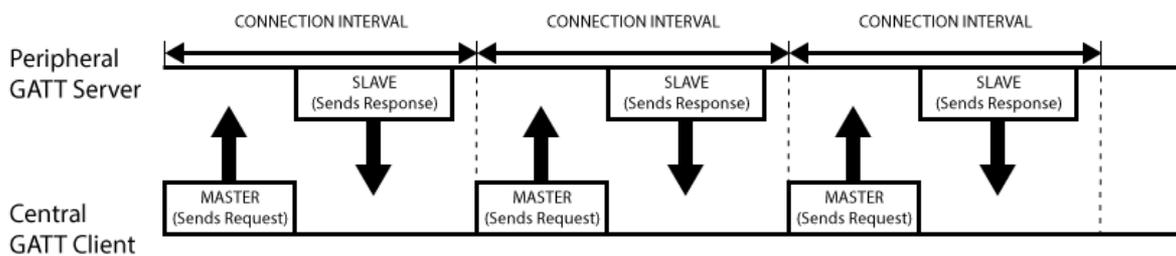


Figura 21-Troca de dados Servidor/Cliente [34]

As trocas de dados GATT no BLE são baseadas em objetos de alto nível. Estes objetos podem ser *Profiles*, *Services* ou *Characteristics*, como está ilustrado na Figura 22.

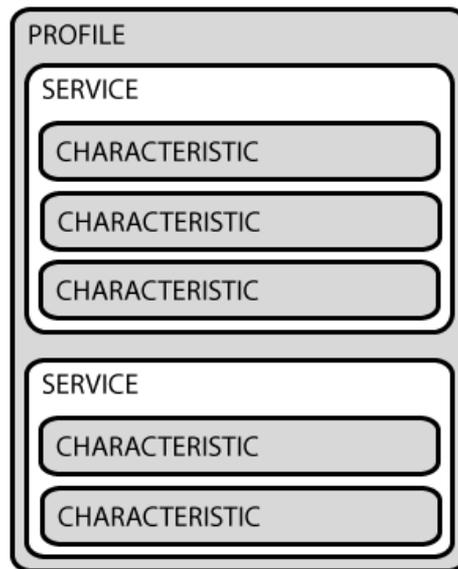


Figura 22- Exemplo de um objeto de transação GATT [34]

Um perfil é uma coleção de serviços compilada pelo Bluetooth SIG.

Os serviços contêm fragmentos específicos de dados designados de características. Um serviço pode ter várias características que se distinguem por um ID que pode ser de 16 bits para serviços BLE oficialmente adotados ou de 128 bits para serviços personalizados.

Na camada mais baixa das trocas de dados GATT está a característica. Tal como nos serviços, cada característica é distinguida de outra através de um ID de 16 bits ou 128 bits. As características são o principal ponto onde um utilizador irá interagir com um periférico BLE e também são usadas para enviar dados de volta para o Servidor GATT.

3 DESCRIÇÃO DO SISTEMA E SELEÇÃO DE MATERIAIS

Neste capítulo é apresentado o desenvolvimento do sistema de sensorização integrado num saco de boxe. Este debruça-se sobre a definição de requisitos, a escolha da placa de desenvolvimento, a evolução da construção do sensor piezoresistivo, a implementação do sistema de condicionamento de sinal, a aquisição de sinais através do acelerómetro e o resultado final incluindo o hardware utilizado com todas as conexões físicas necessárias ao seu funcionamento. Numa última fase da descrição do hardware utilizado será descrita a plataforma utilizada para o desenvolvimento da interface gráfica com o utilizador.

Ao longo deste capítulo será ainda apresentada uma caracterização do software implementado. O software implementado divide-se em três grupos distintos, sendo estes a aquisição de dados, o tratamento a informação adquirida e a interface gráfica produzida. O software foi criado com o recurso a duas plataformas diferentes, tendo sido necessário recorrer à troca de informação entre estas plataformas. No decorrer do capítulo são também referidas as tramas de comando e as tramas de dados implementadas.

3.1 Arquitetura do sistema

3.1.1 Definição de requisitos

Para a implementação do sistema aqui proposto tiveram de ser definidos requisitos de forma a serem selecionados todos os componentes necessários.

Como o sistema aqui proposto tem um potencial de mercado muito grande, o custo de produção é um dos requisitos fundamentais. Tendo isto em conta e depois do estado de arte apresentado sobre os sensores de força, decidiu-se utilizar os sensores piezoresistivos construídos com Velostat e tecido condutor por serem de baixo custo quando comparados com os sensores piezoelétricos encontrados no mercado.

Outro dos requisitos importantes era o consumo de energia que deve ser baixo tendo em conta vir a ser um produto comercializável. Assim, foi escolhido um módulo Bluetooth BLE (Bluetooth Low Energy).

Para fazer a aquisição de sinal era necessário um microcontrolador com quatro entradas conversoras analógicas/digitais (ADC): uma para o sensor piezoresistivo, depois do sinal por este

adquirido passar para um circuito condicionador de sinal e três para os sinais adquiridos pelo acelerômetro nos eixos x, y e z. A frequência de amostragem deverá ser de 4 kHz, 1 kHz para cada canal.

3.1.2 Arquitetura geral

A informação sobre o desempenho dos atletas é muito importante porque permite a personalização dos treinos, adaptando-os a cada atleta. O objetivo é transmitir a informação adquirida pelos sensores via Bluetooth para uma aplicação móvel ou computador e assim o atleta adequar o treino às suas dificuldades (Figura 23).



Figura 23-Arquitetura geral do sistema

3.2 Seleção de hardware

3.2.1.1 Arduino Mega 2560

Para a aquisição dos dados recolhidos pelos sensores foi utilizada uma placa de desenvolvimento da Arduino, modelo Mega 2560, Figura 24. Esta placa utiliza um microcontrolador baseado no ATmega2560. Possui 54 pinos de entrada/saída (dos quais 15 podem ser utilizados como saídas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (portas série de hardware), um oscilador com um cristal de 16 MHz, uma conexão USB, uma tomada de energia, um cabeçalho ICSP e um botão de reiniciar.



Figura 24-Arduino Mega 2560 [35]

O processador ATmega2560 pode ser alimentado entre 1,8 Volt e 5,5 Volt e possui uma memória FLASH de 256 KBytes e uma Ram de 8192 bytes. Este processador tem 9 periféricos de comunicação (4-UART, 5-SPI e 1-I2C) e 6 Timers (2 x 8-bit e 4 x 16-bit).

3.2.1.2 Acelerómetro

O acelerómetro usado nesta dissertação foi o MMA7361L Module que está representado na Figura 25. Este acelerómetro de 3 eixos está inserido numa *breakout board* com as dimensões de 17.8 mm por 12.7 mm por 1.6 mm, é alimentado a 3.3 V e consome uma corrente de 400 uA e mede entre $\pm 6g$.



Figura 25-MMA7361L Module

3.2.1.3 Módulo de comunicação Bluetooth

Para a transmissão de dados entre a placa de desenvolvimento e o dispositivo móvel foi utilizada o módulo Tinysine Bluetooth 4.0 BLE (Figura 26) que utiliza uma frequência de 2,4 GHz, é alimentado a 3,3 Volt ou 5 Volt, tem um consumo de cerca de 9,5 mA em média e um alcance de 100 metros em espaço aberto. Trabalha com autenticação e criptografia a nível de segurança de comunicação e tem como método de modulação o GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying).



Figura 26-Tinysine Bluetooth 4.0 BLE module[36]

3.2.1.4 Circuito de Condicionamento de Sinal

O circuito de condicionamento, que irá condicionar o sinal proveniente do sensor piezoresistivo de força, é uma montagem não-inversora em que R_s simboliza o sensor de força (Figura 27). O amplificador operacional utilizado foi o LM324N, que é alimentado a 5V (*single power supply*). As resistências R_2 e R_3 regulam o offset e formam a tensão que é amplificada pelo ganho determinado pelo sensor. O sensor de força é uma das resistências do circuito inversor, podendo a tensão de saída ser proporcional ou inversamente proporcional à resistência do sensor, dependendo se este está colocado em R_s ou R_1 .

A equação (1) mostra como é calculada a tensão de saída do circuito de condicionamento de sinal.

$$V_{out} = 5 \frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_s}\right) \quad (1)$$

A resistência R_1 tem que ser dimensionada consoante a resistência inicial e final do sensor de força, isto é, a resistência do sensor em repouso e quando lhe está a ser aplicada a força máxima.

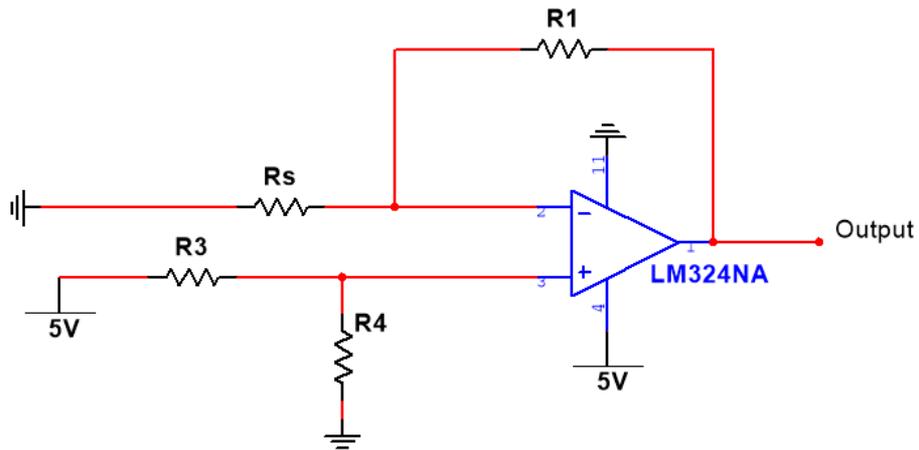


Figura 27-Esquema elétrico do circuito de condicionamento

Depois de montado numa *veroboard* o resultado final está apresentado na Figura 28.

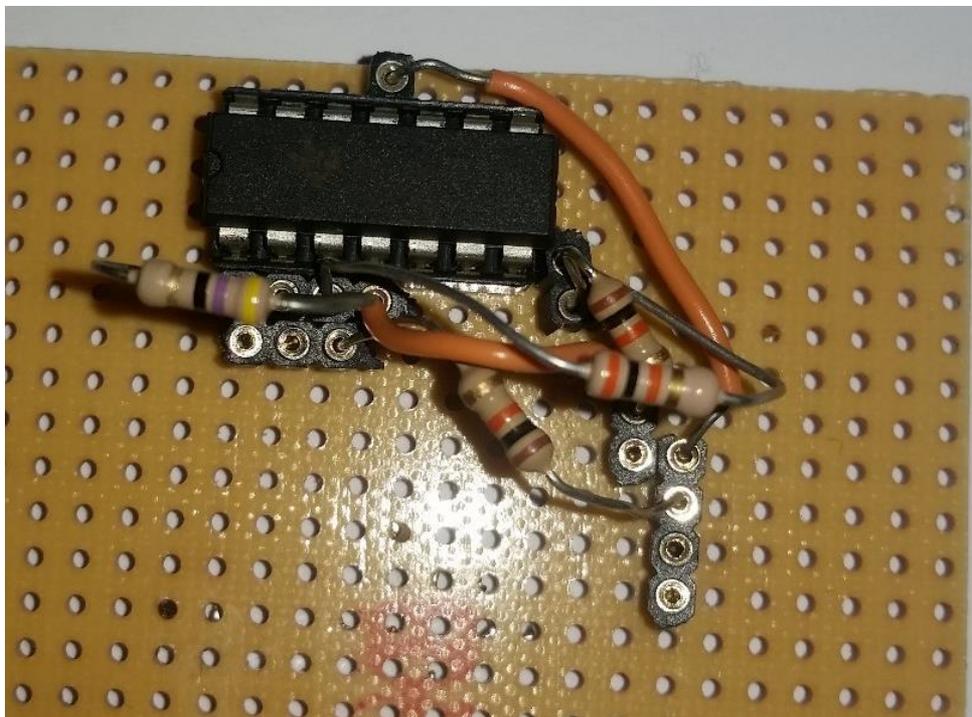


Figura 28-Circuito de condicionamento na Veroboard

3.3 Seleção de software

No que toca ao software a desenvolver, o objetivo passa por recolher dados e exibi-los na aplicação Android. Para isso foram criados dois modos de treino: o Treino Normal e o Treino de Reação.

O treino normal consiste num treino com a duração de cinco minutos em que são registados todos os impactos, bem como a força de cada um deles e exibidos na aplicação desenvolvida. No diagrama sequencial da Figura 29 pode-se observar as interações entre cada um dos atores e os objetos do sistema.

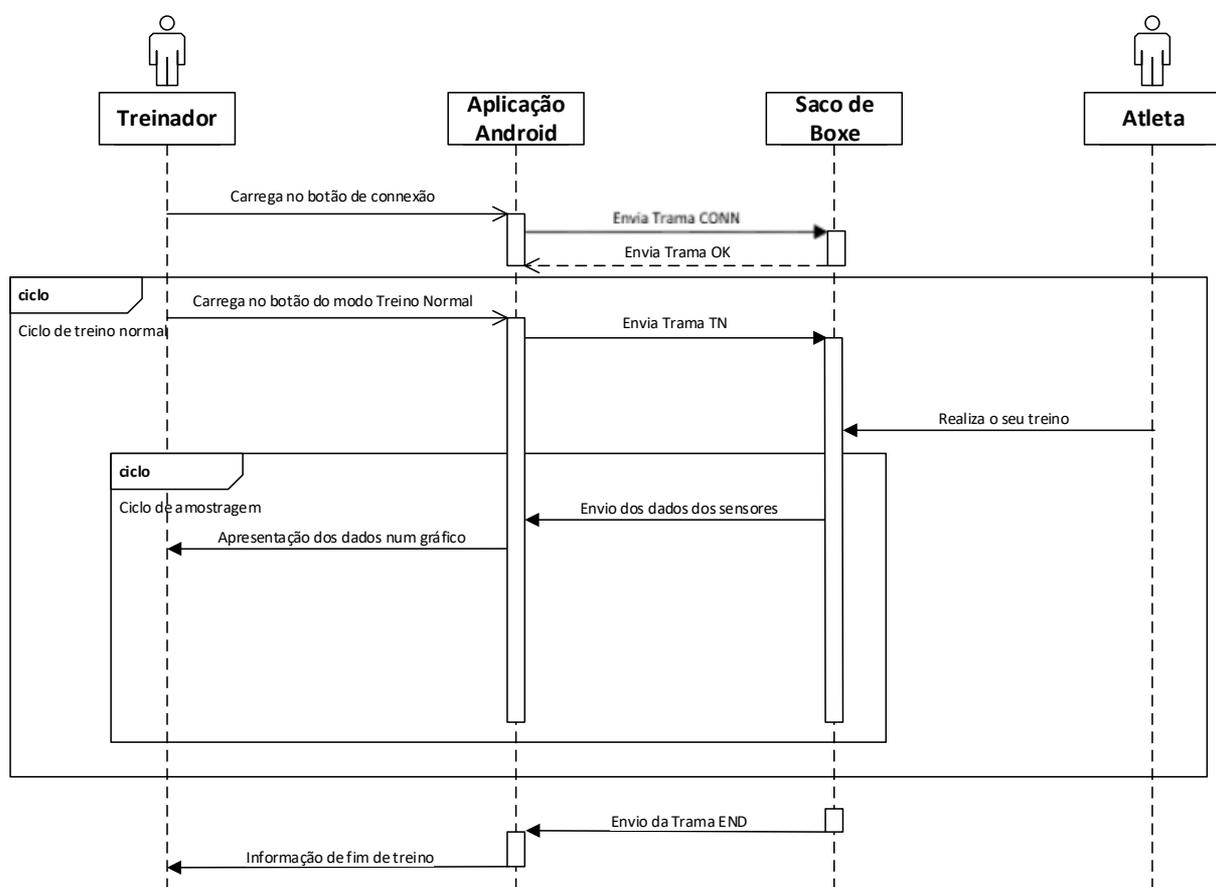


Figura 29-Diagrama Sequencial de um treino normal

O treino de reação não estava nos objetivos iniciais desta dissertação, mas fornece informação pertinente para a avaliação dos atletas. Este serve para o utilizador conseguir treinar o seu tempo de reação. Para isso, é acendida uma fita de leds colocada na malha que envolve o saco e cronometrado o tempo entre o momento em que é acendida a fita de leds e o momento em que o utilizador golpeia o

saco. Esse tempo é posteriormente enviado junto com os dados recolhidos pelos ADC's no momento do impacto. Pode-se ver todas as interações no diagrama sequencial apresentado na Figura 30.

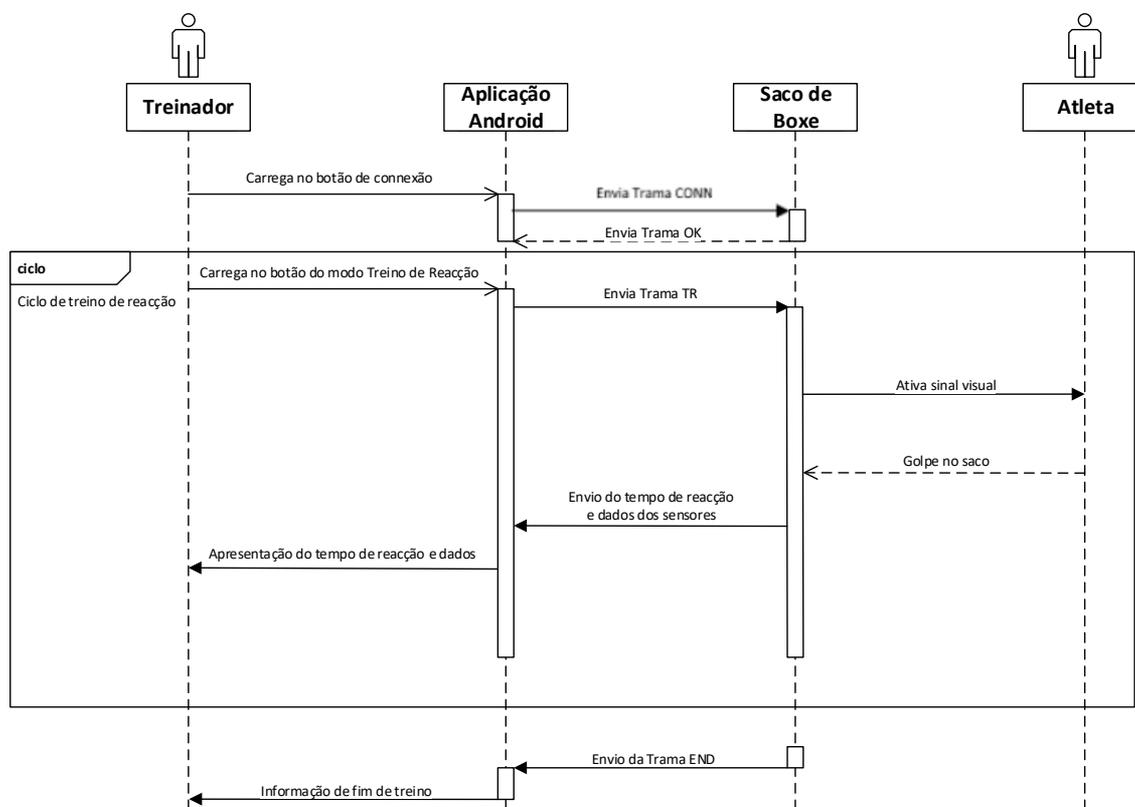


Figura 30-Diagrama sequencial de um treino de reação

3.3.1.1 Plataforma de desenvolvimento móvel

A plataforma de desenvolvimento móvel utilizada foi o Android Studio (Figura 31). Primeiramente foi escolhido o sistema operativo Android porque os dispositivos móveis disponíveis tinham este sistema operativo. Depois de entre muitas plataformas de desenvolvimento, para Android, escolheu-se o Android Studio porque oferece as ferramentas mais rápidas, possui um sistema flexível de compilação, um sistema de depuração e uma edição de código bastante simples em comparação com outros como é o caso do Eclipse.



