



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR  
Engenharia

# Recolha e Análise de Bio-Sinais em Ambientes Abertos

**Celina Micaela Afonso Alexandre**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia Informática**  
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Professor Doutor Nuno M. Garcia  
Co-orientador: Professor Doutor Rui Brás

Covilhã, Outubro de 2016



A todos aqueles que sempre estiveram do meu lado...



## Agradecimentos

No decorrer desta dissertação foram várias as pessoas que se mostraram disponíveis para ajudar e dar todo o apoio necessário.

Quero agradecer ao Daniel por toda a ajuda, todo o apoio e incentivo desde o início desta minha caminhada na UBI. Agradecer também ao Professor Doutor Nuno M. Garcia não só por esta fase da dissertação mas por toda a ajuda e apoio prestado ao longo destes anos. Agradecer também à Virgínia pelo apoio, ajuda e amizade, ao Professor Doutor Rui Brás pela disponibilidade em co-orientar a minha dissertação, aos meus pais e padrinhos por todo o apoio ao longo da minha vida e, por último, mas não menos importante, a todos os voluntários que disponibilizaram algumas horas das suas vidas para realizarem as recolhas dos bio-sinais.

A todos aqueles que não foram mencionados aqui, mas que de alguma forma contribuíram para que realizasse mais uma etapa da minha vida.

Obrigada!



## Resumo

Esta dissertação descreve os trabalhos de investigação realizados na construção de uma base de dados com bio-sinais recolhidos em ambientes abertos. Estes sinais foram recolhidos durante duas caminhadas realizadas em ambientes diferentes: um trajecto de montanha repleto de árvores onde o piso é de terra, e um outro trajecto de cidade, com poucas árvores e o piso em alcatrão. Estes dados foram recolhidos com recurso a um BITalino e a *Global Positioning System* (GPS). Todos os dados foram armazenados num *smartphone*. Com os dados GPS foi desenvolvido um algoritmo que suaviza os trajectos recolhidos. Como forma de verificar e validar o método de recolha dos restantes dados recolhidos, nomeadamente, Electrocardiograma (ECG), Electromiografia (EMG) e Acelerometria (ACC), foram realizadas recolhas com recurso a uma passadeira. A base de dados é pública e poderá ser acedida por qualquer outro investigador afim de ter dados para realizar outras análises aos mesmos.

## Palavras-chave

Recolha de bio-sinais, ambientes abertos, caminhada, base de dados de bio-sinais, análise e validação de bio-sinais em ambientes abertos, análise de bio-sinais, validação de bio-sinais, bio-sinais em ambientes abertos, recolha de dados GPS, análise de dados GPS.



## Abstract

This dissertation describes the investigation work realized in the construction of a bio-signals database acquired in open environments. These signals were acquired during two walks with different environments: a mountain path full of trees with ground floor, and the other in a city path with almost no trees and with tar ground. This data was acquired with the use of a BITalino and a GPS, connected to a smartphone that store the acquired data. With the GPS data an algorithm to smooth it was developed. In order to verify and validate the acquiring method from the remaining collected data, namely, Electrocardiogram (ECG), Electromyography (EMG) and Accelerometry (ACC), acquisitions were made using a treadmill. The database is public and will be accessible by any other researcher that wants to perform other analysis to them.

## Keywords

Collection of biosignals, open environments, walking, biosignal database, analysis and validation biosignals in open environments, biosignals analysis, biosignals validation, biosignals outdoors, GPS data, GPS acquisition, GPS smoothing, GPS error.



# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Contexto e Motivação . . . . .	1
1.2	Descrição do Problema . . . . .	1
1.3	Organização do Documento . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Estudo do Estado da Arte</b>	<b>5</b>
2.1	Introdução . . . . .	5
2.2	Recolha de Sinais Electromiografia (EMG) . . . . .	5
2.3	Recolha de Sinais Electrocardiograma (ECG) . . . . .	7
2.4	Recolha de Sinais Acelerometria (ACC) . . . . .	7
2.5	Recolha de Sinais <i>Global Positioning System</i> (GPS) . . . . .	9
2.6	Conclusão . . . . .	9
<b>3</b>	<b>Definição da Recolha</b>	<b>11</b>
3.1	Introdução . . . . .	11
3.2	Definição dos Percursos e Recolha de <i>Global Positioning System</i> (GPS) . . . . .	11
3.2.1	Experiências em Diversos Tipos de Percursos . . . . .	12
3.2.1.1	Percurso de Montanha . . . . .	13
3.2.1.2	Percurso de Cidade . . . . .	14
3.2.1.3	Percurso de Praia . . . . .	15
3.2.2	Experiências com Diversos Dispositivos <i>Global Positioning System</i> (GPS) . . . . .	15
3.2.2.1	Recolha de Dados de <i>Global Positioning System</i> (GPS) com <i>Smartphones</i> . . . . .	15
3.2.2.2	Recolha de Dados de <i>Global Positioning System</i> (GPS) com Dispositivo <i>Bluetooth</i> . . . . .	16
3.3	Definição da Recolha de Bio-Sinais . . . . .	16
3.4	Protocolo de Recolha . . . . .	17
3.5	Conclusão . . . . .	18
<b>4</b>	<b>Solução Desenvolvida</b>	<b>19</b>
4.1	Introdução . . . . .	19
4.2	Adaptação dos BITalinos . . . . .	19
4.3	Algoritmo Desenvolvido . . . . .	21
4.4	Testes ao Algoritmo Desenvolvido . . . . .	26
4.5	Conclusão . . . . .	27
<b>5</b>	<b>Implementação e Resultados da Recolha de <i>Global Positioning System</i> (GPS)</b>	<b>29</b>
5.1	Introdução . . . . .	29
5.2	Implementação do Protocolo de Recolha . . . . .	29
5.2.1	Resultados da Recolha . . . . .	30
5.2.1.1	Trajecto Guardado . . . . .	30
5.2.1.2	Altitudes Guardadas . . . . .	34
5.3	Base de Dados . . . . .	36
5.4	Conclusão . . . . .	37

<b>6</b>	<b>Análise e Validação dos Dados Electrocardiograma (ECG), Electromiografia (EMG) e Acelerometria (ACC)</b>	<b>39</b>
6.1	Introdução . . . . .	39
6.2	<i>Signal-To-Noise Ratio</i> (SNR) . . . . .	39
6.3	Conclusão . . . . .	47
<b>7</b>	<b>Conclusões e Trabalho Futuro</b>	<b>49</b>
7.1	Conclusões . . . . .	49
7.2	Trabalho Futuro . . . . .	50
	<b>Bibliografia</b>	<b>51</b>
<b>A</b>	<b>Imagens da Fase de Testes ao Algoritmo Desenvolvido</b>	<b>55</b>
<b>B</b>	<b>Análise aos Ficheiros GPS eXchange Format (GPX) Recolhidos</b>	<b>63</b>
B.1	Recolha A . . . . .	63
B.2	Recolha B . . . . .	68
B.3	Recolha C . . . . .	73
B.4	Recolha C . . . . .	78
B.5	Recolha D . . . . .	83
B.6	Recolha E . . . . .	88
B.7	Recolha F . . . . .	93
B.8	Recolha G . . . . .	98
<b>C</b>	<b>Gráficos dos Sinais Recolhidos</b>	<b>103</b>
<b>D</b>	<b>Protocolo de Recolha e Artigo Científico</b>	<b>107</b>