Figura 31-Android Studio

3.3.1.2 Comunicação de Dados e Tramas Produzidas

Para realizar a troca de dados entre a placa de desenvolvimento e o dispositivo móvel foi utilizada uma comunicação Bluetooth.

Para efetuar esta comunicação foi definido que o processador presente na placa de desenvolvimento seria o servidor e o dispositivo móvel seria o cliente. Desta forma o cliente envia pedidos de informação para o servidor e aguarda os dados que foram requisitados.

Para formular a comunicação entre o cliente e o servidor foi criada uma trama de comando, possuindo apenas um byte, que representa o pedido de informação realizado. Esta trama de comando é enviada do cliente para o servidor. Na Tabela 1 estão presentes os comandos enviados para o servidor e uma pequena descrição do que estes comandos estão a requerer.

Tabela 1-Comandos enviados pelo sistema interface para o servidor

| | | |
|-------------------|--|---|
| Trama CONN | <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">00xx xxxx</div> 1 byte | É enviada para o servidor quando o cliente pretende conectar-se com o servidor. |
| Trama TR | <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">01xx xxxx</div> 1 byte | É enviada para o servidor quando o cliente pretende iniciar um treino de reação. |
| Trama TN | <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">10xx xxxx</div> 1 byte | É enviada para o servidor quando o cliente pretende iniciar um treino de normal. |
| Trama Stop | <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">11xx xxxx</div> 1 byte | É enviada para o servidor quando o cliente pretende acabar um treino antes do tempo estipulado. |

O processador ATmega2560 necessita de estar permanentemente ativo de forma a responder positivamente a todos os pedidos de dados provenientes do dispositivo móvel.

O servidor responde a todos os pedidos sempre com a mesma estrutura de trama, sendo esta definida por um byte, que possui o identificador do tipo de resposta que envia ao cliente, seguido por um conjunto de bytes de dados. O primeiro byte foi implementado de forma a informar o cliente sobre o tipo de trama que está a receber. Quanto ao conjunto de bytes de dados estes podem possuir três tamanhos, dependendo unicamente da informação que o servidor está a enviar.

A trama enviada pelo servidor que responde ao pedido de conexão (trama CONN), denominada de Trama OK, é constituída por um único byte com o valor 000 nos três primeiros bits predefinido, tal como mostra a Figura 32

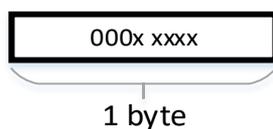


Figura 32-Trama OK

A trama enviada pelo servidor com os dados adquiridos aquando de um treino normal segue o formato da Figura 33. Esta é composta por um ID que é o primeiro byte e é constituído pelo valor 001 nos três primeiros bits. Os outros 5 bytes são ocupados com os valores dos 4 ADC's lidos, sendo que cada valor possui uma resolução de 10 bits. Esta trama tem um tamanho de 6 bytes. Este tamanho nunca altera.

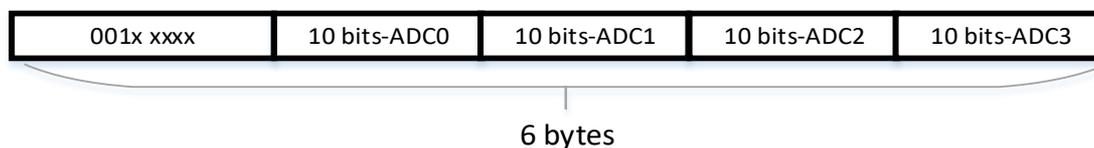


Figura 33-Formato da trama de envio de dados de um treino normal

A trama enviada pelo servidor com os dados adquiridos aquando de um treino de reação segue o formato da Figura 34. O formato é parecido com o formato da trama da Figura 33. Esta é composta por um ID que é o primeiro byte e é constituído pelo valor 010 nos três primeiros bits. Os dois bits menos significativos do primeiro byte são utilizados como os dois bits mais significativos do valor do

timer que lê o valor do tempo de reação. O valor deste timer pode ocupar 18 bits como demonstrado na figura abaixo. Os outros 5 bytes são ocupados com os valores dos 4 ADC's lidos, sendo que cada valor possui uma resolução de 10 bits, tal como no caso anterior.

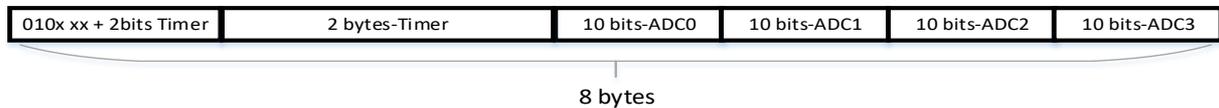


Figura 34-Formato da trama de envio de dados de um treino de reação

A trama enviada pelo servidor denominada de Trama Fim, é constituída por um único byte com o valor 011 nos três primeiros bits predefinido, tal como mostra a Figura 35. Esta trama marca o fim do tempo de treino. É enviada quando o Timer que controla a duração do tempo chega a zero.

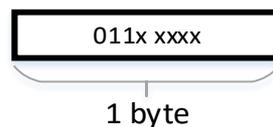


Figura 35-Trama Fim

A trama enviada pelo servidor denominada de Trama Nack, é constituída por um único byte com o valor 100 nos três primeiros bits predefinido, tal como mostra a Figura 36. Esta trama é enviada ao cliente se o servidor não conseguir interpretar alguma mensagem de comando proveniente do cliente.

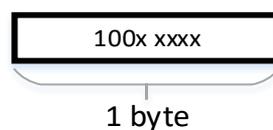


Figura 36-Trama Nack

3.4 Definição da arquitetura final do sistema

O sistema de sensorização integrado num saco de boxe, proposto com a realização desta dissertação, é constituído por um sensor piezoresistivo que abrange a grande parte da área da superfície do saco de boxe, um acelerómetro de 3 eixos, uma placa de condicionamento de sinal, uma placa de aquisição e transmissão da Arduino, um modulo Bluetooth BLE 4.0 e um dispositivo móvel. Na Figura

37 está apresentado o hardware utilizado no desenvolvimento deste sistema de sensorização e as interligações dos componentes em questão.

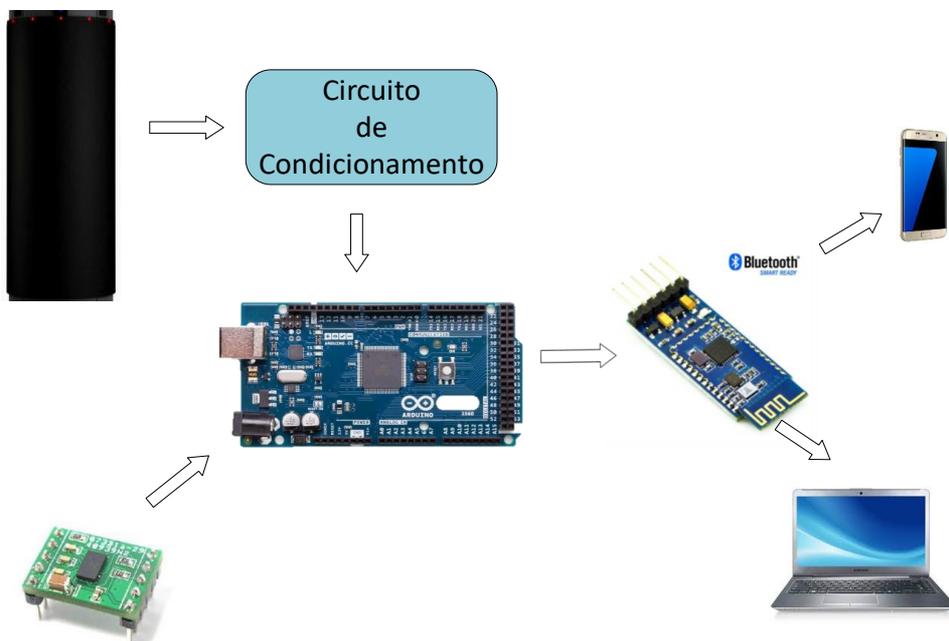


Figura 37-Esquema da arquitetura do sistema

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

4.1 Sensores

4.1.1 Evolução do sensor piezoresistivo de força

Inicialmente sensor de força foi constituído por um quadrado, com as dimensões de 1 cm por 1 cm de Velostat (material piezoresistivo) e dois retângulos de fita-cola de cobre, com as dimensões de 2 cm por 0,8 cm.

A construção deste sensor seguiu um processo simples, em que o quadrado de Velostat é colocado entre os dois retângulos de fita-cola de cobre, de forma a que nenhum dos retângulos de fita-cola de cobre se toque pois iria causar um curto circuito (Figura 38). A fita-cola de cobre funciona como contato elétrico.

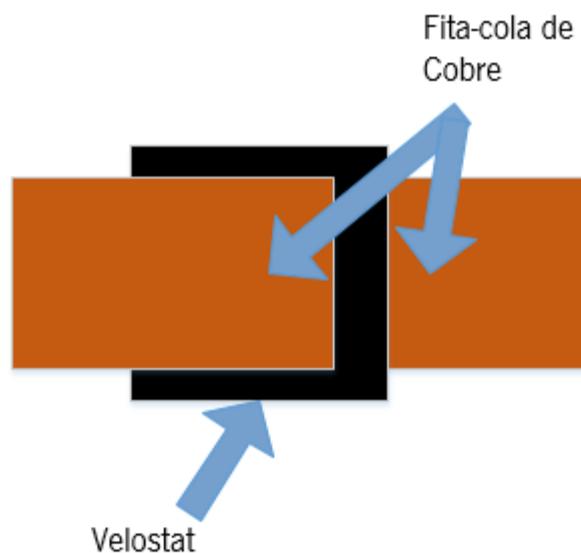


Figura 38-Esquema do sensor de força

Seguidamente soldou-se um fio de cobre a cada um dos retângulos de fita-cola de cobre para posteriormente ligar ao circuito de condicionamento de sinal (Figura 39). Posteriormente foram feitos os primeiros testes no sensor depois deste ser colocado no saco de boxe como pode ser observado na parte direita da Figura 39.



Figura 39-Sensor de força

Para visualizar e analisar estes testes foi desenvolvida uma aplicação LabView. A Figura 40 apresenta o layout da aplicação em LabView. No Channel Settings são selecionados os canais para visualização no Acquired Data. No Timing Settings são definidos parâmetros que definem frequência e tempo de amostragem. O Logging Settings permite a gravação dos dados para posterior visualização.

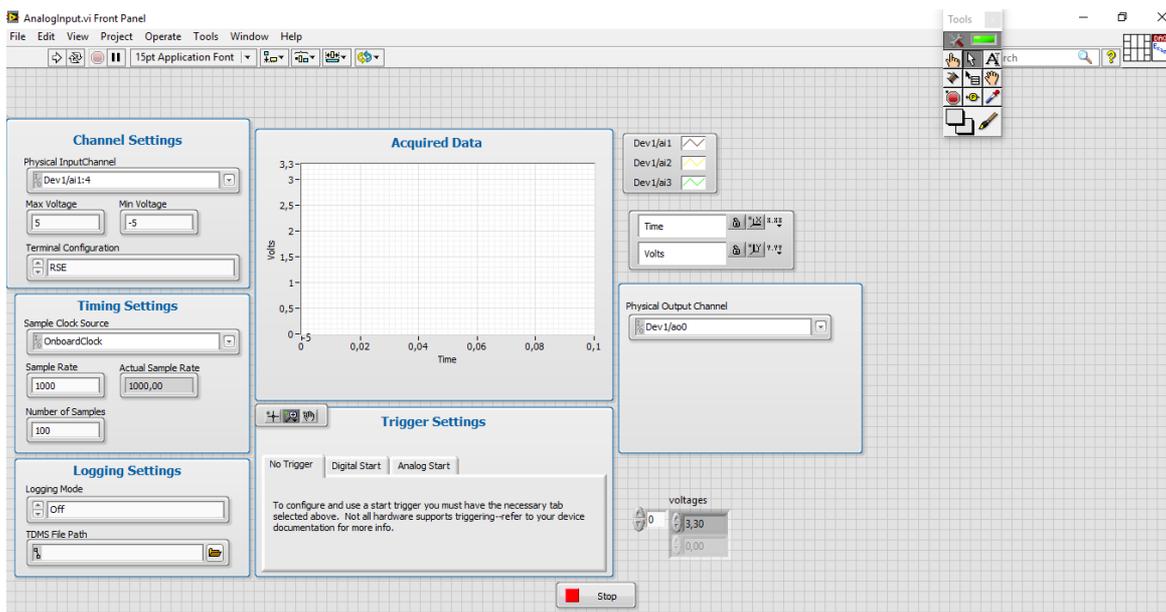


Figura 40-Aplicação em LabView

Com o saco solto aplicaram-se 5 socos ao sensor. Pode-se verificar na Figura 41 que o tempo de subida aparenta ser bastante curto. As variações obtidas foram de cerca de 0.1 Volt.

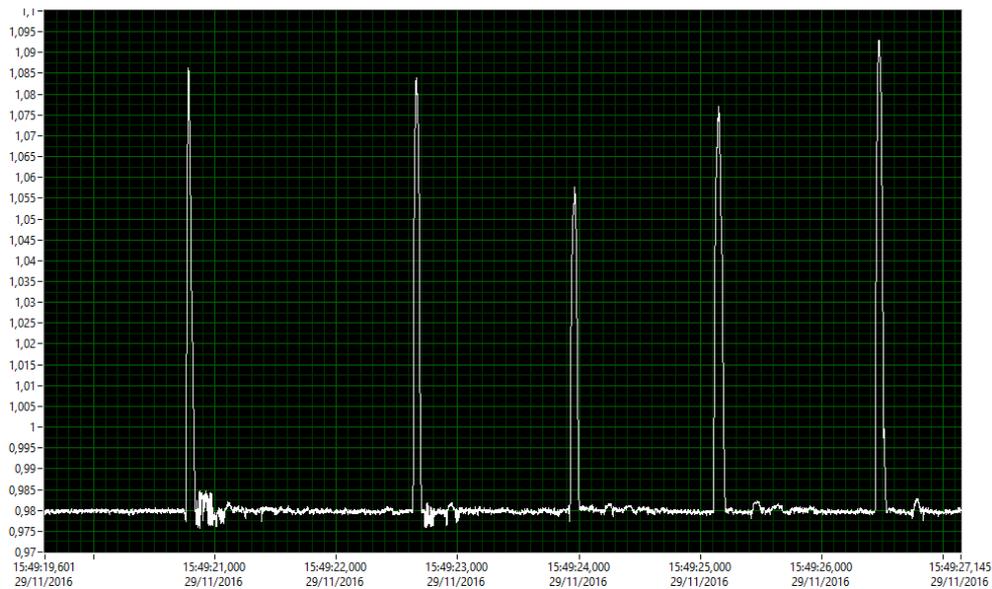


Figura 41-5 socos com o saco solto

Como o saco estava solto e o sensor utilizado era de pequenas dimensões não foi possível executar vários golpes num curto espaço de tempo devido à oscilação do saco de boxe. Assim sendo passou-se a um segundo teste.

Para se poderem aplicar golpes mais rapidamente, segurou-se o saco de boxe, impedindo-o de baloiçar. O tempo de subida do sensor de força manteve-se curto como verificado na Figura 42. Pôde-se confirmar que, mesmo aplicando golpes consecutivos, o sensor continuava a detetar e reproduzir o estímulo, isto é, o golpe que lhe era aplicado.

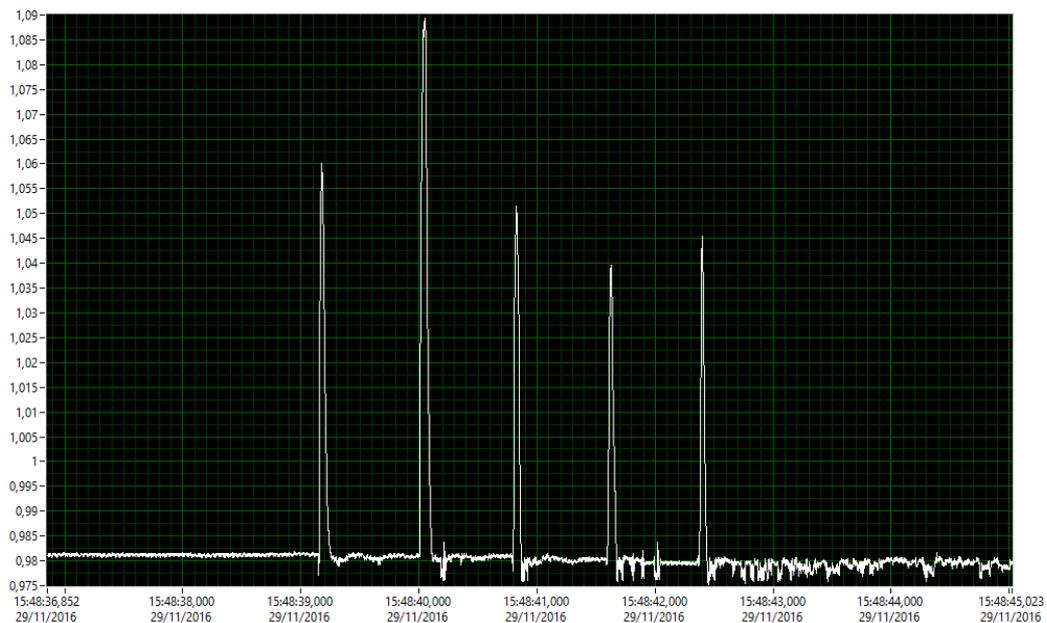


Figura 42-5 socos com o saco seguro

Posteriormente foi construído outro sensor do tamanho de uma luva de boxe, como pode ser verificado na Figura 43. O processo de construção é igual ao anterior, porém nesta constituição não foi utilizada a fita cola de cobre. Em vez disso utilizou-se um material têxtil condutor.