## Lista de Figuras

3.1	Imagem do percurso de montanha no Circuito de Manutenção da Covilhã. . . . .	12
3.2	Imagem do percurso de cidade no Complexo Desportivo da Covilhã. . . . .	13
3.3	Imagem que mostra os trajectos guardados pelo LG G3 (a azul) com apenas o GPS ligado e o trajecto do UMI Hammer (a vermelho) com o GPS ligado e conectado a uma Internet móvel. . . . .	13
3.4	Imagem que mostra uma parte do trajecto recolhido pelo LG G3 com mudanças de direcção. . . . .	14
3.5	Imagem que mostra o trajecto recolhido pelo LG G3 (azul), UMI Hammer (vermelho) e Moto G (amarelo). . . . .	14
3.6	Imagem que mostra um trajecto realizado na cidade da Covilhã. Um percurso com prédios. . . . .	15
3.7	Imagem que mostra um trajecto realizado na praia. Este trajecto não possui qualquer objecto / construção de grande altitude. . . . .	15
3.8	Imagem que mostra um trajecto guardado por um GPS <i>Bluetooth</i> TomTom numa área de floresta densa. . . . .	16
4.1	Imagem que mostra a colocação dos electrodos (a vermelho) no corpo. Os cabos estão representados a azul e a bolsa lateral que transporta o BITalino a verde. . . . .	20
4.2	Imagem que mostra o resultado final da adaptação do BITalino para esta dissertação. . . . .	20
4.3	Análise de pontos, remoção e criação de um novo ponto. . . . .	21
4.4	A azul, uma imagem de uma curva recolhida por um <i>smartphone</i> UMI Hammer no Circuito de Manutenção da Covilhã. Os restantes trajectos coloridos são resultantes da análise pelo algoritmo desenvolvido: distância de 16 metros representada a amarelo, distância de 18 metros a vermelho e a verde uma distância de 20 metros. . . . .	22
4.5	Gráfico que representa as altitudes recolhidas por um <i>smartphone</i> UMI Hammer no Circuito de Manutenção da Covilhã. . . . .	23
4.6	Gráfico que representa as altitudes mostradas no Google Earth no ficheiro recolhido por um <i>smartphone</i> UMI Hammer no Circuito de Manutenção da Covilhã. . . . .	23
4.7	Gráfico que representa as altitudes recolhidas por um <i>smartphone</i> Wiko Wax no Circuito de Manutenção da Covilhã. . . . .	23
4.8	Gráfico que representa as altitudes modificadas pelo algoritmo desenvolvido e que foram recolhidas por um <i>smartphone</i> Wiko Wax no Circuito de Manutenção da Covilhã. . . . .	23
4.9	Fluxograma que representa o tratamento dos dados pelo algoritmo desenvolvido. . . . .	24
5.1	Imagem do trajecto recolhido pelo Wiko Wax. . . . .	31
5.2	Imagem dos trajectos recolhidos pelo Wiko Wax. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo. . . . .	31
5.3	Imagem do trajecto recolhido pelo Wiko Wax. . . . .	32
5.4	Imagem dos trajectos recolhidos pelo Wiko Wax. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo. . . . .	32
5.5	Imagem do trajecto recolhido pelo Sony Xperia. . . . .	33
5.6	Imagem dos trajectos recolhidos pelo Sony Xperia. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo. . . . .	33

5.7	Imagem do trajecto recolhido pelo Sony Xperia. . . . .	34
5.8	Imagem dos trajectos recolhidos pelo Sony Xperia. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo. . . . .	35
5.9	Gráfico de altitudes recolhido pelo Wiko Wax durante o trajecto do Circuito de Manutenção. . . . .	35
5.10	Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo Wiko Wax durante o trajecto do Circuito de Manutenção. . . . .	35
5.11	Gráfico de altitudes recolhido pelo Wiko Wax durante o trajecto do Complexo Desportivo. . . . .	35
5.12	Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo Wiko Wax durante o trajecto do Complexo Desportivo. . . . .	36
5.13	Gráfico de altitudes recolhido pelo Sony Xperia durante o trajecto do Circuito de Manutenção. . . . .	36
5.14	Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo Sony Xperia durante o trajecto do Circuito de Manutenção. . . . .	36
5.15	Gráfico de altitudes recolhido pelo Sony Xperia durante o trajecto do Complexo Desportivo. . . . .	36
5.16	Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo Sony Xperia durante o trajecto do Complexo Desportivo. . . . .	37
6.1	Imagem do trajecto do Complexo Desportivo escolhido e que foi replicado na passadeira. . . . .	40
6.2	Imagem do trajecto do Circuito de Manutenção escolhido e que foi replicado na passadeira. . . . .	40
6.3	Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal ECG recolhido no Circuito de Manutenção. . . . .	41
6.4	Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal ECG recolhido no Complexo Desportivo. . . . .	41
6.5	Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal EMG recolhido no Circuito de Manutenção. . . . .	42
6.6	Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal EMG recolhido no Complexo Desportivo. . . . .	42
6.7	Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal EMG recolhido no Complexo Desportivo. . . . .	43
6.8	Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal EMG recolhido na passadeira replicando o percurso do Complexo Desportivo. . . . .	43
6.9	Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal EMG recolhido no Circuito de Manutenção. . . . .	43
6.10	Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal EMG recolhido na passadeira replicando o percurso do Circuito de Manutenção. . . . .	43
6.11	Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal ECG recolhido no Complexo Desportivo. . . . .	44
6.12	Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal ECG recolhido na passadeira replicando o percurso do Complexo Desportivo. . . . .	44
6.13	Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal ECG recolhido no Circuito de Manutenção. . . . .	45
6.14	Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal ECG recolhido na passadeira replicando o percurso do Circuito de Manutenção. . . . .	45
A.1	Imagem do percurso do Circuito de Montanha. . . . .	55
A.2	Gráfico de altitudes do percurso resultante do algoritmo. . . . .	55
A.3	Imagem do trajecto resultante da análise do algoritmo desenvolvido. . . . .	56
A.4	Imagem aproximada do trajecto realizado. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo desenvolvido. . . . .	56