Figura 43-Sensor piezoresistivo com a área de uma luva de boxe

Para garantir que as diferentes camadas do sensor permanecessem no mesmo sitio foram colocadas duas camadas de papel autocolante uma em cada extremidade do sensor (Figura 44). Foram também adicionados dois botões metálicos para aí ligar os fios que faziam a conexão com o circuito de condicionamento e conseqüentemente com a aplicação em LabView.

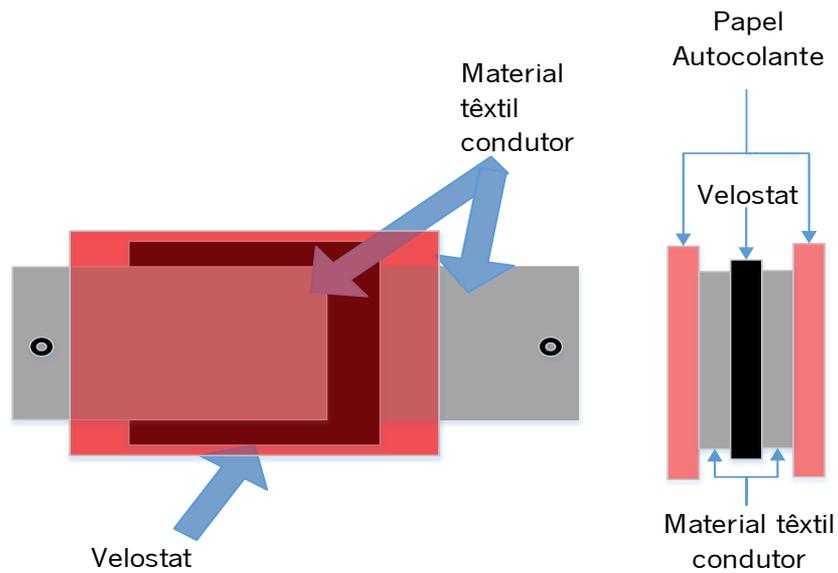


Figura 44-Esquema do sensor do tamanho da luva de boxe (vista de frente e vista das diferentes camadas sobrepostas)

Na Figura 45 está representada uma imagem de como o sensor foi colocado no saco para o teste. Na Figura 46 está demonstrado um teste em LabView desta segunda configuração do sensor piezoresistivo. Com este sensor foi possível fazer uma sequência de golpes mais rápida pois havia uma maior área de impacto. Pode-se verificar que neste sensor se observou uma variação máxima de cerca de 0,5 Volt, cerca de 5 vezes mais do que com o primeiro sensor.



Figura 45-Teste do sensor

Com este novo sensor descobriu-se um potencial problema quando se aumenta a área do sensor. Como pode ser aferido na Figura 46, existem certos picos que descem abaixo dos 0,5 Volt iniciais e que se considerou como sendo a referência inicial. Estes picos “negativos” devem-se ao afastamento das camadas de material têxtil com o Velostat no instante imediatamente depois do golpe ser desferido, formando um circuito aberto.

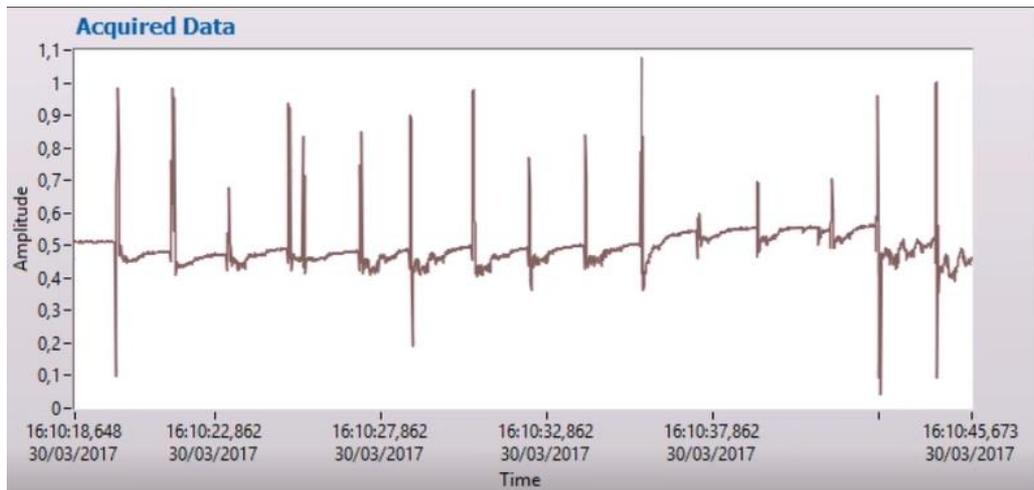


Figura 46-Teste em LabView do sensor com a área de uma luva de boxe

Após a conclusão dos testes no sensor anterior decidiu-se construir o primeiro sensor de grande área. Para tentar melhorar a durabilidade do sensor e também tornar a superfície do sensor mais parecida com a superfície de um saco de boxe, visto ser um potencial produto que atletas poderão utilizar, utilizou-se uma esponja na parte da frente do sensor. O esquema de construção deste novo sensor está representado na Figura 47.

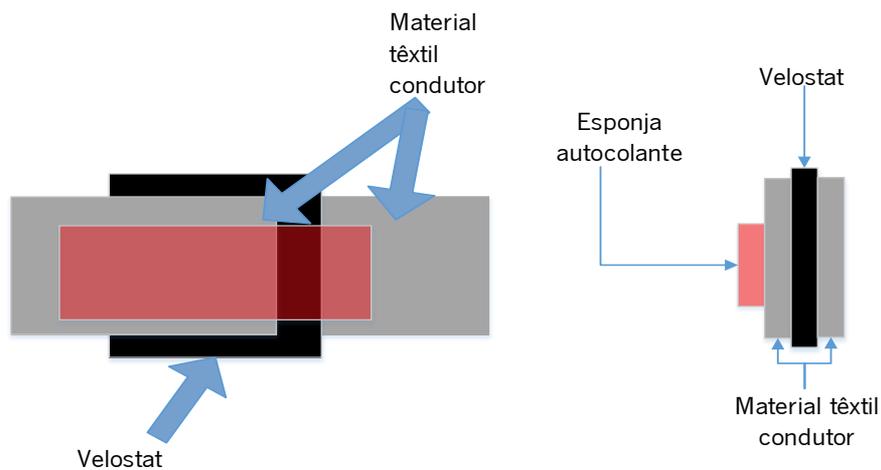


Figura 47-Esquema do sensor com espuma (vista de frente e vista das diferentes camadas sobrepostas)

Na Figura 48 está uma imagem de um dos testes que foi realizado com este novo sensor. De referir que a abordagem anterior em que se tinha utilizado botões para fazer a conexão do sensor ao circuito de condicionamento não foi utilizada neste novo sensor.



Figura 48-Teste do sensor com espuma

Assim, para fazer a conexão entre o sensor e o circuito de condicionamento cada fio foi cosido diretamente a cada uma das camadas do material têxtil condutor. Os fios foram ambos cosidos na parte superior de cada uma das camadas do material têxtil condutor como demonstrado na Figura 49.

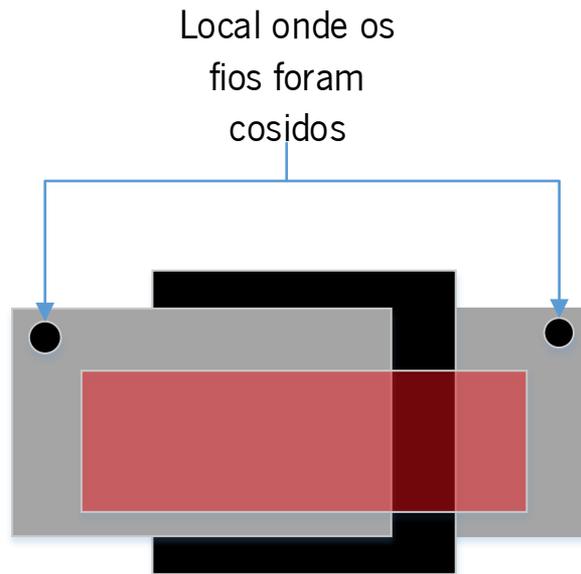


Figura 49-Representação do local onde os fios foram colocados (vista de frente)

Os resultados deste teste estão presentes na Figura 50. Pode-se ver que com este sensor a tensão inicial é de 0,6 Volt. Isto deve-se ao facto da própria esponja já estar a exercer uma pressão no sensor e de a área do sensor ser diferente do anteriormente apresentado.

Pode-se também verificar que temos uma variação de cerca de 1 Volt nos golpes que foram exercidos. Quanto aos picos “negativos”, que se deviam à falta de conexão entre camadas, reduziram a intensidade de ocorrência, porém o problema ainda não ficou resolvido neste sensor.

Outra das conclusões retiradas deste teste foi que os fios não poderiam ser cosidos num único ponto. Ao utilizar esta abordagem conclui-se que o sensor tinha comportamentos diferentes, isto é, media diferentes tensões para impactos se eles fossem aplicados na parte de cima do sensor ou na parte de baixo. Um impacto na parte superior do sensor correspondia a uma alteração maior do que se esse mesmo impacto fosse aplicado na parte inferior do sensor. Isto acontecia porque a resistência do tecido condutor influenciava as leituras adquiridas, apesar da resistência do tecido condutor ser na ordem dos Ohms. As variações de resistência do sensor não são grandes o suficiente para que se considere desprezável a resistência dos fios condutores nesta configuração. Com os fios condutores posicionados ambos na parte de cima do sensor, o sensor fica mais sensível na parte superior do mesmo.

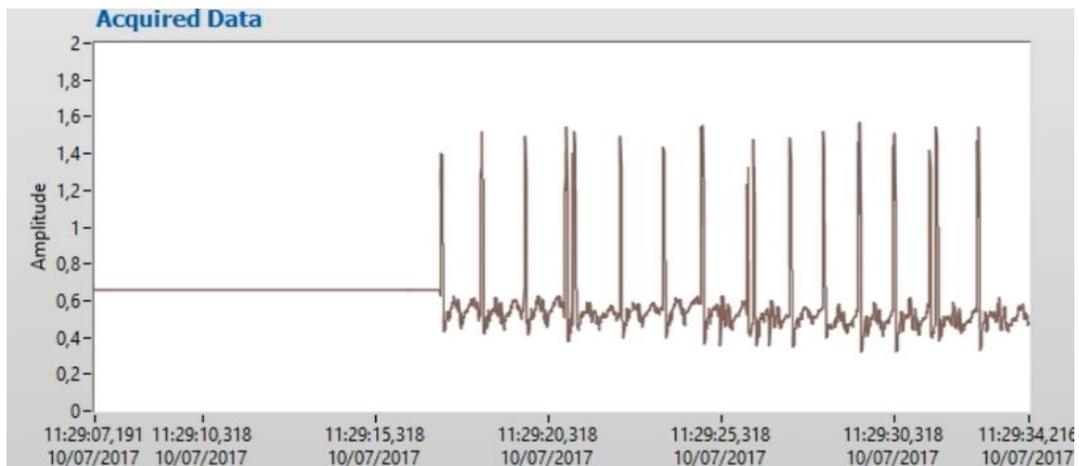


Figura 50-Teste em LabView do sensor com espuma

Seguidamente foi solicitada a ajuda de um Mestre em Design e Marketing para a confeção de um sensor de pressão para o saco de boxe, tendo em conta o funcionamento do sensor, mas também a facilidade de construção e de utilização do mesmo.

O primeiro protótipo foi produzido em tecido, em forma de tubo. O tubo tem a medida do sensor, quando a carcela está fechada, tendo uma folga equivalente à medida da carcela, quando esta está aberta. Essa folga permite vestir o sensor no saco. A Figura 51 mostra o esquema idealizado para este sensor.

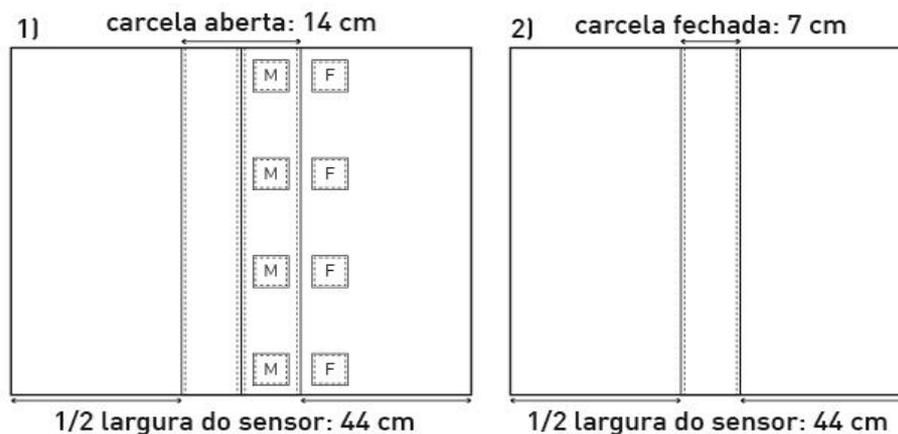


Figura 51-Esquema do sensor com carcela [37]

Na Figura 52 é apresentado o sensor já colocado no saco de boxe. Este protótipo denotou algumas deficiências como a colocação do mesmo no saco ou a carcela estar demasiado esticada tendo propensão a abrir.



Figura 52-Protótipo do sensor com carcela [37]

Para corrigir as falhas do protótipo acima mencionadas, foi idealizado outro sensor em forma plana. A carcela é cosida e ao envolver o saco forma o tubo correspondente ao sensor. Cada uma das pontas possuía velcro que se juntavam para formar a carcela.

Para que a colocação do protótipo no saco fosse mais fácil, foram pensadas duas propostas. Em ambas as propostas o objetivo passaria por coser numa das extremidades do sensor plano um material elástico em forma de tubo antes de envolver o saco com o sensor e fechar a carcela. Uma sugestão foi usar malha jersey com elastano e noutra usar elástico de 5 centímetros, tal como pode ser visualizado na Figura 53.

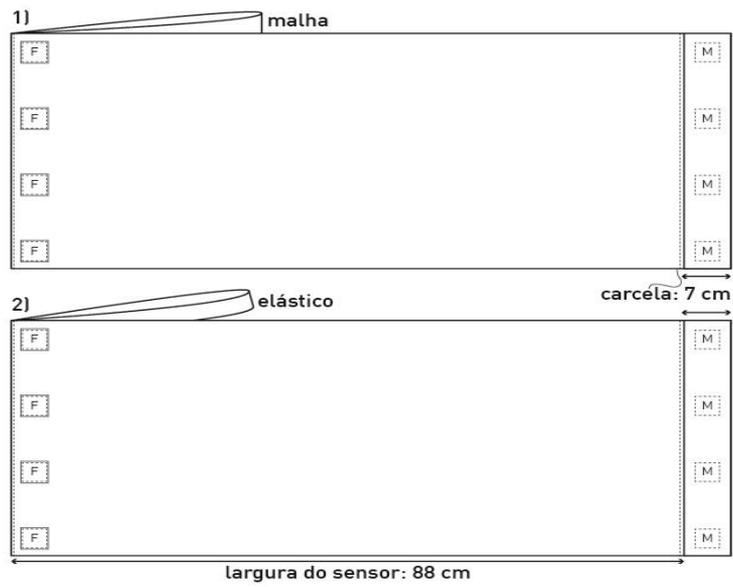


Figura 53-Desenho técnico do sensor. 1) com tubo de malha; 2) com dois elásticos em cada lado [37]

Na Figura 54 e na Figura 55 são apresentadas estas duas propostas acima descritas, aquando da sua colocação no saco de boxe.

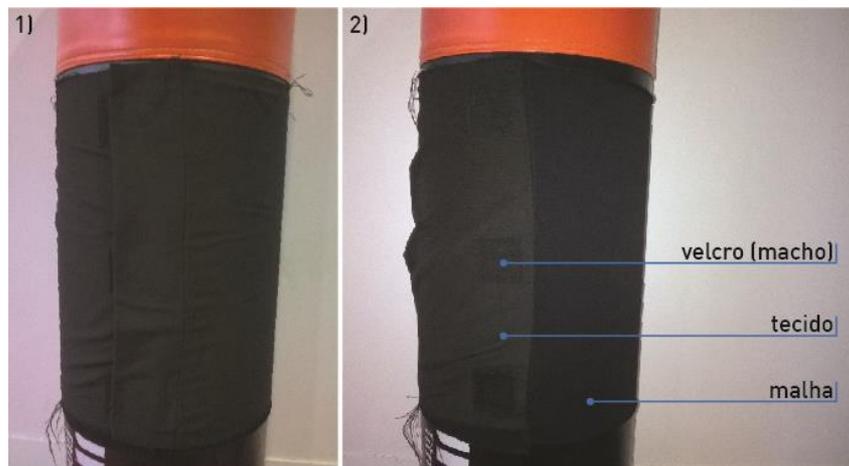


Figura 54-Sensor plano com malha. 1) sensor fechado; 2) sensor aberto [37]



Figura 55-Sensor plano com elásticos. 1) sensor fechado; 2) sensor aberto[37]

Por ser uma abordagem mais fácil de usar por parte dos potenciais utilizadores, optou-se pela utilização do protótipo da Figura 54, passando-se assim para a construção de um protótipo real.

Este protótipo segue o esquema apresentado na Figura 56. Para a sua construção foram seguidos os seguintes passos:

- 1) coser fio condutor ao tecido condutor;
- 2) colar cada esponja a cada camada de tecido condutor;
- 3) coser fêmea do velcro numa das camadas;
- 4) colar filme piezoresistivo a uma das camadas anteriores;
- 5) colar a camada restante (esponja e tecido) ao filme;
- 6) coser macho do velcro à carcela;
- 7) coser carcela e malha ao sensor.

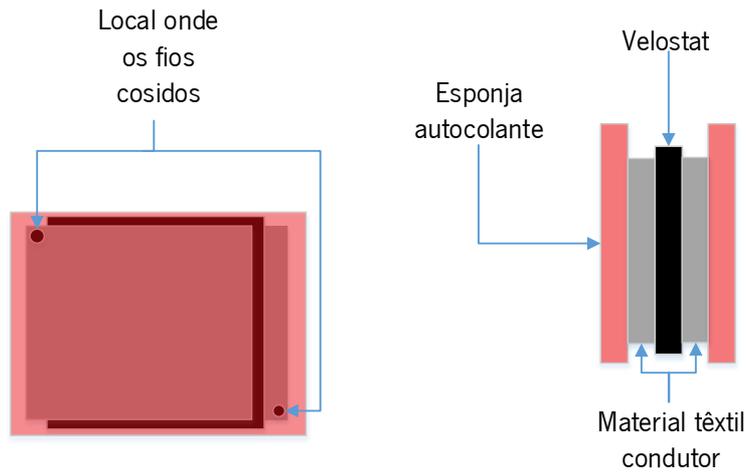


Figura 56-Esquema do protótipo real (vista de frente e vista das diferentes camadas sobrepostas)

Os fios elétricos foram cosidos em extremos opostos do sensor, depois de se ter verificado ser esta a melhor configuração. Com esta configuração as leituras do sensor eram muito mais constantes relativamente ao valor obtido aplicando dois golpes com a mesma força em partes distantes deste protótipo.

Na Figura 57 pode-se visualizar como fica o protótipo quando fechado bem como quando se abre a carcela.

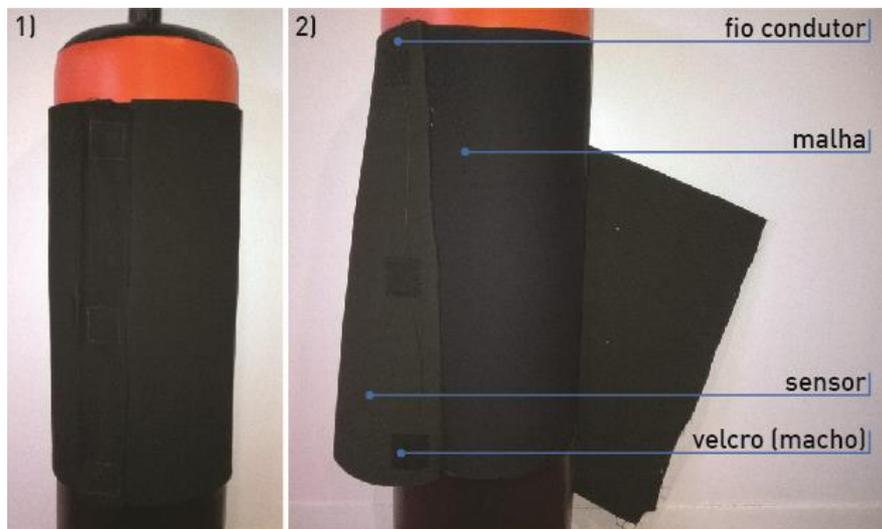


Figura 57-Protótipo funcional do sensor, vestido no saco de boxe. 1) sensor fechado; 2) sensor aberto[37]

Entretanto foram feitas melhorias no *software* de testes realizado em LabView. Essas melhorias têm a ver com o modo de visualização dos impactos, a contagem de número de impactos detetados, o

tempo mínimo entre dois impactos e o cálculo da média tanto da força exercida como do tempo entre cada golpe.

Pode-se ver na Figura 58 os testes realizados no Complexo Desportivo de Azurém, bem como o software utilizado. Para a realização destes testes recorreu-se a dois voluntários que estiveram a utilizar o protótipo durante cerca de uma hora.

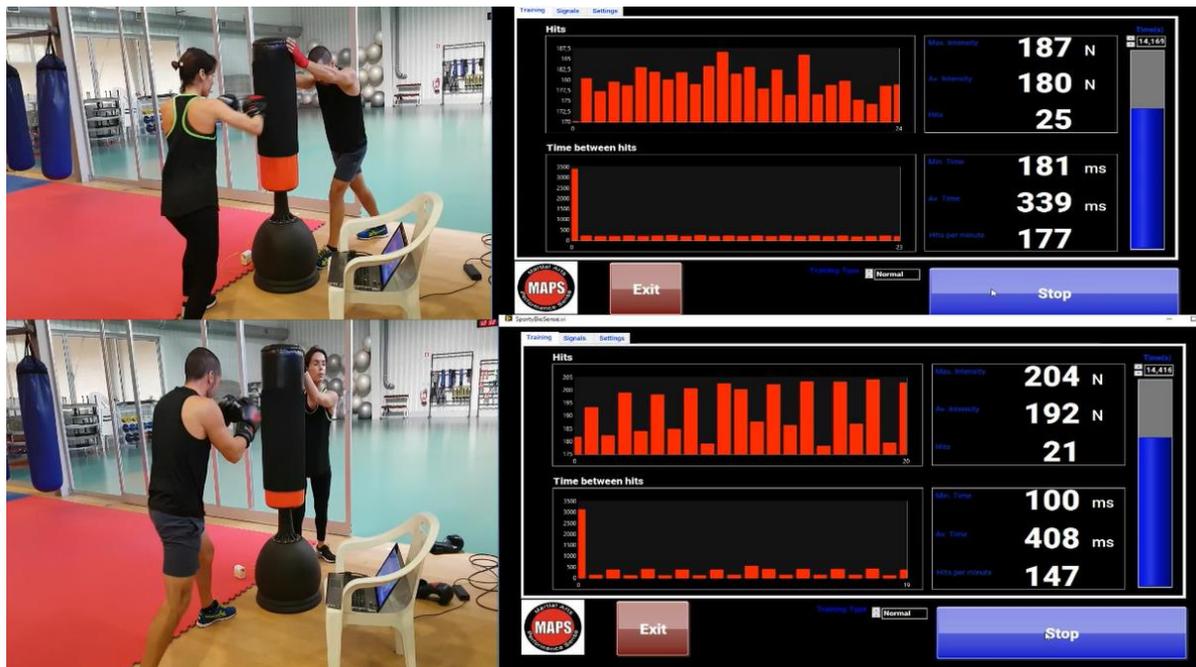


Figura 58-Testes no protótipo e software LabView

O comportamento do protótipo foi exemplar. Existe um erro no primeiro tempo medido aquando do primeiro golpe não por culpa do sensor, mas do *software*.

A carcela aguentou-se sempre fechada, mantendo sempre o protótipo bem seguro e junto ao saco de boxe, funcionando exatamente como era proposto e esperado.

4.1.2 Acelerómetro

Para adquirir os dados do acelerómetro, este foi ligado a três entradas analógicas diretamente para assim recolher os dados dos eixos xx, yy e zz. Isto é, estes sinais não necessitaram de passar por um circuito condicionador de sinal.

Para testar se o funcionamento deste acelerómetro se adequava ao sistema pretendido foram realizados dois testes distintos. O primeiro teste consistiu em aplicar 5 socos frontais. Para isso o acelerómetro foi colocado no saco como demonstrado na Figura 59 e posteriormente os socos foram aplicados a cerca de 180° do mesmo, como também pode ser observado na figura.



Figura 59-Soco Frontal

Na Figura 60 estão apresentados os resultados do teste acima mencionado. Os eixos são apresentados a três cores distintas para uma melhor visualização deste teste. A vermelho está representado o eixo xx, a verde o eixo zz e a branco o eixo yy.

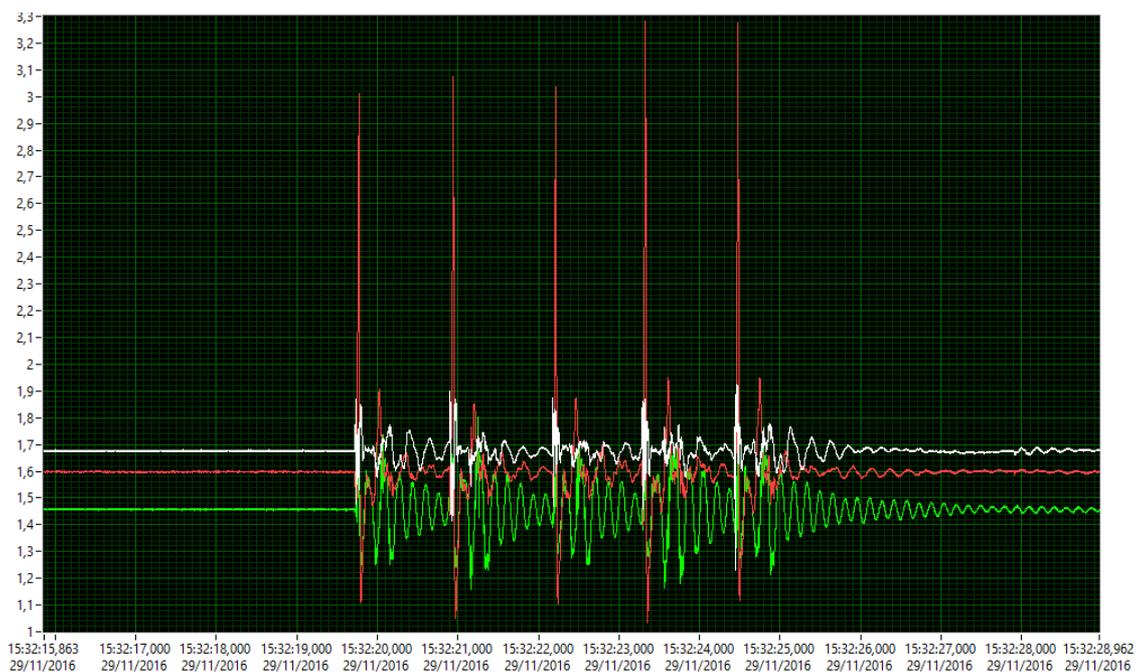


Figura 60-5 socos frontais

O eixo dos xx foi o que mais se alterou, tal como esperado visto tratar-se de um soco frontal. Neste eixo apareceram variações máximas de cerca de 1,7 Volt, no eixo do yy variações máximas de 0,2 Volt e no eixo zz variações máximas de 0,35 Volt.

Decidiu-se depois realizar um segundo teste. Neste segundo teste efetuado foram aplicados 6 socos laterais. Com o sensor na mesma posição foram aplicados golpes a cerca de 90° do acelerómetro, como demonstrado na Figura 61.



Figura 61-Soco Lateral

Podemos verificar na Figura 62 que o eixo dos yy se movimentou muito mais, como previsto, do que no teste anterior visto tratar-se de um soco lateral. Neste eixo ocorreram variações máximas de 1,6 Volt, no eixo dos xx variações máximas 1,7 Volt e no eixo zz variações máximas de 0,4 Volt.

Por outro lado verificou-se que a gama de medida do acelerómetro não era adequada para esta aplicação, porque mesmo com golpes de baixa intensidade a gama de medida era ultrapassada, tornando assim este dispositivo inapropriado para esta finalidade. A solução passaria pela aquisição de outro acelerómetro com uma gama de medição bastante superior aos $\pm 6g$ que este acelerómetro possui.

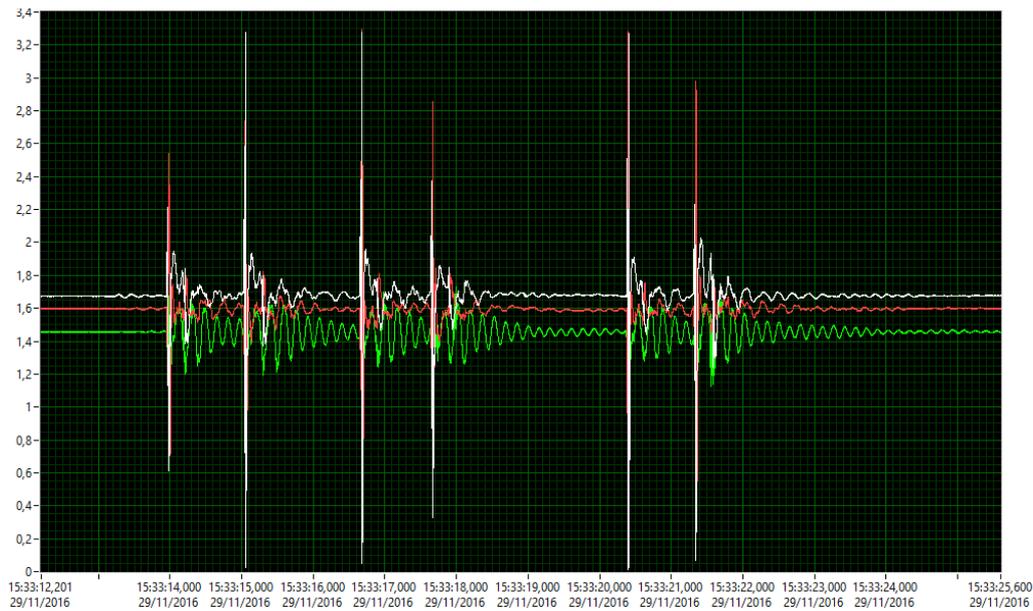


Figura 62-6 Socos laterais

4.2 Placa de aquisição de dados

O software que nas próximas páginas irá ser apresentado, foi desenvolvido segundo o diagrama de blocos da Figura 63. As principais funções de cada bloco estão descritas no Anexo I – Lista de funções da placa de aquisição na página 87.

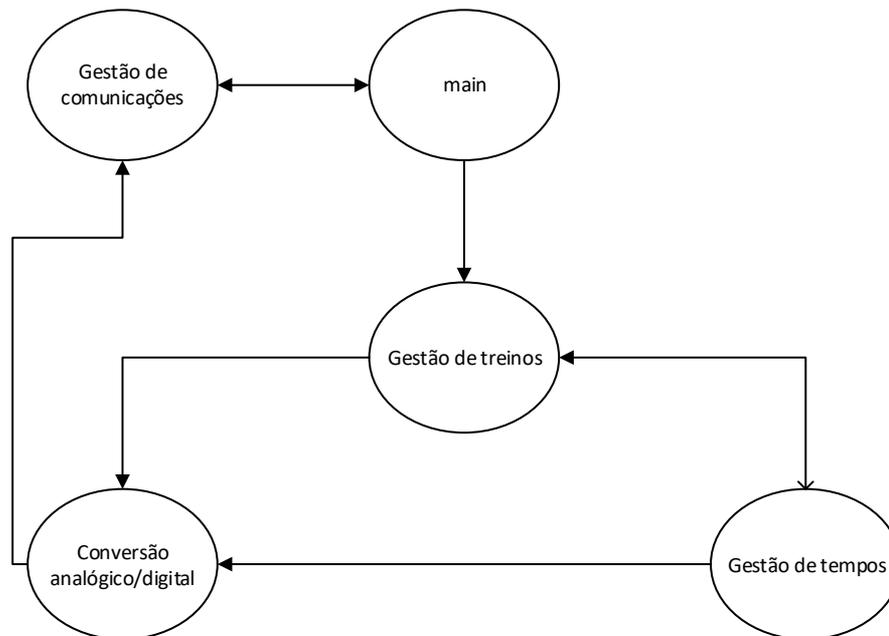


Figura 63-Diagrama de blocos do software da placa de aquisição

A aquisição de sinal foi realizada a partir do processador ATmega2560, incluído na placa de desenvolvimento escolhida. Este processador, como foi referido anteriormente na descrição do hardware, possui uma alargada gama de periféricos disponíveis, facilitando deste modo a aquisição e a transmissão de dados.

Os dados que são recolhidos pelos sensores analógicos passam por uma placa de condicionamento de sinal no caso do sensor piezoresistivo, sendo posteriormente encaminhados para um canal de ADC disponível, que é responsável por ler os valores analógicos e convertê-los em valores digitais.

No fim da conversão de valores o ADC está configurado para gerar uma interrupção, onde é feita a aquisição dos quatro sinais, um sinal do sensor piezoresistivo e três sinais do acelerómetro. O processo que gera esta interrupção é conhecido como EOLC (End Of Last Conversion). De forma a possibilitar a leitura de todos os valores é necessário que o processador informe o ADC que já está pronto para receber novos dados. O bit ADIF do registo ADCSRA é disponibilizado com a função de avisar o ADC que o micro já se encontra disponível para receber a leitura do próximo canal. Na Figura 64 encontra-se um gráfico temporal que demonstra o processo de aquisição de uma amostra.

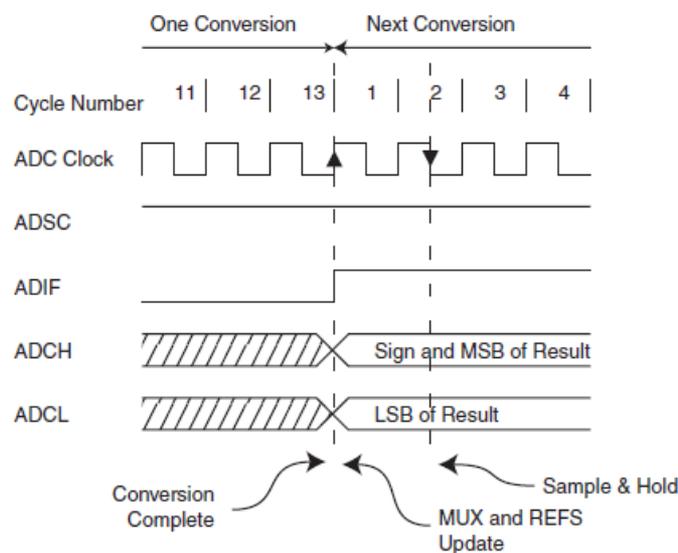


Figura 64-Diagrama temporal de leitura de uma amostra do ADC

Nas próximas páginas estará descrita toda a informação sobre o *software* desenvolvido na plataforma AtmelStudio.

Para a aquisição de sinal foram utilizadas as interrupções (ISR) do microcontrolador. Para ter uma frequência de amostragem a uma taxa fixa foi utilizado o timer 1 que a cada ciclo de *clock* gera uma interrupção de maneira a começar uma conversão do ADC, tal como pode ser visto na Figura 65.

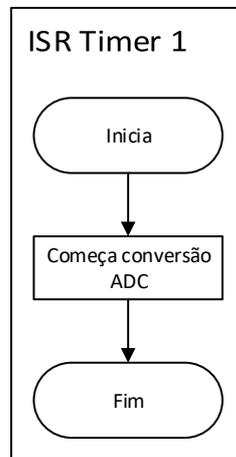


Figura 65-Fluxograma da interrupção do Timer 1

Os dados dos sensores são adquiridos também por interrupção. Na ISR (*Interrupt Service Routine*) do ADC, que está representada na Figura 66, inicialmente o programa entra numa função denominada `adc_select()` que a cada execução da ISR do ADC escolhe um canal do ADC começando pelo ADC0 até ao ADC3 e voltando posteriormente ao ADC0. O valor lido é guardado num *buffer* circular e seguidamente incrementada a *flag* `nr_amostras`. Esta *flag* quando atinge o valor quatro comunica ao microcontrolador que pode enviar quatro amostras *byte a byte* através da porta série para o dispositivo BLE que se encarrega de as enviar para o dispositivo móvel.