## Recolha e Análise de Bio-Sinais em Ambientes Abertos

A.5	Imagem total do trajecto realizado. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo desenvolvido. . . . .	57
A.6	Comapração entre três percursos.Imagem que mostra parte do percurso realizado no Circuito de Manutenção da Covilhã. A azul o trajecto original recolhido pelo <i>smartphone</i> Wiko Wax, a vermelho o trajecto resultante do algoritmo elaborado e a amarelo o trajecto obtido pelo GPS Visualizer. . . . .	57
A.7	Gráfico de altitudes do ficheiro original. . . . .	57
A.8	Comapração entre três percursos.Imagem que mostra a totalidade do percurso realizado no Circuito de Manutenção da Covilhã. A azul o trajecto original recolhido pelo <i>smartphone</i> Wiko Wax, a vermelho o trajecto resultante do algoritmo elaborado e a amarelo o trajecto obtido pelo GPS Visualizer. . . . .	58
A.9	Gráfico de altitudes do ficheiro gerado pelo algoritmo desenvolvido. . . . .	58
A.10	Gráfico de altitudes para o percurso realizado no Complexo Desportivo. . . . .	58
A.11	Imagem do trajecto realizado no Complexo Desportivo. . . . .	58
A.12	Imagem do trajecto resultante da análise do algoritmo. . . . .	59
A.13	Imagem da sobreposição do trajecto original e do trajecto resultante da análise do algoritmo desenvolvido. . . . .	59
A.14	Gráfico de altitudes do ficheiro original. . . . .	59
A.15	Imagem aproximada de uma parte do trajecto realizado no Complexo Desportivo. . . . .	60
A.16	Imagem do trajecto analisado peloo GPS Visualizer. . . . .	60
A.17	Gráfico do trajecto analisado peloo GPS Visualizer. . . . .	60
A.18	Imagem dos trajectos obtidos através do algoritmo desenvolvido (a vermelho) e do GPS Visualizer (a azul). . . . .	61
B.1	Imagem do trajecto recolhido pelo LG G2 no Circuito de Manutenção. . . . .	63
B.2	Imagem do trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo LG G2 no Circuito de Manutenção. . . . .	64
B.3	Imagem dos trajectos recolhidos pelo LG G2 no Circuito de Manutenção. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo. . . . .	64
B.4	Gráfico de altitudes recolhido pelo LG G2 durante o trajecto do Circuito de Manutenção. . . . .	65
B.5	Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo LG G2 durante o trajecto do Circuito de Manutenção. . . . .	65
B.6	Imagem do trajecto recolhido pelo LG G2 no Complexo Desportivo. . . . .	65
B.7	Imagem do trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo LG G2. . . . .	66
B.8	Imagem dos trajectos recolhidos pelo LG G2. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo. . . . .	67
B.9	Gráfico de altitudes recolhido pelo LG G2 durante o trajecto do Complexo Desportivo. . . . .	67
B.10	Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo LG G2 durante o trajecto do Complexo Desportivo. . . . .	67
B.11	Imagem do trajecto recolhido pelo Umi Hammer no Circuito de Manutenção. . . . .	68
B.12	Imagem do trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Umi Hammer no Circuito de Manutenção. . . . .	69
B.13	Imagem dos trajectos recolhidos pelo Umi Hammer no Circuito de Manutenção. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo. . . . .	69

B.14 Gráfico de altitudes recolhido pelo Umi Hammer durante o trajecto do Circuito de Manutenção. . . . .	69
B.15 Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo Umi Hammer durante o trajecto do Circuito de Manutenção. . . . .	70
B.16 Imagem do trajecto recolhido pelo Umi Hammer no Complexo Desportivo. . . . .	70
B.17 Imagem do trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Umi Hammer. . . . .	71
B.18 Imagem dos trajectos recolhidos pelo Umi Hammer. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo. . . . .	72
B.19 Gráfico de altitudes recolhido pelo Umi Hammer durante o trajecto do Complexo Desportivo. . . . .	72
B.20 Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo Umi Hammer durante o trajecto do Complexo Desportivo. . . . .	72
B.21 Imagem do trajecto recolhido pelo Samsung Galaxy S5 no Circuito de Manutenção. . . . .	73
B.22 Imagem do trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Samsung Galaxy S5 no Circuito de Manutenção. . . . .	74
B.23 Imagem dos trajectos recolhidos pelo Samsung Galaxy S5 no Circuito de Manutenção. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo. . . . .	74
B.24 Gráfico de altitudes recolhido pelo Samsung Galaxy S5 durante o trajecto do Circuito de Manutenção. . . . .	75
B.25 Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo Samsung Galaxy S5 durante o trajecto do Circuito de Manutenção. . . . .	75
B.26 Imagem do trajecto recolhido pelo Samsung Galaxy S5 no Complexo Desportivo. . . . .	75
B.27 Imagem do trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Samsung Galaxy S5. . . . .	76
B.28 Imagem dos trajectos recolhidos pelo Samsung Galaxy S5. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo. . . . .	77
B.29 Gráfico de altitudes recolhido pelo Samsung Galaxy S5 durante o trajecto do Complexo Desportivo. . . . .	77
B.30 Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo Samsung Galaxy S5 durante o trajecto do Complexo Desportivo. . . . .	77
B.31 Imagem do trajecto recolhido pelo Samsung Galaxy S5 no Circuito de Manutenção. . . . .	78
B.32 Imagem do trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Samsung Galaxy S5 no Circuito de Manutenção. . . . .	79
B.33 Imagem dos trajectos recolhidos pelo Samsung Galaxy S5 no Circuito de Manutenção. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo. . . . .	79
B.34 Gráfico de altitudes recolhido pelo Samsung Galaxy S5 durante o trajecto do Circuito de Manutenção. . . . .	80
B.35 Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo Samsung Galaxy S5 durante o trajecto do Circuito de Manutenção. . . . .	80
B.36 Imagem do trajecto recolhido pelo Samsung Galaxy S5 no Complexo Desportivo. . . . .	80
B.37 Imagem do trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Samsung Galaxy S5. . . . .	81
B.38 Imagem dos trajectos recolhidos pelo Samsung Galaxy S5. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo. . . . .	82

## Recolha e Análise de Bio-Sinais em Ambientes Abertos

B.39 Gráfico de altitudes recolhido pelo Samsung Galaxy S5 durante o trajecto do Complexo Desportivo. . . . .	82
B.40 Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo Samsung Galaxy S5 durante o trajecto do Complexo Desportivo. . . . .	82
B.41 Imagem do trajecto recolhido pelo Alcatel Idol 3 no Circuito de Manutenção. . .	83
B.42 Imagem do trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Alcatel Idol 3 no Circuito de Manutenção. . . . .	84
B.43 Imagem dos trajectos recolhidos pelo Alcatel Idol 3 no Circuito de Manutenção. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo.	84
B.44 Gráfico de altitudes recolhido pelo Alcatel Idol 3 durante o trajecto do Circuito de Manutenção. . . . .	84
B.45 Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo Alcatel Idol 3 durante o trajecto do Circuito de Manutenção. . . . .	85
B.46 Imagem do trajecto recolhido pelo Alcatel Idol 3 no Complexo Desportivo. . . . .	85
B.47 Imagem do trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Alcatel Idol 3. . . . .	86
B.48 Imagem dos trajectos recolhidos pelo Alcatel Idol 3. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo. . . . .	86
B.49 Gráfico de altitudes recolhido pelo Alcatel Idol 3 durante o trajecto do Complexo Desportivo. . . . .	87
B.50 Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo Alcatel Idol 3 durante o trajecto do Complexo Desportivo. . . . .	87
B.51 Imagem do trajecto recolhido pelo Nexus 5 no Circuito de Manutenção. . . . .	88
B.52 Imagem do trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Nexus 5 no Circuito de Manutenção. . . . .	89
B.53 Imagem dos trajectos recolhidos pelo Nexus 5 no Circuito de Manutenção. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo. . .	89
B.54 Gráfico de altitudes recolhido pelo Nexus 5 durante o trajecto do Circuito de Manutenção. . . . .	89
B.55 Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo Nexus 5 durante o trajecto do Circuito de Manutenção. . . . .	90
B.56 Imagem do trajecto recolhido pelo Nexus 5 no Complexo Desportivo. . . . .	90
B.57 Imagem do trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Nexus 5.	91
B.58 Imagem dos trajectos recolhidos pelo Nexus 5. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo. . . . .	92
B.59 Gráfico de altitudes recolhido pelo Nexus 5 durante o trajecto do Complexo Desportivo. . . . .	92
B.60 Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo Nexus 5 durante o trajecto do Complexo Desportivo. . . . .	92
B.61 Imagem do trajecto recolhido pelo LG G3 no Circuito de Manutenção. . . . .	93
B.62 Imagem do trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo LG G3 no Circuito de Manutenção. . . . .	94
B.63 Imagem dos trajectos recolhidos pelo LG G3 no Circuito de Manutenção. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo. . . .	94
B.64 Gráfico de altitudes recolhido pelo LG G3 durante o trajecto do Circuito de Manutenção. . . . .	94

B.65 Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo LG G3 durante o trajecto do Circuito de Manutenção. . . . .	95
B.66 Imagem do trajecto recolhido pelo LG G3 no Complexo Desportivo. . . . .	95
B.67 Imagem do trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo LG G3. . . . .	96
B.68 Imagem dos trajectos recolhidos pelo LG G3. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo. . . . .	97
B.69 Gráfico de altitudes recolhido pelo LG G3 durante o trajecto do Complexo Desportivo. . . . .	97
B.70 Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo LG G3 durante o trajecto do Complexo Desportivo. . . . .	97
B.71 Imagem do trajecto recolhido pelo Umi Hammer no Circuito de Manutenção. . . . .	98
B.72 Imagem do trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Umi Hammer no Circuito de Manutenção. . . . .	99
B.73 Imagem dos trajectos recolhidos pelo Umi Hammer no Circuito de Manutenção. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo. . . . .	99
B.74 Gráfico de altitudes recolhido pelo Umi Hammer durante o trajecto do Circuito de Manutenção. . . . .	99
B.75 Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo Umi Hammer durante o trajecto do Circuito de Manutenção. . . . .	100
B.76 Imagem do trajecto recolhido pelo Umi Hammer no Complexo Desportivo. . . . .	100
B.77 Imagem do trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Umi Hammer. . . . .	101
B.78 Imagem dos trajectos recolhidos pelo Umi Hammer. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo. . . . .	102
B.79 Gráfico de altitudes recolhido pelo Umi Hammer durante o trajecto do Complexo Desportivo. . . . .	102
B.80 Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo Umi Hammer durante o trajecto do Complexo Desportivo. . . . .	102
C.1 Passadeira B - Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal ECG recolhido no Circuito de Manutenção. . . . .	103
C.2 Passadeira B - Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal ECG recolhido no Complexo Desportivo. . . . .	103
C.3 Recolha B - Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal ECG recolhido no Circuito de Manutenção. . . . .	103
C.4 Recolha B - Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal ECG recolhido no Complexo Desportivo. . . . .	104
C.5 Recolha B - Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal EMG recolhido no Circuito de Manutenção. . . . .	104
C.6 Recolha B - Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal EMG recolhido no Complexo Desportivo. . . . .	104
C.7 Recolha C - Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal ECG recolhido no Circuito de Manutenção. . . . .	104
C.8 Recolha C - Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal ECG recolhido no Complexo Desportivo. . . . .	105
C.9 Recolha C - Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal EMG recolhido no Circuito de Manutenção. . . . .	105

## Recolha e Análise de Bio-Sinais em Ambientes Abertos

C.10 Recolha C - Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal EMG recolhido no Complexo Desportivo. . . . .	105
--	-----



## Lista de Tabelas

3.1	Critérios de inclusão e exclusão previstos no protocolo elabora. . . . .	17
4.1	Tabela de resultados para o Ficheiro 1. . . . .	26
4.2	Tabela de resultados para o Ficheiro 2. . . . .	27
5.1	Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo Wiko Wax. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . . . .	30
5.2	Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Wiko Wax. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . .	31
5.3	Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo Wiko Wax. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . . . .	32
5.4	Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Wiko Wax. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . .	33
5.5	Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo Sony Xperia. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . . . .	33
5.6	Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Sony Xperia. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. .	34
5.7	Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo Sony Xperia. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . . . .	34
5.8	Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Sony Xperia. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. .	34
6.1	Tabela com os tempos e as elevações para os percursos recolhidos na passeadeira.	41
6.2	Dados resultantes da análise de SNR realizada aos sinais recolhidos. Esta tabela mostra os dados de um homem comparados com a passeadeira. . . . .	46
6.3	Dados resultantes da análise de SNR realizada aos sinais recolhidos. Esta tabela mostra os dados de um homem comparados com a passeadeira. . . . .	46
6.4	Dados resultantes da análise de SNR realizada aos sinais recolhidos. Esta tabela mostra os dados de uma mulher comparados com a passeadeira. . . . .	46
B.1	Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo LG G2 no Circuito de Manutenção. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . . . .	63

B.2	Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo LG G2 no Circuito de Manutenção. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . . . .	64
B.3	Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo LG G2. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . . . .	66
B.4	Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo LG G2. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . . . .	66
B.5	Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo Umi Hammer no Circuito de Manutenção. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . . . .	68
B.6	Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Umi Hammer no Circuito de Manutenção. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . . . .	69
B.7	Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo Umi Hammer. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . . . .	71
B.8	Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Umi Hammer. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . . . .	71
B.9	Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo Samsung Galaxy S5 no Circuito de Manutenção. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . . . .	73
B.10	Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Samsung Galaxy S5 no Circuito de Manutenção. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . . . .	74
B.11	Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo Samsung Galaxy S5. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . . . .	76
B.12	Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Samsung Galaxy S5. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . . . .	76
B.13	Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo Samsung Galaxy S5 no Circuito de Manutenção. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . . . .	78
B.14	Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Samsung Galaxy S5 no Circuito de Manutenção. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . . . .	79
B.15	Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo Samsung Galaxy S5. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . . . .	81

## Recolha e Análise de Bio-Sinais em Ambientes Abertos

B.16 Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Samsung Galaxy S5. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . . . .	81
B.17 Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo Alcatel Idol 3 no Circuito de Manutenção. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . . . .	83
B.18 Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Alcatel Idol 3 no Circuito de Manutenção. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . . . .	83
B.19 Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo Alcatel Idol 3. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . . . .	85
B.20 Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Alcatel Idol 3. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . . . .	86
B.21 Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo Naxus 5 no Circuito de Manutenção. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . . . .	88
B.22 Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Nexus 5 no Circuito de Manutenção. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . . . .	88
B.23 Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo Nexus 5. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . . . .	90
B.24 Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Nexus 5. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . . . .	91
B.25 Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo LG G3 no Circuito de Manutenção. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . . . .	93
B.26 Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo LG G3 no Circuito de Manutenção. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . . . .	93
B.27 Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo LG G3. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . . . .	96
B.28 Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo LG G3. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . . . .	96
B.29 Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo Umi Hammer no Circuito de Manutenção. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . . . .	98

B.30 Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Umi Hammer no Circuito de Manutenção. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . . . .	98
B.31 Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo Umi Hammer. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . . . .	100
B.32 Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Umi Hammer. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER. . . . .	101

## Acrónimos

AAL	<i>Ambient Assisted Living</i>
ACC	Acelerometria
ALLab	<i>Assisted Living Computing and Telecommunications Laboratory</i>
ECG	Electrocardiograma
EDA	Actividade Electrodermal
EMG	Electromiografia
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GPX	<i>GPS eXchange Format</i>
PF	Ponto Fixo
PS	Ponto Seguinte
SNR	<i>Signal-To-Noise Ratio</i>
UBI	Universidade da Beira Interior



# Capítulo 1

## Introdução

Este capítulo apresenta o contexto e a motivação, a descrição do problema e a organização do documento. Está organizado da seguinte forma:

- Contexto e Motivação: descreve o contexto desta dissertação bem como a motivação;
- Descrição do Problema: apresenta o problema a resolver e a abordagem realizada para a resolução do mesmo;
- Organização do Documento: mostra quais os capítulos deste documento bem como todas as secções descrevendo cada uma delas.