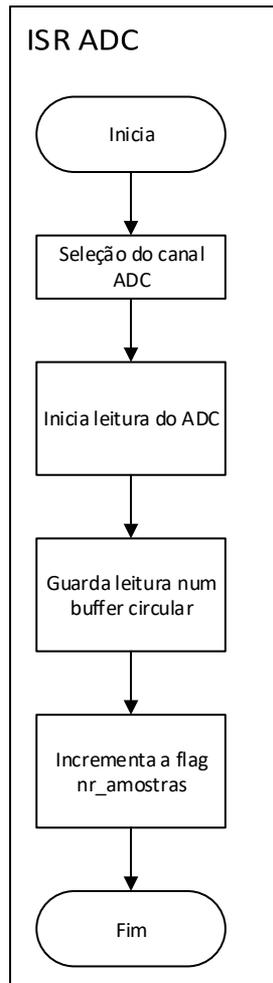


Figura 66-Fluxograma da interrupção do ADC

Depois do software de aquisição estar a funcionar corretamente passou-se para a implementação do protocolo de comunicação e do ciclo principal do *software*.

Inicialmente são feitas todas as configurações necessárias. Estas configurações passam sobretudo pela configuração da porta série de modo a enviar os dados entre o Arduino ATmega2560 e o dispositivo Bluetooth Low Energy escolhido e também no sentido oposto. Seguidamente o microcontrolador fica à “escuta” até receber uma trama. Quando recebe uma trama é gerada uma interrupção e é testado o conteúdo dessa trama recebida. Dependendo do seu conteúdo a programa entra numa das opções. Se for recebida a Trama CONN é enviada a Trama OK, se for recebida a Trama TN o microcontrolador entra no modo de treino normal, se for recebida a Trama TR o microcontrolador entra no modo de treino de reação, se for recebida a Trama Stop o microcontrolador pára o modo de treino que estiver a ser executado e se não reconhecer a trama recebida é enviada a Trama NACK. Na Figura 67 está apresentado o fluxograma do software do ciclo principal.

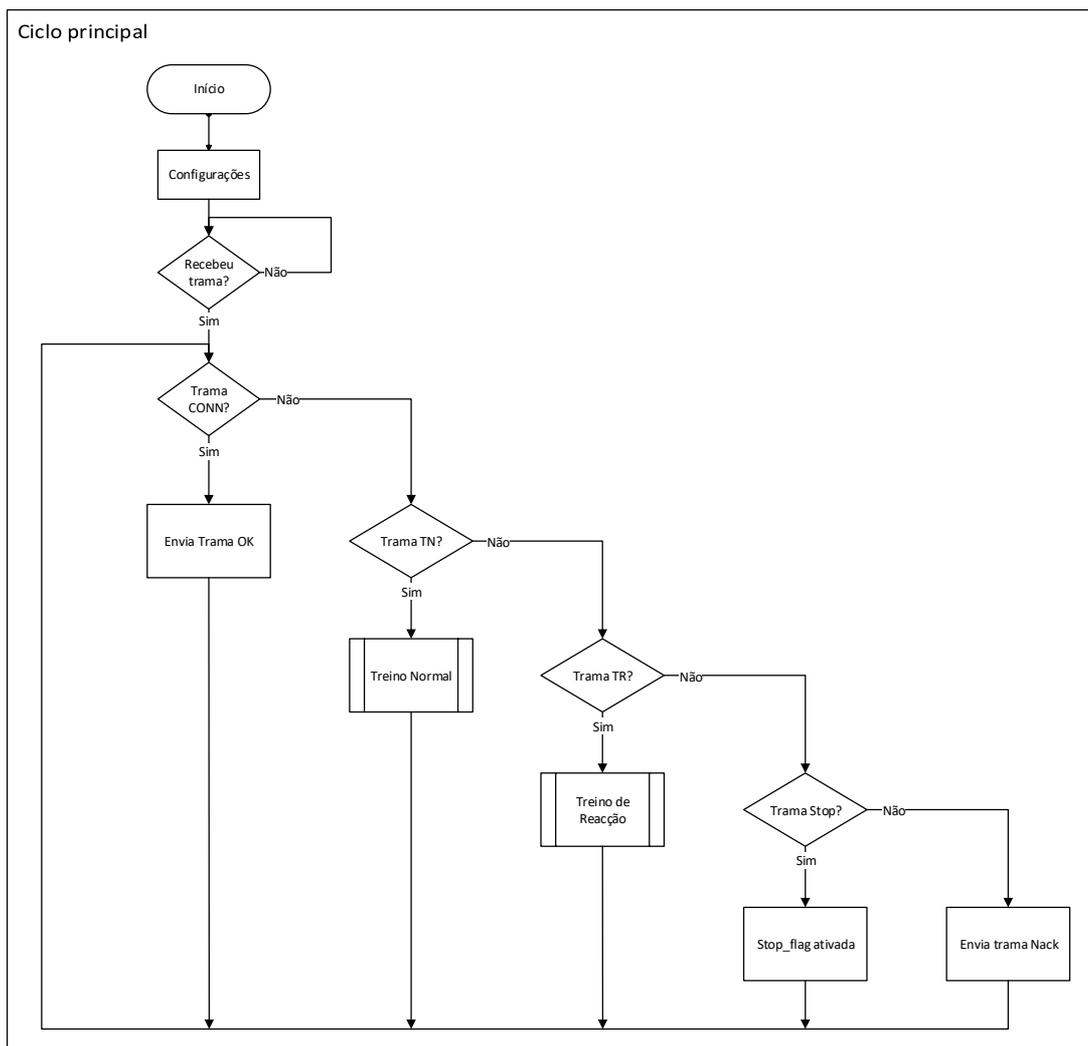


Figura 67-Fluxograma do Ciclo Principal

Como já referido anteriormente, quando é recebida a Trama TN o microcontrolador entra no modo de Treino Normal.

Após entrar neste modo, um outro *timer*, diferente do timer configurado para a aquisição de sinal, é configurado para que cronometre os 5 minutos que é a duração do modo de treino normal. Também nesta fase são feitas as configurações dos ADC's podendo assim ser inicializada a aquisição de sinal.

A cada 4 amostras recolhidas dos ADC's é enviada uma trama com o formato da trama da Figura 33. Depois do envio de cada trama é sempre testado se o tempo já chegou a 5 minutos ou se foi recebida a trama Stop. Caso algum destes eventos seja afirmativo é desativada a *stop flag*, é desabilitada a aquisição de sinal e enviada a Trama END para confirmar que o treino chegou ao fim.

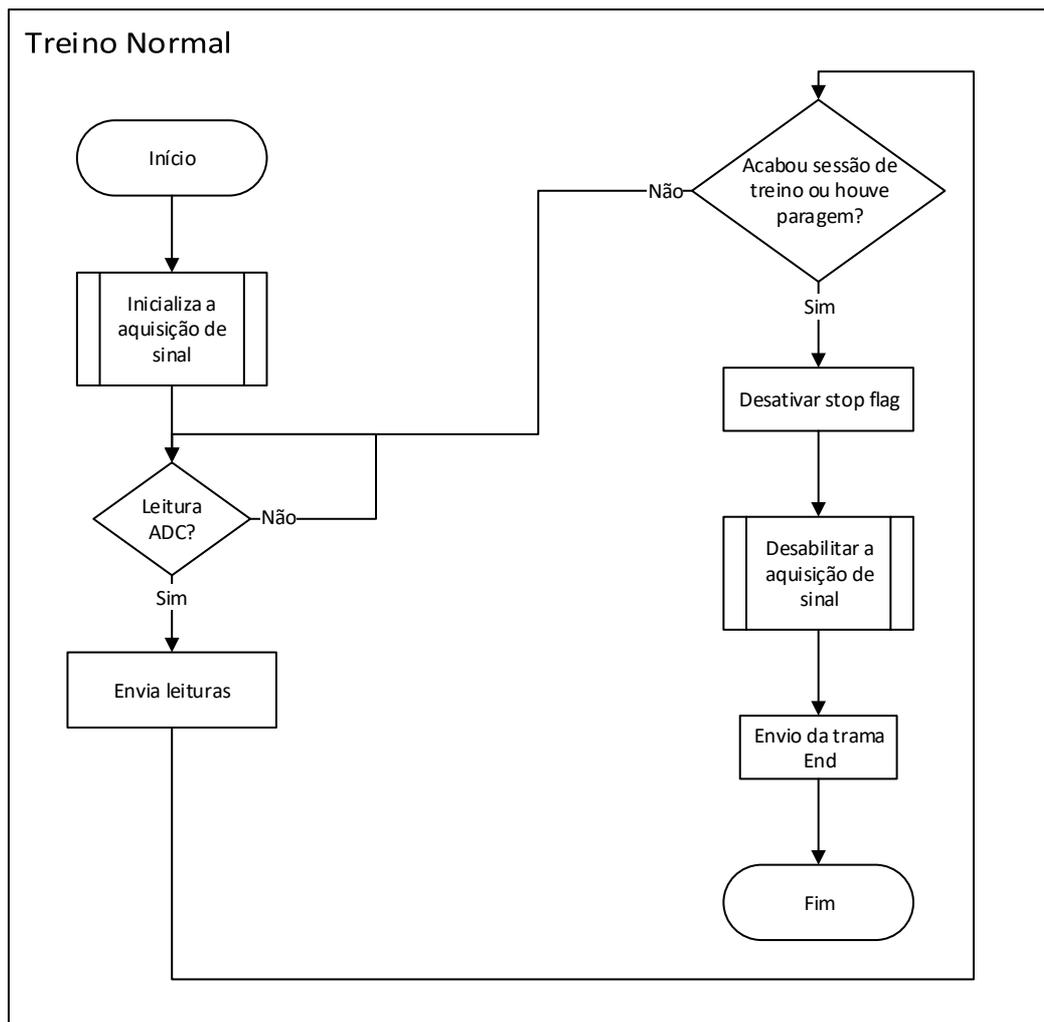


Figura 68-Fluxograma do modo Treino Normal

Por outro lado, se for recebida a trama TR, o microcontrolador entra no modo Treino de Reação. Tal como no modo Treino Normal, o *timer* é configurado logo no início, porém neste caso para contar os 3 minutos que foram estipulados como sendo a duração de um Treino de Reação. Depois disso são feitas as configurações necessárias nos ADC's de modo a que se possa começar a adquirir os dados dos sensores.

Depois disso o microcontrolador gera um tempo aleatório entre 3 e 12 segundos através de uma função `rand()` que está representada na Figura 69. Foi decidido utilizar esta margem para que, por um lado, o atleta tenha um tempo de recuperação e por outro lado, para que não esteja muito tempo à espera do sinal visual.

```
random_time = rand() % 367 + 92; // random_time in the range 92 and 367
```

Figura 69-Função que gera um tempo aleatório entre 3 e 12 segundos

Após este tempo ser gerado, este é somado ao tempo atual do treino determinando assim o tempo a que irá ser ativado o sinal visual no saco de boxe.

No instante seguinte ao sinal visual ser ativo um outro *timer* começa a contar o tempo até o saco ser atingido por um golpe. Para a detecção deste impacto foi criada uma função chamada `impact_detect()`. Nesta função, que pode ser visualizada na Figura 70 são retiradas 8 amostras do *buffer* circular, utilizado para guardar as amostras antes de enviar, que correspondem a 2 amostras de cada ADC, isto é, `c0` e `c_0` correspondem a amostras do ADC0, `c1` e `c_1` correspondem a amostras do ADC1, `c2` e `c_2` correspondem a amostras do ADC2 e `c3` e `c_3` correspondem a amostras do ADC3. Depois disso é comparado o valor da subtração das amostras do ADC0 com um *threshold* definido. Se o valor da subtração for superior ao valor de *threshold* é considerado um impacto.

```
int impact_detect(uint16_t* channel0, uint16_t* channel1, uint16_t* channel2, uint16_t*
channel3){

    uint16_t c0, c1, c2, c3=0;
    uint16_t c_0, c_1, c_2, c_3=0;

    circBufPop( &myDatBuf, &c0 );
    circBufPop( &myDatBuf, &c1 );
    circBufPop( &myDatBuf, &c2 );
    circBufPop( &myDatBuf, &c3 );

    circBufPop( &myDatBuf, &c_0 );
    circBufPop( &myDatBuf, &c_1 );
    circBufPop( &myDatBuf, &c_2 );
    circBufPop( &myDatBuf, &c_3 );

    if( (c0-c_0 > threshold) )
    {
        *channel0 = c0;
        *channel1 = c1;
        *channel2 = c2;
        *channel3 = c3;

        return 1;
    }
    else return 0;
}
```

Figura 70-Função `impact_detect`

Caso seja considerado um golpe, o *timer* que tinha sido ativado aquando do aparecimento do sinal visual é parado.

De seguida o valor deste *timer* é enviado junto com os dados do golpe que foi detetado, formando uma trama com o formato da trama da Figura 34.

Posteriormente é testado se o treino acabou, isto é, se o primeiro *timer* já chegou a 3 minutos, ou se foi recebida a trama STOP. Caso nenhuma destas duas condições se confirme é voltado a gerar um tempo voltando a repetir-se sempre este ciclo.

Quando são atingidos os 3 minutos ou é recebida uma trama STOP o processo de fim é posto em prática. Neste processo é desativada a *stop flag*, é desabilitada a aquisição de sinal e enviada a Trama END para confirmar que o treino de reação chegou ao fim.

O fluxograma do modo de Treino de Reação pode ser visualizado na Figura 71

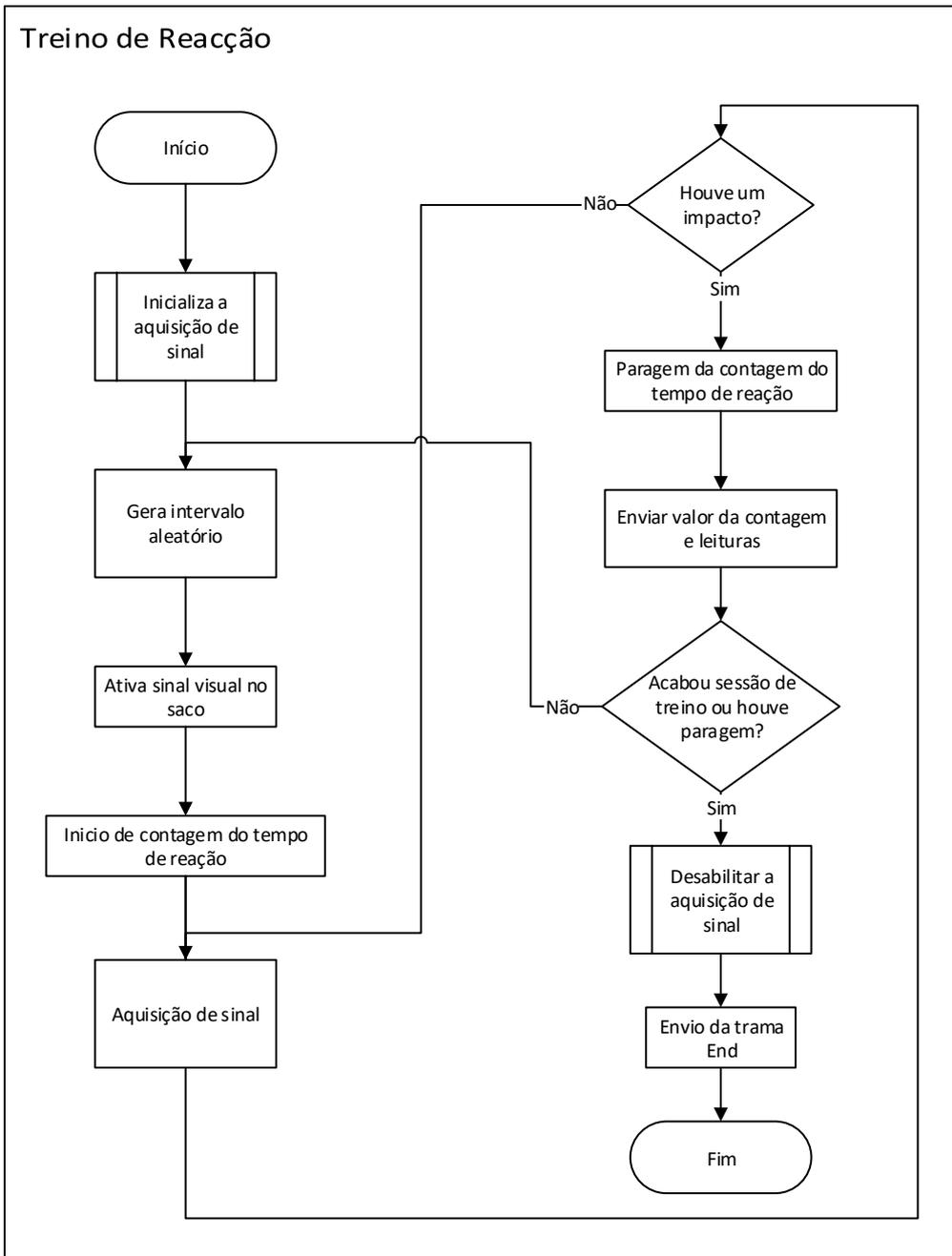


Figura 71-Fluxograma do modo do Treino de Reacção

4.3 Software Android

O software desenvolvido para a criação da aplicação Android seguiu o diagrama de blocos presente na Figura 72. As principais funções criadas durante este desenvolvimento estão descritas no Anexo II – Lista de funções software android na página 91.

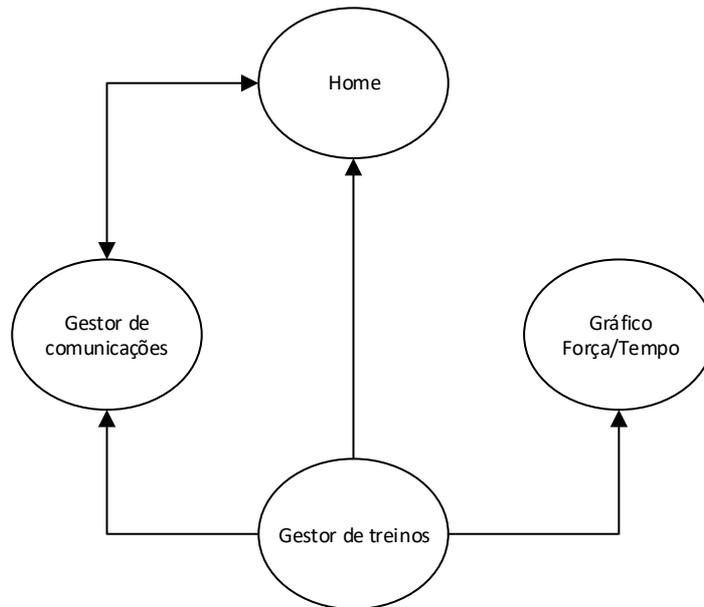


Figura 72-Diagrama de blocos do software Android desenvolvido

Ao clicar no *icon* da aplicação Android que pode ser visto na Figura 73 a aplicação inicia abrindo a Start Page.