### 1.1 Contexto e Motivação

Este trabalho insere-se no âmbito da investigação em *Ambient Assisted Living* (AAL) no laboratório *Assisted Living Computing and Telecommunications Laboratory* (ALLab) da Universidade da Beira Interior (UBI) e do Instituto de Telecomunicações. Cada vez mais existe a necessidade de recolher sinais em ambientes não controlados porque até aqui essa recolha só era possível em ambiente controlado, usando equipamento frequentemente muito volumoso, o que impossibilitava a sua operação em ambiente aberto, por exemplo, no campo. Com o aparecimento de novos dispositivos de recolha de bio-sinais, muito portáteis e leves, surge agora essa possibilidade a de recolher bio-sinais em ambientes não controlados e abertos. No entanto, não há estudos que comprovem que a recolha de dados em ambientes não controlados não tenha problemas adicionais. O objectivo deste trabalho é em primeiro lugar estudar que problemas adicionais é que estas recolhas podem ter e em segundo lugar encontrar algumas soluções para esses problemas. Esta dissertação insere-se no projecto "UBI BioSignals", cujo objectivo é o de criar bases de dados com bio-sinais em diversos ambientes, tais como por exemplo, desportos de montanha, vídeo jogos e natação. Estas bases de dados estarão disponíveis para a comunidade científica para que possam ser realizados outros trabalhos. Este trabalho de mestrado contribui para o objectivo global do projecto "UBI BioSignals".

### 1.2 Descrição do Problema

Caminhar em ambientes de montanha, também conhecido por *hillwalking*, é uma das mais populares actividades de lazer, pois nela combinamos o ar fresco e puro com as vistas privilegiadas, o exercício saudável e exploramos o nosso lado mais aventureiro. Tudo isto torna-se numa experiência ainda melhor quando estamos incluídos num grupo de caminhadores que partilham do mesmo gosto [Lon14] .

Esta actividade tem vindo a atrair várias gerações e para muitas delas, funciona como um medicamento natural para aliviar o stress do dia-a-dia.

Em desportos no âmbito de montanha, a aquisição de bio-sinais é relevante para estudos relacionados com movimento. Tanto em caminhadas como noutros tipos de desportos, a aquisição destas variáveis é útil para uma vasta gama de estudos.

Neste contexto, os sensores que podem ser utilizados são, por exemplo, Electromiografia (EMG), Acelerómetro (ACC), Electrocardiograma (ECG), sensor de respiração, entre outros.

O objectivo geral deste estudo é desenvolver uma metodologia de aquisição de bio-sinais em contexto de *hillwalking* para validar os dados recolhidos e armazená-los numa base de dados. Um dos problemas mais críticos em investigação científica é a dificuldade em replicar resultados de pesquisas publicados anteriormente. Com este trabalho é pretendido minimizar o problema referido reunindo todos os dados numa só base de dados com um número significativo de bio-sinais validados, para que possam ser utilizados pela comunidade de investigação internacional.

Os dados recolhidos e validados estão disponibilizados de forma livre e gratuita nos servidores da UBI e poderão ser visualizados em <http://allab.it.ubi.pt/mediawiki>.

Assim sendo, os objectivos desta dissertação são:

- Definir trajectos para a realização da recolha de dados;
- Realização de um protocolo de recolha;
- Recolher dados com voluntários;
- Análisar os dados recolhidos;
- Disponibilização de forma pública de todos os dados recolhidos e analisados;
- Realização de um artigo científico (Anexo D).

### 1.3 Organização do Documento

Este documento possui sete capítulos e quatro anexos organizados da seguinte forma:

1. **Introdução:** este capítulo apresenta uma breve introdução de como o mesmo está organizado, o contexto, a motivação, a descrição do problema e a organização do documento;
2. **Estudo do Estado da Arte:** este capítulo apresenta uma breve introdução de como o mesmo está organizado, o estudo realizado para o estado da arte para os diversos sinais recolhidos: EMG, ECG e ACC. Este capítulo também apresenta o estudo do estado da arte realizado para a recolha de sinais GPS. No fim, é possível encontrar uma conclusão sobre este capítulo;
3. **Definição da Recolha:** neste capítulo é possível encontrar uma breve introdução onde é apresentada a estrutura do mesmo, a definição dos percursos e a recolha de *Global Positioning System* (GPS): diversas experiências realizadas em diversos tipos de percursos bem como a recolha de dados de GPS com diversos tipos de *smartphones* e GPS externo. Este capítulo também contém a definição da recolha de bio-sinais e o protocolo de recolha. Termina com uma breve conclusão do capítulo;

## Recolha e Análise de Bio-Sinais em Ambientes Abertos

4. **Solução Desenvolvida:** inicia-se com uma breve descrição onde é apresentada a estrutura do capítulo, contém uma descrição do processo de adaptação que os BITalinos sofreram, o algoritmo desenvolvido para suavizar e remover pontos erróneos do trajecto guardado, os testes realizados ao algoritmo e a conclusão do capítulo;
5. **Implementação e Resultados da Recolha *Global Positioning System* (GPS):** o capítulo apresenta uma breve introdução de como o mesmo está organizado, descreve a implementação do protocolo de recolha, os resultados da recolha, o trajectos e as altitudes guardadas pelos *smartphones*, a base de dados que contém todos os dados recolhidos e a conclusão do capítulo;
6. **Análise e Validação dos Dados Electrocardiograma (ECG), Electromiografia (EMG) e Accelerometria (ACC):** neste capítulo é possível encontrar a introdução do mesmo que contém a organização do capítulo, o tipo de análise que foi realizada aos dados e a conclusão;
7. **Conclusões e Trabalho Futuro:** este capítulo apresenta as conclusões do trabalho realizado bem como o trabalho futuro que poderá ser realizado no âmbito desta dissertação;
8. **Bibliografia:** apresenta toda a bibliografia utilizada ao longo da realização desta dissertação;
9. **Apêndice A - Imagens da Fase de Testes ao Algoritmo Desenvolvido:** conjunto de imagens da fase de testes ao algoritmo desenvolvido;
10. **Apêndice B - Análise aos Ficheiros *GPS eXchange Format* (GPX) Recolhidos:** continuação da análise aos ficheiro recolhidos durante os trajectos realizados no Complexo Desportivo e no Circuito de Manutenção da Covilhã;
11. **Apêndice C - Gráficos dos Sinais Recolhidos:** mostra os gráficos para algumas recolhas de dados realizadas no terreno e na passadeira;
12. **Apêndice D - Protocolo de Recolha e Artigo Científico:** apresenta o protocolo de recolha e o artigo científico elaborado tendo como base o algoritmo realizado.



## Capítulo 2

### Estudo do Estado da Arte

#### 2.1 Introdução

Este capítulo apresenta o estado da arte para recolhas de bio-sinais. Os sinais escolhidos para serem recolhidos foi EMG, ECG, ACC e GPS, pois pretende-se realizar uma análise que inclua dados da activação de um músculo enquanto se caminha, dados sobre o coração e dados de movimento. Com a disponibilização destes dados é possível medir diversos factores, tais como, fadiga e cansaço. A escolha da recolha de sinais GPS deveu-se à recolha do trajecto realizado. Aqui, o GPS é entendido como um bio-sinal, pois está associado ao movimento humano. Com a recolha de dados de localização é possível medir distâncias, por exemplo. A recolha de dados EMG, ECG e ACC em ambientes abertos ainda é algo que não foi muito explorado, pelo que sempre que não foram encontrados trabalhos relacionados com estas recolhas em ambientes não controlados, foi feita uma análise tem como base ambientes controlados.

Este capítulo está dividido da seguinte forma:

- **Introdução:** descreve o que trata o capítulo e qual a sua organização;
- **Recolha de Sinais Electromiografia (EMG):** apresenta o estado da arte para a recolha deste tipo de sinais dando uma breve descrição do mesmo e alguns trabalhos realizados nesta área;
- **Recolha de Sinais Electrocardiograma (ECG):** apresenta o estado da arte para a recolha e análise de dados ECG. Inicia-se por uma breve descrição, apresenta os factores que se deve ter em consideração aquando de uma recolha de dados e alguns trabalhos recentes realizados nesta área;
- **Recolha de Sinais Acelerometria (ACC):** apresenta o estado da arte para trabalhos que envolveram a recolha e/ou a análise deste tipo de dados;
- **Recolha de Sinais *Global Positioning System* (GPS):** apresenta o estado da arte para a recolha e análise de dados de localização recolhidos nos mais variados estudos;
- **Conclusão:** apresenta uma breve conclusão deste capítulo e introduz o seguinte.

#### 2.2 Recolha de Sinais Electromiografia (EMG)

A electromiografia avalia a actividade eléctrica dos músculos. Para detecção esta actividade são colocados sensores na zona do músculo cuja activação os sensores detectam. A recolha de EMG é utilizada para diversos fins, tais como, investigação na área da medicina (análise de marcha/caminhadas e análise da postura), reabilitação (terapia física) e área do desporto (análise de movimentos), entre outros [GF08].

Quando um pedestre está a andar, os sinais EMG são medidos num músculo específico na coxa (recto femoral), e com isto, por exemplo, é possível calcular o número de passos. Os sinais EMG recolhidos com sensores, comparando com outros dispositivos que não estão em contacto com a pele e que também contam o número de passos, poderão não só contar os passos como os pedómetros, mas também recolhem informações biomédicas. Assim, com a recolha de EMG é possível capturar a actividade muscular da locomoção humana: saber a força de contracção do músculo e qual o músculo que foi contraído [CCC<sup>+</sup>11].

Ainda não existem muitas recolhas de EMG em ambientes abertos. Assim, foi escolhido um conjunto de trabalhos realizados tanto em ambientes controlados como em ambientes não controlados:

A recolha de sinais EMG já integrou diversos estudos e em alguns casos até foram desenvolvidos algoritmos para realizar a análise, tais como, identificar actividades de pedestres assim como o comprimento dos passos dados. Os sinais EMG também contêm muita informação útil no que toca a fadiga, reconhecimento de percursos (caminhar, correr, subir escadas e descer escadas) e a avaliação de doenças musculares. Este tipo de sinais têm um papel importante em aplicações para a saúde em idosos e doentes [WCC<sup>+</sup>13].

Dados EMG podem também ser recolhidos nos membros superiores. Um outro trabalho realizado centrou-se no desenvolvimento de um sistema para o uso de crianças com paralisia cerebral, pois elas sofrem de disfunção das extremidades. Combinando o uso de outros sensores, com a recolha de dados EMG durante um jogo desenvolvido em Android, foi possível realizar uma pesquisa que pretende melhorar a função motora dos membros superiores [LCL<sup>+</sup>16]. Com um treino a longo prazo notou-se que é possível melhorar e aumentar o processo de reabilitação. Existem também outros trabalhos relacionados com crianças que têm paralisia cerebral mas no âmbito da caminhada. Recentemente têm surgido diversos estudos nesta área onde são mencionados métodos para aplicar à recolha de dados EMG na análise de marcha a pacientes com deficiências [FC16], também sugeriram recentemente estudos baseados na repetição, simetria ou características da activação dos músculos enquanto é realizada uma caminhada [WL09] e [DMB11]. Outros estudos também têm realizado testes com crianças que têm paralisia cerebral observando a frequência dos sinais EMG em comparação com a força muscular durante uma caminhada [LVG12]. Todos estes estudos concluíram que a recolha de dados EMG podem ser usados para avaliar a força muscular destas crianças.

Um estudo recente sobre a recolha de dados EMG em ambientes abertos afirma que na última década fazer exercício físico ao ar livre tornou-se bastante popular, principalmente a corrida. Este tipo de exercício possui inúmeros benefícios mas também possui riscos, tais como lesões. Com o uso da recolha de dados dos músculos é possível detectar essas lesões, mas muitos destes estudos limitam-se a ambientes controlados. Neste trabalho, foi realizado um estudo no ambiente mais popular para a realização deste exercício físico: o ar livre, ou seja, ambientes não controlados. Aqui, foi apresentado um dispositivo que inclui vestuário de corrida com electrodos embutidos. Estes electrodos são capazes de captar sinais da actividade muscular durante o exercício. Com este estudo verificou-se que é possível analisar o nível de fadiga de uma corrida com este dispositivo e que correr em superfícies como a areia pode aumentar o risco de lesões musculares [RGM<sup>+</sup>16].

## 2.3 Recolha de Sinais Electrocardiograma (ECG)

As doenças cardiovasculares são a principal causa de morte em todo o mundo [SNC16]. Considerando o facto de que a maioria das mortes por ataques cardíacos ocorre antes do paciente conseguir ter acesso aos cuidados médicos necessários, o paciente deve ser continuamente monitorizado para detecção em tempo real de eventos que podem originar o ataque cardíaco [DV12], [AJ03] e [Lau99].

A recolha de dados ECG ajuda, de forma eficaz, a saúde cardiovascular, facilitando o diagnóstico de doenças cardio-respiratórias e pode ainda ser usado como um guia para terapias de cardio-fitness. Existem no mercado diversos sistemas que permitem fazer uma monitorização contínua dos sinais fisiológicos durante o dia-a-dia e durante o exercício físico [YH10]. Estes dispositivos estão a ser melhorados numa tentativa de reduzir o tamanho, melhorar o conforto sentido pelo utilizador e a precisão dos dados apresentados.

Para recolher dados ECG é necessário ter alguns factores em consideração, nomeadamente a escolha da população. Antes de iniciar a recolha é necessário conhecer a população, pois existem factores que poderão complicar a análise aos dados recolhidos [CO]:

- O uso de drogas pode causar diferenças significativas no comportamento cardiovascular;
- A idade também pode influenciar a recolha, pois já foram observadas diferenças nas recolhas de ECG entre diferentes faixas etárias;
- Se um estudo tiver como objectivo analisar variações em alguma métrica, o género da pessoa em causa poderá criar uma máscara nos resultados fazendo com que não se chegue à conclusão esperada.

Estudos recentes sobre recolha e monitorização de dados ECG utilizaram *smart clothes*. Estas *smart clothes* são roupas que possuem electrodos e um sensor ECG que permite recolher e transmitir os dados [ASM13]. Este sensor comunica com qualquer dispositivo móvel, como por exemplo, um *smartphone*. No dispositivo móvel é possível visualizar os resultados da análise realizada à recolha e, permite enviar essas informações para um hospital ou um médico em específico. Este método de recolha de dados ECG foi validado com recurso a SNR [JWY15].