Figura 73- Apresentação do icon no menu do dispositivo móvel

Esta primeira página é constituída por um botão de Start que serve para iniciar uma nova atividade. Até esse botão ser premido a aplicação não avança (Figura 74).



Figura 74- Start page da aplicação Android

Depois do botão Start ser pressionado, a aplicação entra numa nova atividade denominada Home. Esta atividade possui um menu com quatro opções.

A roxo está o botão Exit que, ao ser pressionado, gera um evento que permite sair da aplicação.

A verde está o botão Help, este, ao ser premido abre uma lista lateral com informações que podem ajudar o utilizador em caso de duvida em relação ao funcionamento da aplicação.

A azul está o botão Evolution. Este botão gera uma nova atividade com o mesmo nome do botão em causa.

A vermelho está o botão Training que cria uma nova atividade também com o mesmo nome do botão premido.

Na Figura 75 está apresentada uma imagem com o *layout* da atividade Home, bem como o menu que acabou de ser descrito.

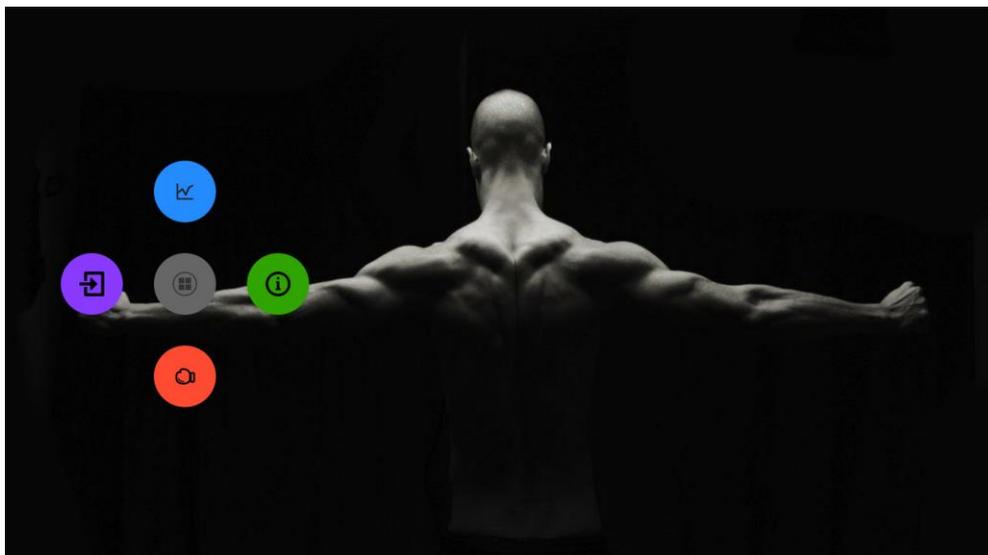


Figura 75-Home da aplicação Android

Na Figura 76 está definido o fluxograma de todo o processo descrito acima, isto é, desde o momento em que se carrega no *icon* da aplicação até à atividade Home.

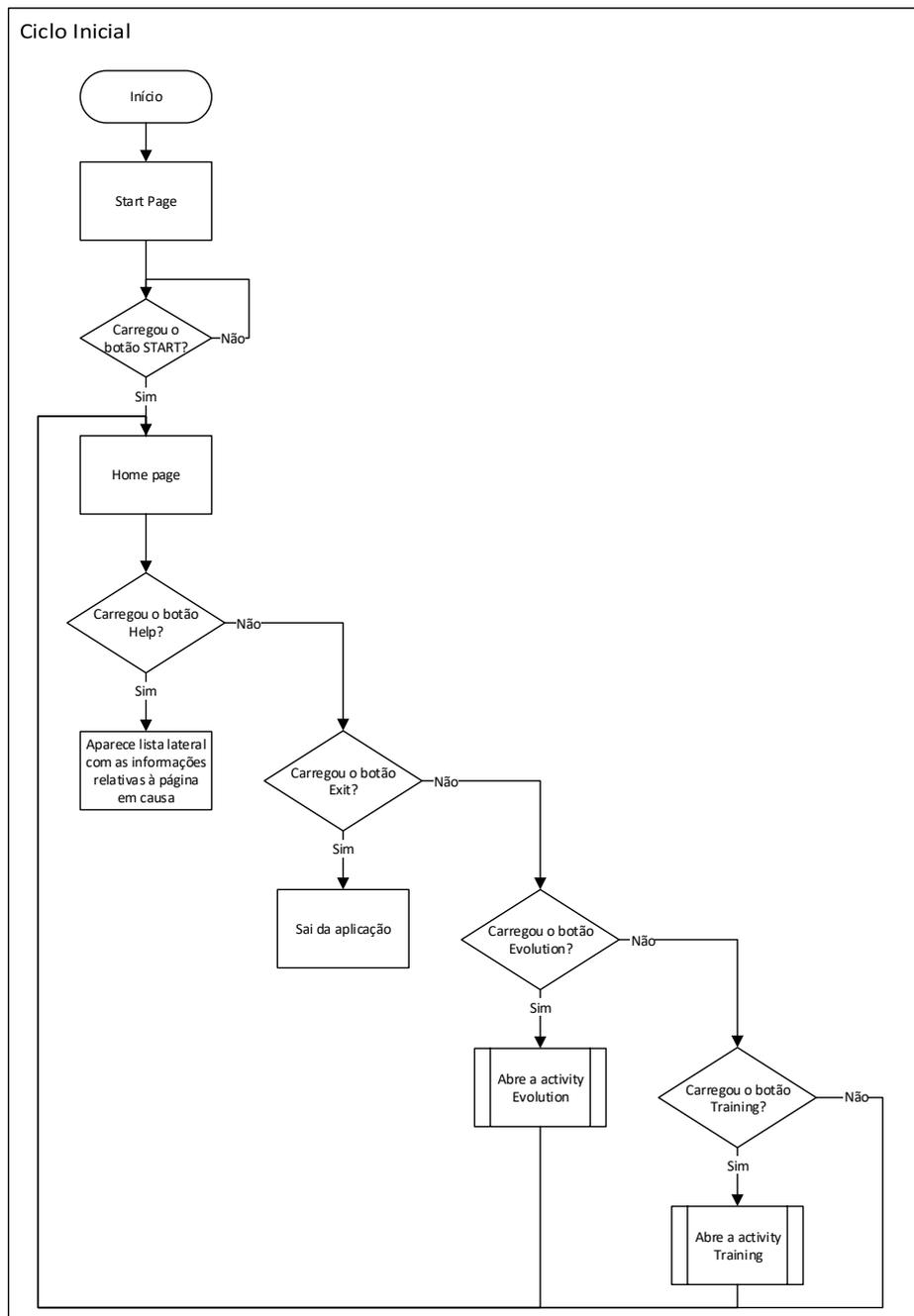


Figura 76-Fluxograma do Ciclo Inicial da aplicação Android

Quando, na aplicação Android, é carregado o botão de Evolution como já foi descrito acima, inicia-se uma nova atividade designada também por Evolution. Nesta nova atividade, como demonstrado através da Figura 77, existe também um menu com cinco opções.

Em relação ao botão verde, este tem como função ajudar o utilizador em caso de dúvidas quanto à utilização da aplicação nesta atividade. O procedimento é exatamente o mesmo, ao clicar no botão Help aparece do lado direito do ecrã informações sobre esta atividade.

Em relação às restantes opções que o utilizador pode tomar estas não foram implementadas pois não era um dos objetivos desta dissertação, porém seguidamente é apresentado o conceito destas funcionalidades.

Assim sendo, caso o utilizador pressione o botão laranja, denominado Best, aparece do lado direito do ecrã os dados do melhor treino que já foi realizado na aplicação.

Se o botão azul, ou seja, o botão Last Training, for carregado aparece também do lado direito do ecrã os dados recolhidos pelos sensores no último treino efetuado.

Por outro lado, se o botão All Trainings (botão vermelho) for pressionado, seguindo o mesmo raciocínio dos anteriores botões, aparece do mesmo lado os dados de todos os treinos já realizados na aplicação móvel.

Por último temos o botão roxo que se designa por Home que, como o próprio nome dá a entender, faz com que a aplicação volte para a atividade Home descrita acima.

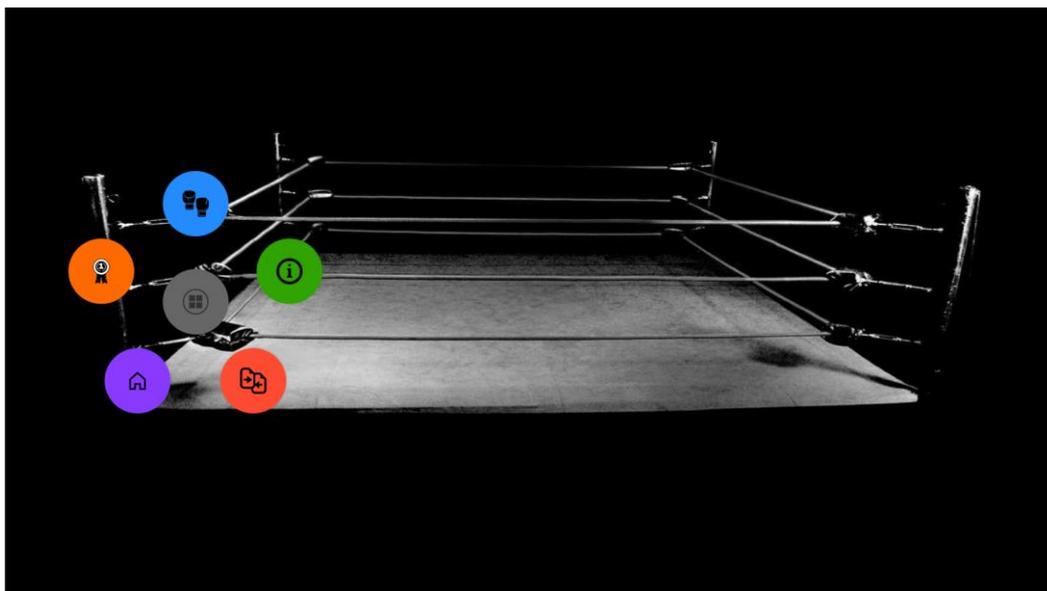


Figura 77-Atividade Evolution da aplicação Android

Na Figura 78 está apresentado o fluxograma de todas as ações que podem ser executadas e quais os eventos que essas ações geram na atividade Evolution.

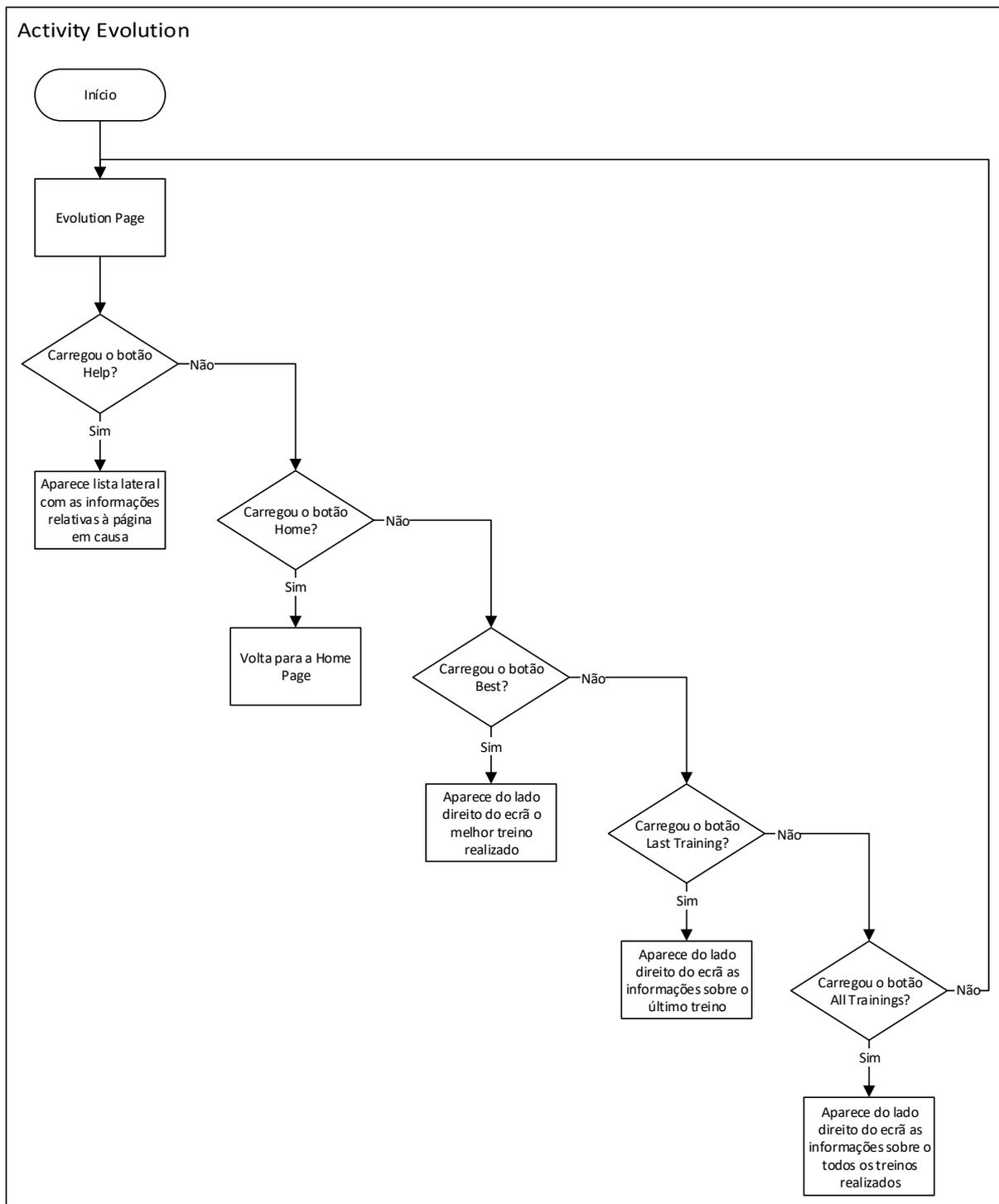


Figura 78-Fluxograma da atividade Evolution

Como pode ser visto na Figura 76, se o utilizador carregar no botão Training entra numa nova atividade com o mesmo nome. O *layout* da atividade Training está apresentado na Figura 79. No seguimento do design da aplicação até aqui, esta atividade possui também um menu com cinco botões.

Tal como referido nos *layouts* anteriores o botão Help (botão verde) tem exatamente a mesma função nesta atividade, ou seja, ajudar o utilizador em qualquer dúvida que tenha quanto ao funcionamento da aplicação.

Também como já foi apresentado no *layout* anterior, o botão roxo (botão Home) serve para voltar para a atividade Home.

O botão vermelho representa o modo de treino Reaction Speed. Este botão cria um evento que inicia uma nova atividade com o mesmo nome deste botão.

O botão laranja tem o nome de Paired e gera um evento que cria uma nova atividade que trata da busca e emparelhamento do dispositivo móvel com o hardware colocado no saco de boxe.

Por fim, o botão azul, denominado Normal Training, ao ser pressionado cria uma nova atividade com o mesmo nome. Esta nova atividade é onde o utilizador inicia o seu treino e onde são recolhidos e apresentados os dados recolhidos dos sensores.

De referir que se o utilizador carregar no botão Normal Training ou Reaction Speed antes de se conectar com o hardware do saco de boxe é apresentada no ecrã do dispositivo a mensagem “Offline! Please connect your device.”

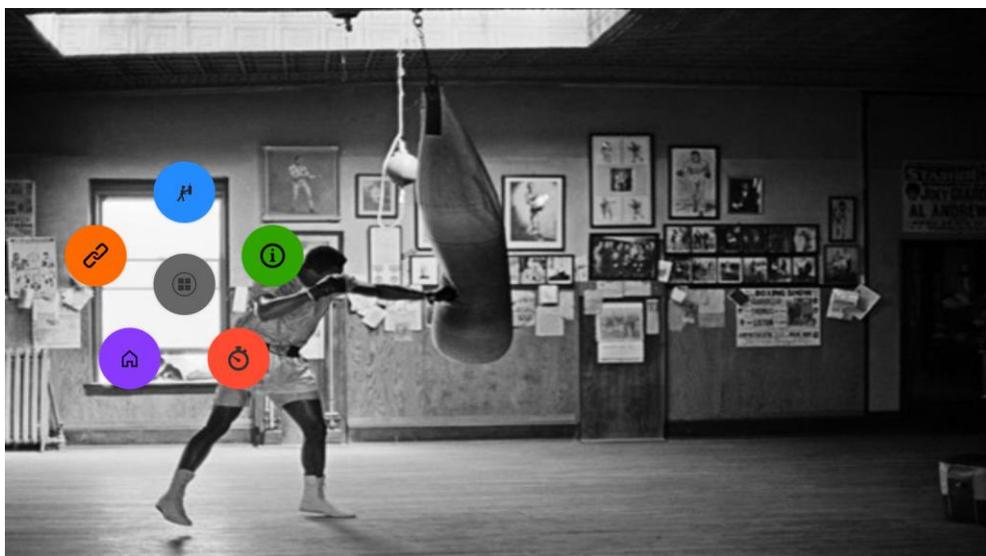


Figura 79-Atividade Training na aplicação Android

Na Figura 80 é apresentado o fluxograma da atividade Training com todas as decisões que o utilizador pode tomar bem como o funcionamento da aplicação perante as ações do utilizador.