Outro trabalho na recolha destes sinais, também foram usadas roupas com electrodos. O sensor comunicou com um *tablet* via *bluetooth*, os dados eram guardados num ficheiro no *tablet*, por fim, o ficheiro era lido e apresentado o sinal. Para a análise dos dados recolhidos foi utilizado o R-peak. Com este trabalho era mostrado se o voluntário estava deitado ou não [WLK<sup>+</sup>16].

## 2.4 Recolha de Sinais Acelerometria (ACC)

Nos últimos anos, caminhar é uma das actividades mais praticadas e a medição da velocidade de uma caminhada pode ser usado como uma referência ao tipo de desporto que se pretende realizar. Usar ACC para obter dados de actividades físicas tem vindo a aumentar nos últimos anos em pesquisas médicas e na área de desporto [PLS12].

Uma das mais complexas habilidades motoras que os seres humanos possuem é caminhar [K.J07] [ea11]. A caminhada é praticamente uma repetição de movimentos que faz com que o nosso corpo consiga-se mover e, assim, este movimento apresenta um nível de variabilidade baixo [MDCC09], [JAFC10], [ESC12]. Antigamente acreditava-se que os passos dados eram um processo completamente aleatório, mas ao longo dos anos, com novas pesquisas sobre este assunto, concluiu-se que isso não era verdade [K.J07], [ea11], [KJN06]. Com o passar dos anos as pessoas envelhecem e é normal que os passos dados comecem a tornar-se aleatórios devido a possíveis doenças neurológicas [JSBN08], [JSBS05], [JSBS13].

Estudos recentes analisam a possibilidade de recolher dados com dispositivos considerados de baixo custo evitando assim as limitações a nível financeiro que este tipo de pesquisas poderão sofrer. Neste estudo [SLB<sup>+</sup>16], avaliaram os passos dados pelos voluntários afim de verificar mudanças devido ao envelhecimento e devido a doenças neurológicas. Foram recolhidos dados de ACC com os três eixos em pessoas saudáveis, com doença de Parkinson e com neuropatia periférica. Os participantes caminharam em cima de uma passadeira eléctrica e também capturaram o movimento. Com os dados recolhidos extraíram com precisão eventos onde era feito o contacto na passadeira do calcanhar e do dedo do pé. Os testes realizados neste estudo centraram-se na análise da variância para realizarem comparações. A conclusão deste estudo é que dispositivos considerados baratos podem ser utilizados para a recolha deste tipo de dados.

Um outro estudo [MEMAvD16], realizou uma recolha com um grupo de 20 pessoas com idades médias de 73.7 anos. Neste estudo foram recolhidos dados ACC com três eixos e ainda um giroscópio, também com três eixos. Os participantes caminharam ao longo de duas linhas marcadas no chão usando os sensores acima mencionados. Foi desenvolvido um algoritmo para detectar os passos de forma automática através dos sinais recolhidos pelo ACC. O número de passos foi contado através de um vídeo gravado durante as recolhas e, após análise do algoritmo desenvolvido, foi verificado que o número de passos apresentados no vídeo correspondia ao número de passos contados pelo algoritmo, não havendo falsos positivos nem falsos negativos.

O gasto energético é muitas vezes usado para avaliar a actividade física humana e está directamente ligado à velocidade com que a pessoa realiza a caminhada. Um estudo [PLS12] desenvolveu um algoritmo para prever a velocidade da caminhada com base na aceleração do corpo. Para isso foi utilizado um ACC com três eixos da marca Move II, colocado no lado direito do quadril. Neste estudo participaram 37 voluntários e cada um deles foi equipado com o sensor acima mencionado e um outro sensor que mede as calorias gastas durante a actividade física da marca Meta Max 3B. Este sensor, denominado de calorímetro, foi usado para avaliar os dados de referência do gasto energético e também para definir o ponto de partida e o ponto final de cada actividade. Foram realizadas duas recolhas, uma primeira recolha num ambiente não controlado, isto é, ao ar livre e a segunda recolha situou-se num ambiente controlado, isto é, um ambiente laboratorial. No ambiente não controlado, os voluntários percorreram um trajecto previamente definido, já no ambiente controlado, os voluntários percorreram um trajecto circular também previamente definido. Os dados obtidos foram analisados e concluiu-se que com base na velocidade da caminhada é possível estimar o gasto de energia. Após a aplicação do algoritmo, os dados recolhidos, tanto em ambientes controlados como em ambientes não controlados, mostraram uma boa concordância entre a velocidade real da caminhada e a estimativa do gasto energético [PI12].

## 2.5 Recolha de Sinais *Global Positioning System* (GPS)

Dispositivos que usem a tecnologia GPS têm vindo a aumentar ano após ano. O GPS surgiu nos Estados Unidos da América no início da guerra fria. Com o uso de GPS era possível determinar com maior precisão o local para enviarem os mísseis.

Com os dados GPS surgiram alguns estudos sobre a sua recolha em ambientes externos e ambientes internos. Quando é mencionado ambientes externos, refere-se a ambientes urbanos, isto é, ruas, praças, jardins, entre outros espaços abertos. Quando é mencionado ambientes internos, refere-se a interior de edifícios. Dentro de edifício, a recolha deste tipos de dados torna-se um verdadeiro desafio, pois o sinal pode ser afectado por diversos factores, desde logo a dificuldade em obter sinal de satélite [HENA06].

A recolha de sinais GPS poderá ser afectada por diversos factores incluindo árvores [OGN11], pois o acesso aos satélites poderá ser bloqueado.

## 2.6 Conclusão

Existem diversos estudos sobre a recolha de cada um dos sinais, porém, as pesquisas são, em grande maioria, realizadas em ambientes controlados. Sendo que nem sempre foram encontrados estudos que envolvessem recolha de dados ao ar livre, foi realizado o estado da arte para recolhas e análises de dados em ambientes controlados.

O próximo capítulo irá descrever quantos e quais os percursos escolhidos para a recolha de dados e o protocolo desenvolvido.



# Capítulo 3

## Definição da Recolha

### 3.1 Introdução

Para que a recolha fosse realizada, foi necessário definir quais os percursos a realizar e os sinais a recolher. Foram escolhidos dois percursos distintos: um percurso de montanha e outro de cidade. Para percurso de montanha era pretendido um trajecto que envolvesse subidas, descidas, obstáculos e que estivesse inserido na Natureza. Para o percurso de cidade pretendia-se algo que não possuísse tantas desigualdades de nível, isto é, que simulasse uma caminhada no meio de uma cidade com um pavimento mais plano e com passagens em escadas.

Quanto à recolha de bio-sinais foram escolhidos ECG, EMG, ACC e GPS. Aqui os sinais GPS são entendidos como sendo bio-sinais, pois estão associados ao movimento humano.

Este capítulo está organizado da seguinte forma:

- **Introdução:** apresenta uma breve introdução para este capítulo assim como a organização do mesmo;
- **Definição dos Percursos e Recolha de *Global Positioning System* (GPS):** esta secção apresenta os percursos escolhidos para a recolha de dados;
- **Experiências em Diversos Tipos de Percursos:** esta subsecção apresenta os diversos percursos que foram realizados afim de realizar testes em diversas situações: montanha com uma floresta densa, cidade com prédios e praia;
- **Experiências com Diversos Dispositivos *Global Positioning System* (GPS):** esta subsecção apresenta os resultados das experiências realizadas com diversos GPS utilizando *smartphones* e GPS externo;
- **Definição da Recolha de Bio-Sinais:** esta secção apresenta os sinais escolhidos para serem recolhidos assim como o dispositivo escolhido para realizar essa recolha;
- **Protocolo de Recolha:** para a realização da recolha de dados com voluntários foi desenvolvido um protocolo com todo o processo descrito. Esta secção apresenta o protocolo;
- **Conclusão:** apresenta uma breve conclusão deste capítulo.