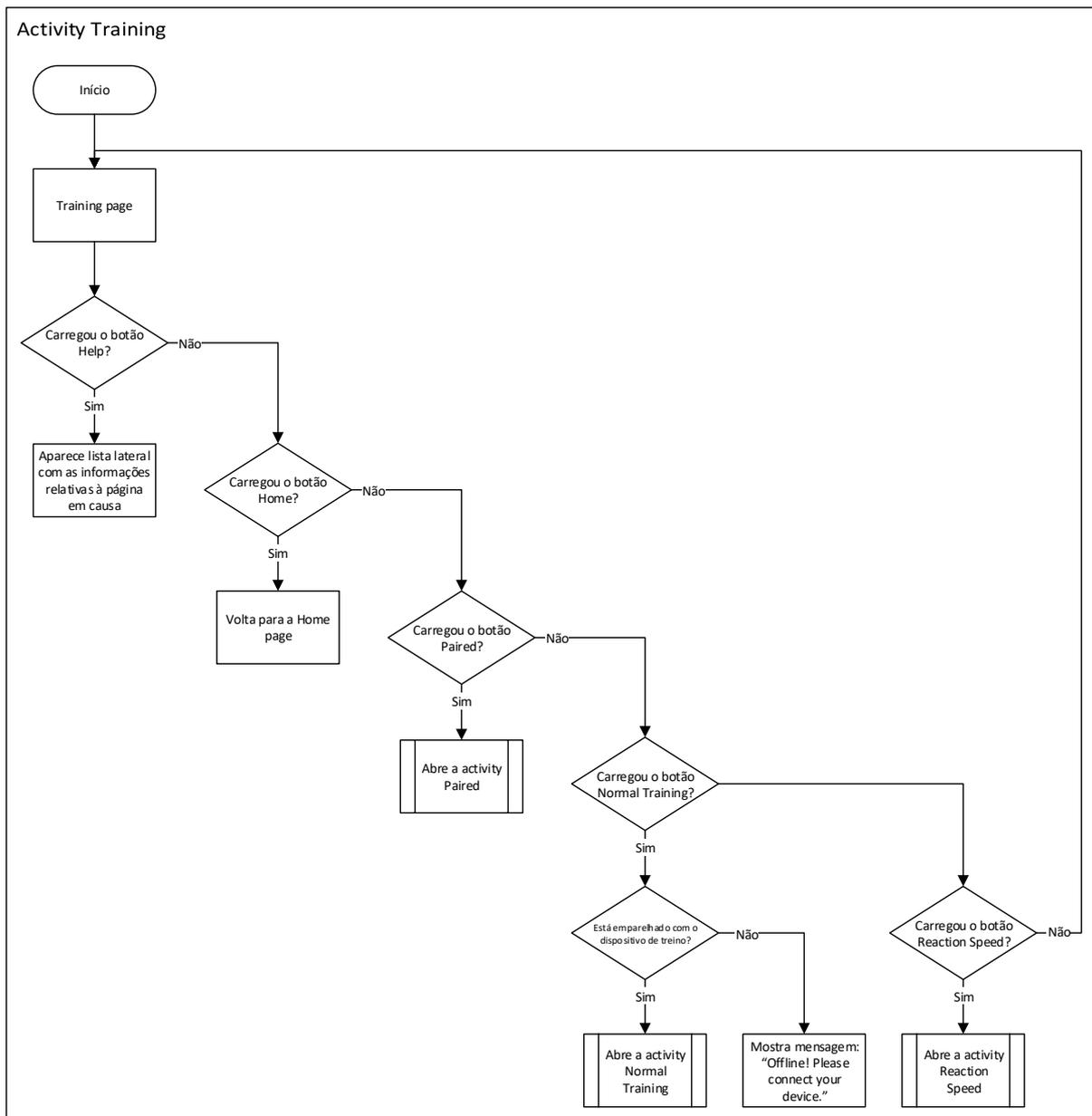


Figura 80-Fluxograma da atividade Training

Como referido anteriormente, quando o botão Paired é selecionado, é criada uma nova atividade com o mesmo nome.

Seguindo no mesmo *template* utilizado nesta aplicação, esta atividade possui um menu com quatro botões.

Neste menu existe um botão Home, tal como em outros menus anteriormente descritos, que serve para voltar à atividade Home.

Existe também um botão de Help (botão verde) para ajudar o utilizador no que toca a dúvidas referentes a esta página.

O botão vermelho chama-se Paired que, ao ser pressionado, exibe do lado direito do ecrã uma lista com todos os dispositivos aos quais o dispositivo em causa já se emparelhou.

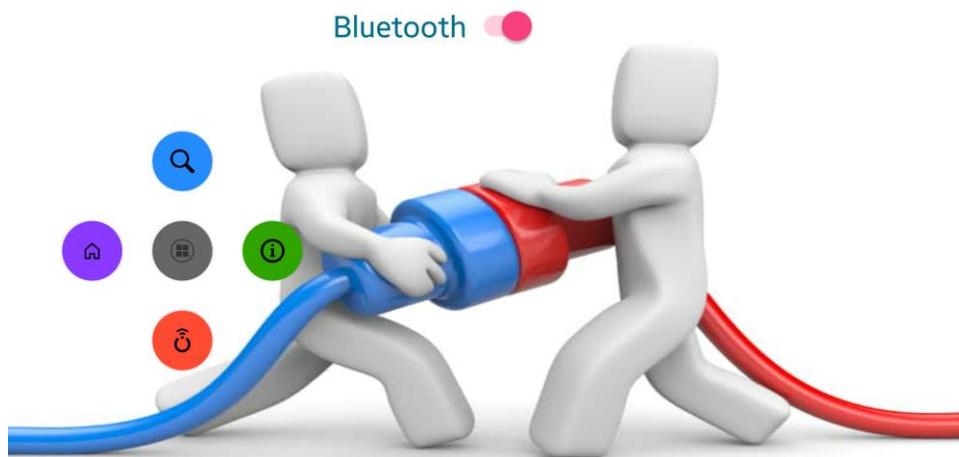


Figura 81-Atividade Paired na aplicação Android

Como pode ser visualizado na Figura 82, depois de carregar no botão azul (botão Scan) o dispositivo inicia uma busca por dispositivos móveis exibindo-os numa lista na parte direita do ecrã. Após o utilizador escolher o dispositivo de treino pretendido e a conexão ter sido feita, a aplicação volta para a atividade Training permitindo assim ao utilizador seleccionar a opção Normal Training ou Reaction Speed da atividade Training já descrita. Por outro lado, se não se conseguir conectar apresenta a mensagem "Conection Error".



Figura 82-Demonstração da procura de dispositivos

Na Figura 83 é apresentado o fluxograma da atividade Paired. Nele estão descritas todas as interações possíveis entre o utilizador e a aplicação Android durante a atividade Paired.

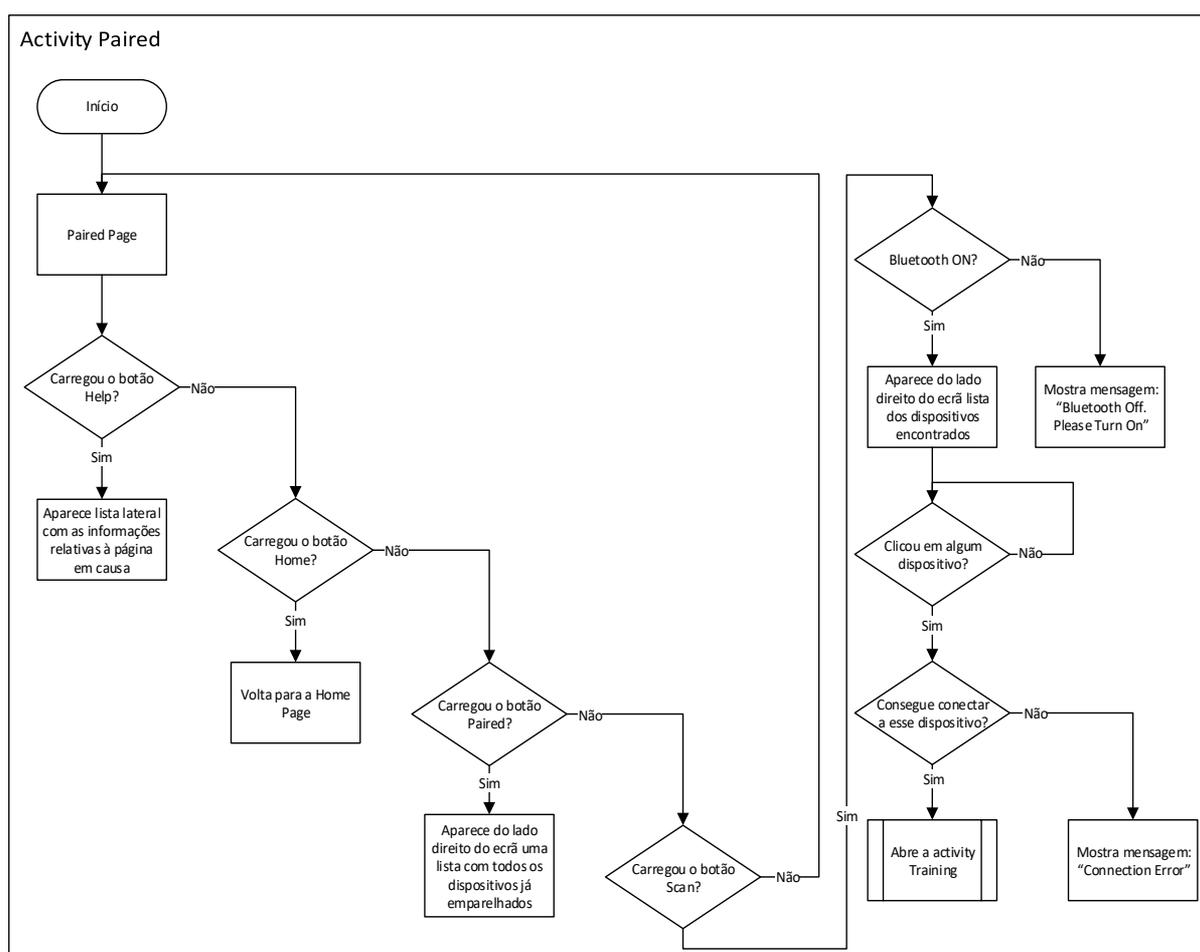


Figura 83-Fluxograma da atividade Paired

Depois da conexão entre a aplicação e o Arduino Mega presente na capa envolvente do saco de boxe ter sido efetuada com sucesso, a aplicação encontra-se pronta a iniciar o treino. Para isso é necessário que o utilizador selecione a opção Normal Training do menu apresentado na atividade Training.

Posteriormente é iniciada uma nova atividade com o nome de Normal Training. Esta atividade apresenta um gráfico com os dados recolhidos dos sensores e um botão de STOP para parar o treino a qualquer momento. O gráfico foi contruído com auxílio de uma biblioteca chamada MPAndroidChart, que permite muitas opções no que toca à conceção de gráficos em aplicações Android.

Aquando da entrada nesta atividade é exibida uma contagem regressiva desde o número cinco até ao número zero. Após isso é iniciada a receção dos valores provenientes dos sensores, sendo interpretados e exibidos no gráfico. Este processo ocorre durante os cinco minutos estipulados como duração do treino ou até o utilizador carregar no botão de STOP.

Na Figura 84 pode-se visualizar o layout da atividade Normal Training enquanto o utilizador está a realizar o seu treino.

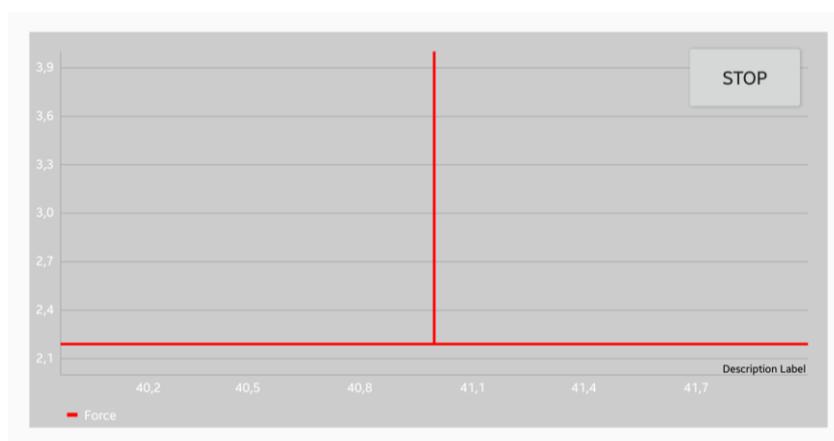


Figura 84-Atividade Normal Training na aplicação Android

Se a qualquer momento o botão de STOP for premido é exibida a mensagem “Training Ended” e os dados param de ser adquiridos e visualizados no gráfico.

Na Figura 85 é apresentado a mensagem que aparece quando o botão STOP é premido.



Figura 85-Demonstração do uso do botão STOP

Na Figura 86 pode ser visto o fluxograma com todas as interações que podem ser realizadas bem como as ações que a aplicação móvel realiza.

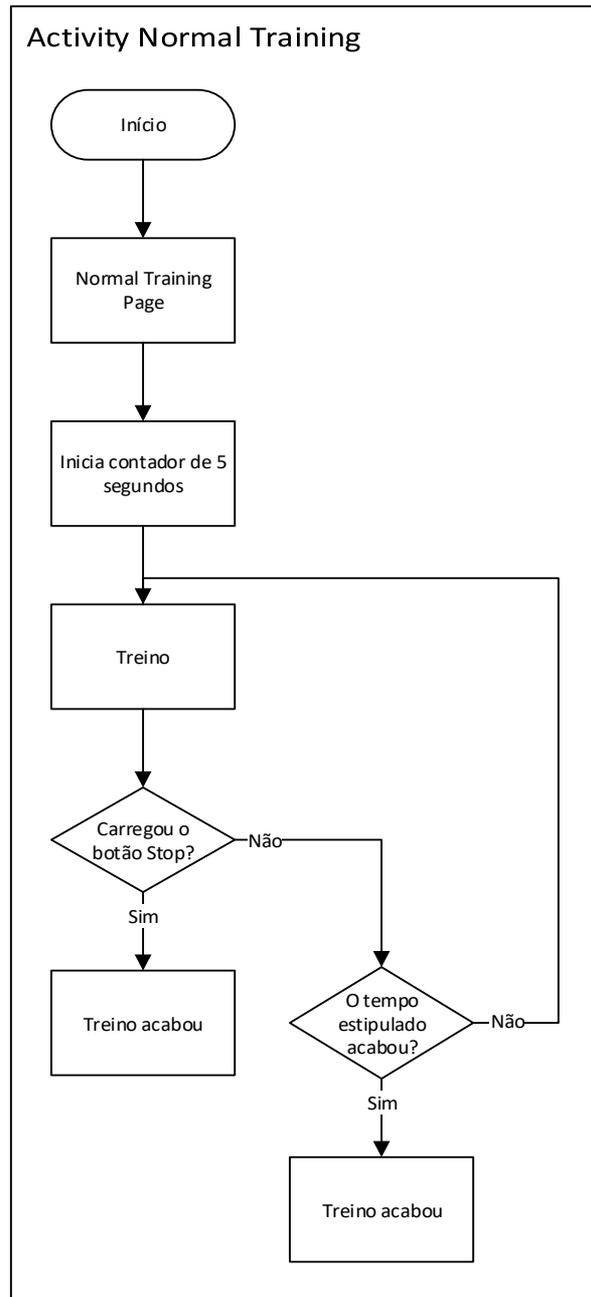


Figura 86-Fluxograma da atividade Normal Training

4.4 Sistema final

Depois de todo o software e hardware estar implementado e montado foi realizado um teste final ao sistema completo.

Na Figura 87 está uma fotografia que foi tirada após a montagem de todo o sistema e da colocação do mesmo no saco de boxe. Como se pode ver pela imagem, o sensor piezoresistivo cobre

grande parte do saco. Dele saem dois fios que foram colocados no circuito de condicionamento de sinal tal como foi descrito na página 31. O circuito de condicionamento foi alimentado a partir do Arduino Mega e o mesmo aconteceu com o dispositivo BLE. O Arduino foi alimentado através de uma porta USB de um computador portátil.



Figura 87-Apresentação do sistema final

Posteriormente iniciou-se a aplicação Android percorrendo todos os passos que foram descritos anteriormente até se iniciar o treino. Assim chegou-se à atividade Normal Training onde foi efetuado um treino normal.

Na Figura 88 estão apresentados os primeiros dados recolhidos aquando dos momentos iniciais do treino.

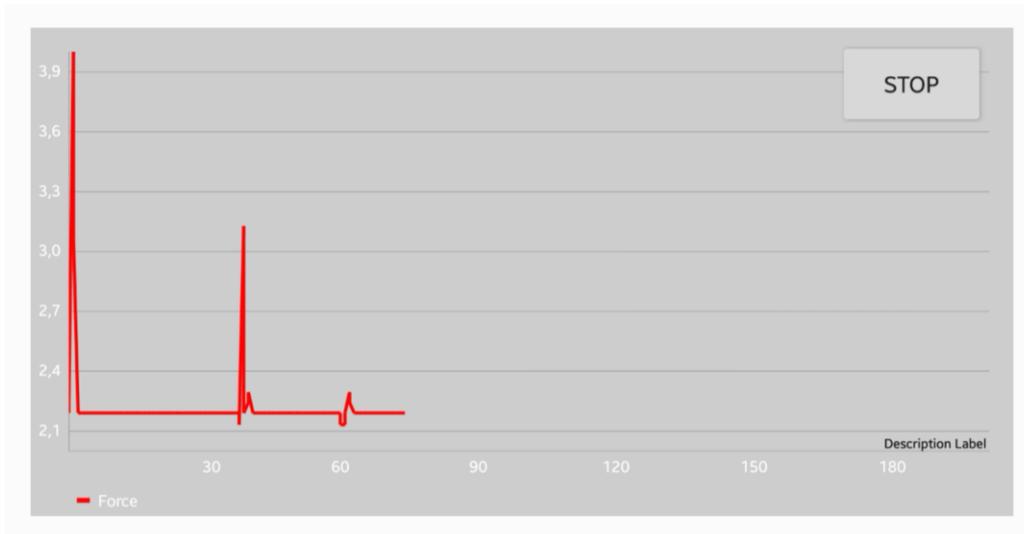


Figura 88-Demonstração durante inicio do treino

Na Figura 89 está apresentada um *screenshot* da aplicação durante o treino, onde se pode visualizar as diferenças entre golpes mais fortes ou mais leves.

Nesta imagem também se pode observar que, mesmo existindo golpes aplicados consecutivamente no saco, o *software* da aplicação Android consegue exibir picos distintos sendo fácil visualizar a força exercida em cada um deles, comprovando assim que os dados são todos transmitidos, tratados e exibidos sem que isso interfira com a visualização do treino em tempo real.

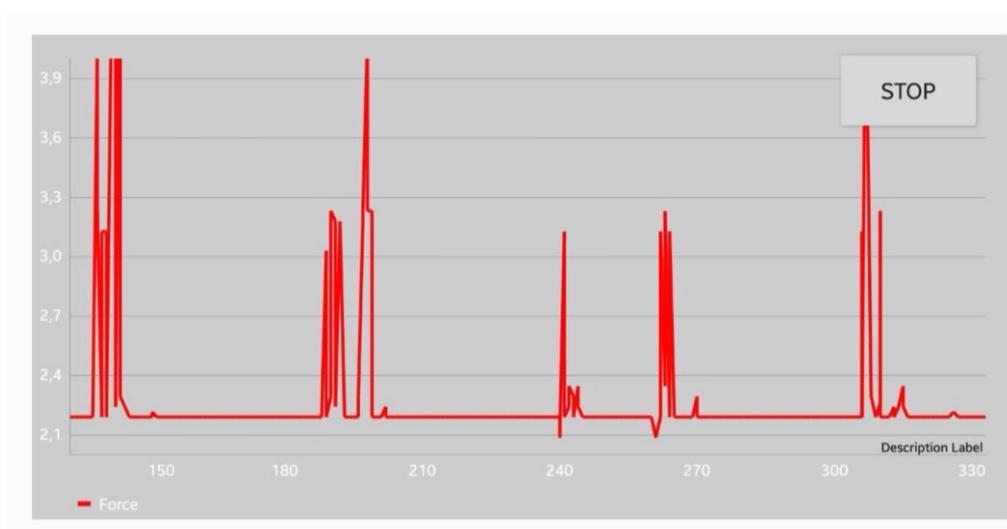


Figura 89-Demonstração durante o treino

Por fim foi pressionado o botão de STOP para terminar o treino e, tal como já foi descrito previamente, apareceu a mensagem “Training Ended” e os dados pararam de ser exibidos. Este processo pode ser visto na Figura 90.

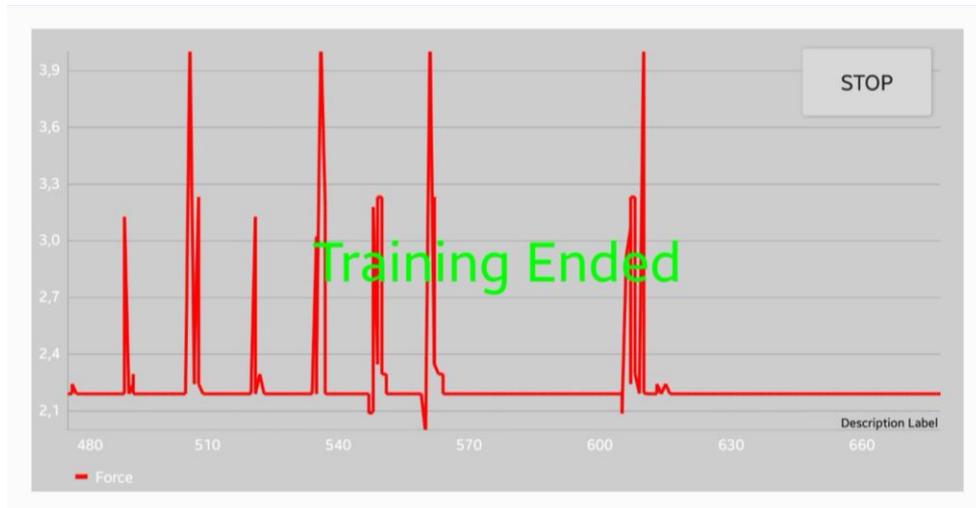


Figura 90-Demonstração do final do treino

O teste correu dentro das expectativas e de acordo com o que era pretendido. Durante o ensaio, o mais importante a ser testado era a aplicação Android, visto que o sensor já tinha sido avaliado através da aplicação em LabView desenvolvida para o efeito.

Assim sendo, conseguiu-se tirar conclusões muito positivas da aplicação uma vez que registou de maneira correta e em tempo real o treino.

5 CONCLUSÃO E TRABALHO FUTURO

5.1 Melhorias e trabalho futuro

Ao longo desta dissertação foram apresentados muitos conceitos fundamentados em bibliografia e ensaios que foram executados ao sistema de monitorização de treinos desenvolvido. No entanto, qualquer sistema inovador tem imperfeições no início e como o tempo para resolução da dissertação de mestrado é limitado, não foi possível executar alguns processos. Como tal, fica aqui uma lista de sugestões de trabalho futuro:

- Criar uma placa de condicionamento de sinal e de ADC com o microcontrolador escolhido bem como o dispositivo BLE baseada em componentes SMD (Surface-Mount Device) o que diminui significativamente o tamanho da solução.
- O *software* na aplicação Android possui um bug relacionado com a biblioteca escolhida para fazer o gráfico. Como já referido anteriormente, esta biblioteca chama-se MPAndroidChart e está em constante desenvolvimento, pelo que não deve tardar muito tempo a fazerem um upgrade e corrigirem esse bug visto que já foi relatado por muitos utilizadores desta biblioteca.
- Tornar configurável o tempo de treino, isto é, dar várias opções a escolher ao utilizador quanto tempo quer treinar.
- No que toca ao aspeto da aplicação, este poderia ser mais apelativo, sobretudo na atividade Normal Training, com um gráfico diferente.
- Criação de um botão de Pause caso o utilizador necessite de uma pausa durante o treino por algum motivo.
- Acrescentar o modo Reaction Speed na aplicação Android. Este modo já se encontra desenvolvido no microcontrolador, faltando apenas o desenvolvimento no dispositivo móvel.
- Criação de uma base de dados para guardar os treinos e exibi-los mais tarde na aplicação.

5.2 Conclusão

O tema dos sistemas de monitorização de treinos, seja em artes marciais seja nos desportos em geral é um tema atual e de grande interesse, pois cada vez mais os consumidores deste tipo de *gadgets* procuram e exigem o melhor. Devido a isso, este tema de dissertação foi abordado com o maior empenho e dedicação, para que o resultado final deste trabalho fosse o mais eficiente possível e se aproximasse o mais possível de um produto comercializável. Com o desenvolvimento deste aparelho foi possível absorver conhecimentos na criação de *hardware* e no desenvolvimento de *software*.

Hoje em dia os sistemas de monitorização de treinos são equipamentos muito importantes na avaliação quer dos atletas quer de atletas amadores que queiram ter informação sobre a sua evolução, por isso no Capítulo 2 foi realizado um estudo para ver quais as soluções já estudadas e implementadas em alguns casos já existindo no mercado. Para a implementação deste sistema foi também preciso realizar uma pesquisa sobre os materiais para a construção do sensor bem como métodos para a transmissão de dados que fosse eficiente para este caso em específico.

Com o estudo dos problemas que existem na monitorização de treinos e do estado de arte é possível concluir que é motivador e útil criar um sistema de monitorização de treinos com uma boa performance e de baixo custo. Posto isto, para a formulação desta solução foram utilizados sensores de força e acelerómetros, um sistema de condicionamento de sinal, um microcontrolador com quatro canais ADC, um dispositivo Bluetooth BLE e o desenvolvimento de uma aplicação Android. A nível de *hardware* o custo deste produto ronda os 150 euros, em que o componente mais caro seria de longe o sensor piezoresistivo. O baixo custo e a aquisição tão rápida de amostras foram dois aspetos cruciais na execução deste projeto, pois permitiram que a velocidade de aquisição de sinal fosse elevada e que o tratamento dos dados recolhidos fosse feito com o devido tempo, para que não fossem comprometidos os dados mostrados a um futuro utilizador.

No Capítulo 3, na descrição de software foram disponibilizados todos os algoritmos e técnicas que foram imprescindíveis na realização do software para a placa de desenvolvimento e tratamento de dados bem como a definição das tramas que são enviadas entre a placa de desenvolvimento e a aplicação Android. O software de alto nível, também abordado no Capítulo 3, criado no Android Studio para um dispositivo móvel Android, começou por criar alguns problemas na sua realização devido ao desconhecimento de alguns métodos de programação essenciais para o desenvolvimento de software utilizando esta plataforma e esta linguagem. No entanto, ultrapassado o problema de adaptação ao

ambiente de desenvolvimento e linguagem de programação, a construção e desenvolvimento do software para a interface gráfica da aplicação fluiu normalmente.

No final do Capítulo 4, foram apresentados todos os resultados obtidos com o sistema de monitorização implementado, através dos quais se pode confirmar o bom funcionamento deste sistema, bem como todo o desenvolvimento do sensor, placa de desenvolvimento e aplicação Android desde o início da dissertação.

Com os testes realizados ao sistema de monitorização pode-se concluir que o processo de construção deste equipamento foi concluído com êxito.

BIBLIOGRAFIA

- [1] “A história da arte marcial.” [Online]. Available: <https://www.portaleducacao.com.br/educacao-fisica/artigos/49894/a-historia-da-arte-marcial>. [Accessed: 08-Nov-2016].
- [2] “TRACAB OPTICAL TRACKING.” [Online]. Available: <http://chyronhego.com/sports-data/tracab>. [Accessed: 01-Dec-2016].
- [3] “PASSION.PRECISION.VELOCITY.” [Online]. Available: <http://www.stats.com/>. [Accessed: 01-Dec-2016].
- [4] “ATHOS GEAR. Smart clothing to unlock peak performance.” [Online]. Available: <https://www.liveathos.com/>. [Accessed: 01-Dec-2016].
- [5] Karen Lightman, “Next-Gen Sensors Make Golf Clubs, Tennis Rackets, and Baseball Bats Smarter Than Ever,” *IEEE Spectr.*, 2016.
- [6] “Product Review: StrikeMeter by Martial Arts Instruments.” [Online]. Available: <http://www.stevejenkins.com/blog/2015/05/product-review-strikemeter-by-martial-arts-instruments/>. [Accessed: 08-Nov-2016].
- [7] “Boxer Training Kit.” [Online]. Available: <http://www.loadstarsensors.com/boxer-training-kit.html>. [Accessed: 10-Nov-2016].
- [8] “THIS IS YOUR CORNER. The complete boxing tracker.” [Online]. Available: <https://thecornerapp.com>. [Accessed: 01-Dec-2016].
- [9] “Impact Wrap.” [Online]. Available: <https://impactwrap.com/>. [Accessed: 05-Jan-2017].
- [10] “Acelerómetro de 3 eixos.” [Online]. Available: <https://store.fut-electronics.com/products/triple-axis-analog-accelerometer-module-adxl-335>. [Accessed: 04-Dec-2017].
- [11] “MEMS accelerometers.” [Online]. Available: <http://www.pcb.com/Resources/Technical-Information/mems-accelerometers>.
- [12] R. Elwenspoek, Miko, Wiegerink, *Mechanical Microsensors*. 2001.
- [13] “Acelerómetro Capacitivo.” [Online]. Available: https://www.researchgate.net/figure/264833557_fig2_Figure-2-Capacitive-accelerometer-with-lateral-sensing. [Accessed: 01-Dec-2016].
- [14] J. Doscher and M. Evangelist, “Accelerometer Design and Applications.”
- [15] “Acelerómetro piezolétrico.” [Online]. Available: <https://www.pc-control.co.uk/accelerometers.htm>. [Accessed: 01-Dec-2016].

- [16] M. Messina, J. Njuguna, and C. Palas, "Mechanical Structural Design of a MEMS-Based Piezoresistive Accelerometer for Head Injuries Monitoring: A Computational Analysis by Increments of the Sensor Mass Moment of Inertia I ," pp. 1–16, 2018.
- [17] "Accelerometer." [Online]. Available: <http://www.sensorwiki.org/doku.php/sensors/accelerometer>. [Accessed: 01-Dec-2016].
- [18] "Demystifying Piezoresistive Pressure Sensors." [Online]. Available: <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/871>. [Accessed: 05-Dec-2016].
- [19] "What's The Difference Between Piezoelectric And Piezoresistive Components?" [Online]. Available: <http://www.electronicdesign.com/components/what-s-difference-between-piezoelectric-and-piezoresistive-components>. [Accessed: 05-Dec-2016].
- [20] "3M Science. Applied to Life." [Online]. Available: http://www.3m.com.pt/3M/pt_PT/empresa-pt/?WT.mc_id=www.3m.com.pt [Acedido a: [Accessed: 27-Dec-2016].
- [21] "KCC Silicone." [Online]. Available: http://www.kccworld.co.kr/silicone/kor/product/product_detail02.asp?prlddx=399&gb=search. [Accessed: 27-Dec-2016].
- [22] L. Capineri, "Resistive sensors with smart textiles for wearable technology: From fabrication processes to integration with electronics," *Procedia Eng.*, vol. 87, pp. 724–727, 2014.
- [23] "PPS." [Online]. Available: <https://pressureprofile.com/foot-pressure-mapping-system>. [Accessed: 28-Mar-2018].
- [24] "Tekscan." [Online]. Available: <https://www.tekscan.com/products-solutions/systems/body-pressure-measurement-system-bpms-research>. [Accessed: 28-Mar-2018].
- [25] "Kitronyx." [Online]. Available: https://www.kitronyx.com/store/p28/MS9717_Mid_Area_FSR_Matrix_Array_Sensor_%2848x48_Rows_and_Columns_%2F_240mm_x_240mm_Active_Sensing_Area%29.html. [Accessed: 28-Mar-2018].
- [26] R. Pallàs-Areny and J. G. Webster, *Sensors and Signal Conditioning*, Second Edi. .
- [27] "RF, Microwave and Wireless Engineering Resource." [Online]. Available: <http://rfandwireless.com/5/link/>. [Accessed: 18-Dec-2017].
- [28] "DCN - Wireless Transmission." [Online]. Available: https://www.tutorialspoint.com/data_communication_computer_network/wireless_transmission.htm. [Accessed: 18-Dec-2017].

- [29] "The Electromagnetic Spectrum." [Online]. Available: https://www.miniphysics.com/electromagnetic-spectrum_25.html. [Accessed: 18-Dec-2017].
- [30] "Bluetooth On The Road." [Online]. Available: https://web.archive.org/web/20110111075514/http://www.hoovers.com/business-information/-pageid__13751-/global-hoov-index.xhtml. [Accessed: 05-Feb-2018].
- [31] "6 Things You Didn't Know About Bluetooth." [Online]. Available: <https://medium.com/iotforall/6-things-you-didnt-know-about-bluetooth-3ebb50ba370e>. [Accessed: 05-Feb-2018].
- [32] "Bluetooth Basics." [Online]. Available: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/bluetooth-basics>. [Accessed: 05-Feb-2018].
- [33] "Bluetooth Low Energy." [Online]. Available: <http://www.electronicdesign.com/mobile/what-s-difference-between-bluetooth-low-energy-and-ant>. [Accessed: 22-Feb-2018].
- [34] "Introduction to Bluetooth Low Energy." [Online]. Available: <https://learn.adafruit.com/introduction-to-bluetooth-low-energy?view=all>. [Accessed: 09-Mar-2018].
- [35] "ARDUINO MEGA 2560." [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-mega-2560-rev3>. [Accessed: 22-Feb-2018].
- [36] S. Bluetooth and S. Ready, "User Manual," 2014.
- [37] A. Paiva, "Relatório Técnico Sensor Boxe." .

ANEXO I – LISTA DE FUNÇÕES DA PLACA DE AQUISIÇÃO

Main

`void receive_key_TR_TN(void)`

Função que recebe os comandos provenientes da aplicação Android.

Gestão de treinos

`void normal_training(void)`

Função onde se realiza o treino normal. Nesta função são enviadas tramas através da função:

`void send_trama_tn(uint16_t channel0, uint16_t channel1, uint16_t channel2, uint16_t channel3)`.

`void reaction_training(void)`

Função onde realiza o treino de reação. Nesta função são enviadas tramas através da função:

`void send_trama_tr(uint32_t time, uint16_t channel0, uint16_t channel1, uint16_t channel2, uint16_t channel3)`

Para detetar impactos durante o treino de reação é utilizada a função: `int impact_detect(uint16_t* channel0, uint16_t* channel1, uint16_t* channel2, uint16_t* channel3)`

Conversão analógico/digital

`void adc_init(void)`

Função de inicialização do ADC.

`void disable_adc(void)`

Função que pára a aquisição no ADC.

`void adc_select(void)`

Função que seleciona sequencialmente (no intervalo de 0-4) qual o canal ADC a adquirir.

`int circBufPush(circBuf_t *c, uint16_t data)`

Função que guarda num vetor circular o ultimo valor lido através de um dos canais ADC.

```
int circBufPop(circBuf_t *c, uint16_t *data)
```

Função que retira, lê e apaga o primeiro valor que foi guardado no buffer.

Gestão de tempos

```
void timer1_init(void)
```

Função de inicialização do timer 1.

```
void disable_timer1(void)
```

Função que desliga o timer 1.

```
void init_timer3_5min(void)
```

Função de inicialização do timer 3, configurando-o para uma contagem de 5 min.

```
void disable_timer3_5min(void)
```

Função que desliga o timer 3.

```
void init_timer4_3min(void)
```

Função de inicialização do timer 4, configurando-o para uma contagem de 3 min.

```
void disable_timer4_3min(void)
```

Função que desliga o timer 4.

```
void init_timer5(void)
```

Função de inicialização do timer 5 que é utilizado para a contagem do tempo de reação.

```
void disable_timer5(void)
```

Função que desliga o timer 5.

`ISR(TIMER1_OVF_vect)`

Interrupção do timer 1.

`ISR(TIMER3_OVF_vect)`

Interrupção do timer 3.

`ISR(TIMER4_OVF_vect)`

Interrupção do timer 4.

`ISR(TIMER5_OVF_vect)`

Interrupção do timer 5.

Gestão de Comunicações

`void serial_init(unsigned int baud)`

Função que configura e inicializa a porta série.

`void UART_Send (unsigned char byte)`

Função de envio de um byte. Esta função é utilizada pelas funções `void receive_key_TR_TN(void)`,

`void send_trama_tn()` e `void send_trama_tr()`.

`ISR(USART0_RX_vect)`

Interrupção da porta série.

ANEXO II – LISTA DE FUNÇÕES SOFTWARE ANDROID

Home

```
circleMenu.setOnMenuSelectedListener(new OnMenuSelectedListener())
```

Função que fica à espera que o utilizador escolha a uma das opções disponíveis.

Gestor de Comunicações

Paired

```
protected void onCreate(Bundle savedInstanceState)
```

Função que cria a atividade “Paired” e todas as suas variáveis.

```
private class myLeScanCallback implements BluetoothAdapter.LeScanCallback
```

Função que permite a pesquisa de outros dispositivos Bluetooth.

```
OnOff.setOnCheckedChangeListener(new  
CompoundButton.OnCheckedChangeListener())
```

Função que permite alternar entre Bluetooth ativo ou inativo.

myGattCallback

```
public void onConnectionStateChange(BluetoothGatt gatt, int status, int  
newState)
```

Função que testa a conexão do dispositivo.

```
public void onServicesDiscovered(BluetoothGatt gatt, int status)
```

Função que regista a informação dos dispositivos descobertos durante a pesquisa.

```
private void broadcastUpdate (final String action, final  
BluetoothGattCharacteristic characteristic)
```

Função que guarda num buffer circular os dados provenientes da placa de aquisição.

Gráfico Força/Tempo

`protected void onCreate(Bundle savedInstanceState)`

É nesta função na atividade “Normal Training” que o gráfico é criado. O seu preenchimento ocorre durante a *thread*, também inicializada nesta atividade.