### 3.2 Definição dos Percursos e Recolha de *Global Positioning System* (GPS)

Para a recolha de dados foram escolhidos dois percursos: um percurso de montanha e um de cidade. Para o percurso de montanha foi escolhido o Circuito de Manutenção da cidade da Covilhã, um local próximo ao Parque Natural da Serra da Estrela (figura 3.1). O ponto inicial do percurso localiza-se a cerca de 885 metros de altitude, durante o percurso, o ponto mais alto

possui uma altitude de cerca de 945 metros e o ponto mais baixo possui cerca de 860 metros. Este percurso possui diversas subidas, descidas e um pavimento irregular, tal como é pretendido para uma caminhada em ambiente de montanha. Uma volta completa ao circuito tem cerca de 2,5 quilómetros. Este local situa-se fora da cidade onde é possível caminhar por um percurso de terra num ambiente repleto de árvores.

Para um percurso de cidade foi escolhida a zona envolvente do Complexo Desportivo da Covilhã (figura 3.2). Este local situa-se em plena cidade e possui pequenas subidas e descidas comparando-se assim a um ambiente urbano. O ponto inicial do percurso situa-se a cerca de 513 metros de altitude, sendo este o ponto mais alto de todo o percurso. O ponto mais baixo situa-se a cerca de 490 metros de altitude. Este trajecto possui aproximadamente 1,5 quilómetros e podem-se encontrar postes de luz eléctrica e pequenas árvores.

Estes dois percursos foram escolhidos para que pudessem ser recolhidos dados em duas situações distintas: um local mais inclinado com um terreno bastante irregular e um local mais plano com um terreno favorável à prática de desporto. Estes percursos são facilmente replicáveis, isto é, existe uma grande facilidade em repetir diversas vezes o mesmo trajecto em ambientes não controlados.

Todas as medidas acima mencionadas foram recolhidas através do software Google Earth.



Figura 3.1: Imagem do percurso de montanha no Circuito de Manutenção da Covilhã.

### 3.2.1 Experiências em Diversos Tipos de Percursos

Numa fase de testes foram realizados vários percursos e, em cada um deles, foi guardado um ficheiro GPX com o trajecto. Os percursos realizados foram:

- Percurso de Montanha: este percurso foi realizado no circuito de manutenção da Covilhã, um local com muitas árvores;
- Percurso de Cidade: este percurso foi realizado na cidade da Covilhã, um local com prédios e postes de iluminação pública;
- Percurso de Praia: este percurso foi realizado na praia de Troia, um local onde não existem prédios por perto, nem postes de electricidade;
- Percurso Misto: este percurso foi realizado na Covilhã onde incluiu parte do trajecto com prédios, outra parte sem árvores e outra com muitas árvores.



Figura 3.2: Imagem do percurso de cidade no Complexo Desportivo da Covilhã.

### 3.2.1.1 Percurso de Montanha

Nas primeiras experiências foi usado um *smartphone* LG G3 D855 de 32GB e um Umi Hammer. Cada pessoa levou consigo um destes *smartphones*, sendo que o LG tinha apenas o GPS ligado e o Umi além do GPS ligado, estava conectado a uma Internet móvel.

Estes *smartphones* guardavam segundo-a-segundo as coordenadas GPS ao longo do percurso onde as pessoas caminhavam lado a lado. Posteriormente, analisando os ficheiros GPX gerados através do software Google Earth, concluiu-se que mostravam dois caminhos distintos quando, na verdade, o percurso foi exactamente igual. A figura 3.3 mostra os caminhos guardados, onde o trajecto guardado pelo LG G3 está representado a azul e a vermelho o do UMI Hammer.



Figura 3.3: Imagem que mostra os trajectos guardados pelo LG G3 (a azul) com apenas o GPS ligado e o trajecto do UMI Hammer (a vermelho) com o GPS ligado e conectado a uma Internet móvel.

Nesta imagem, figura 3.4, pode-se ver claramente que num dado local do trajecto, o LG G3 registou muitas mudanças de direcção (idas para a frente e para trás).

Com estes resultados foram realizadas novas experiências onde foi utilizado um Moto G (1ª geração). Neste caso o *smartphone* tinha apenas o GPS ligado. Uma pessoa caminhou pelo mesmo



Figura 3.4: Imagem que mostra uma parte do trajecto recolhido pelo LG G3 com mudanças de direcção.

percurso e verificou-se o mesmo que na experiência anterior: mais um percurso diferente. A figura 3.5 mostra os dois trajectos acima referidos com as respectivas cores e o trajecto recolhido pelo Moto G (a amarelo).

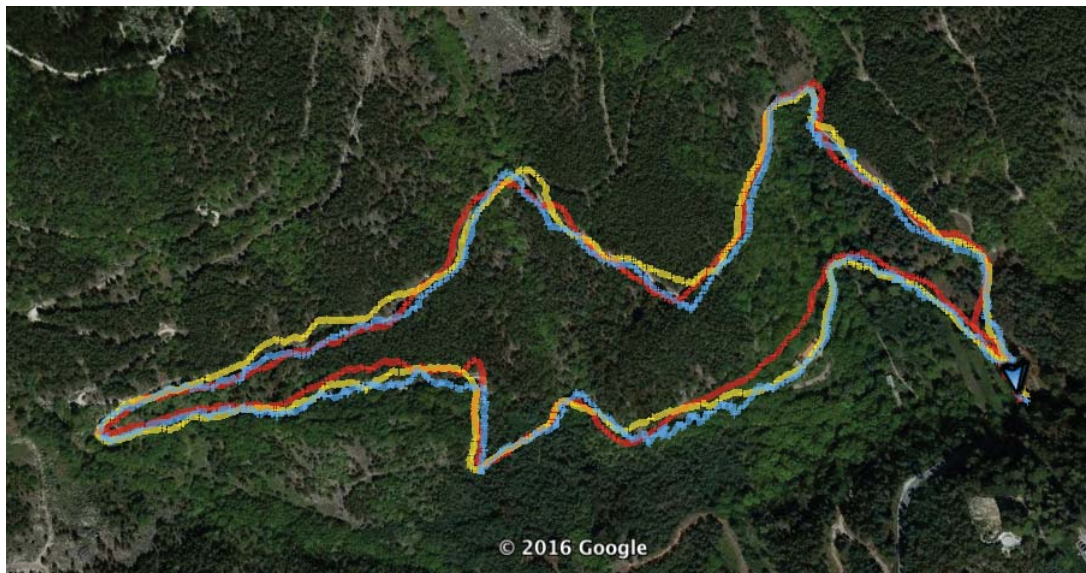


Figura 3.5: Imagem que mostra o trajecto recolhido pelo LG G3 (azul), UMI Hammer (vermelho) e Moto G (amarelo).

Com estes resultados foi verificado que o sinal GPS num circuito de montanha dá-nos informações erróneas, gravando assim posições falsas de onde a pessoa estava num dado momento. O sinal GPS em percursos de montanha possui erros, pois é afectado pelas árvores existentes durante o trajecto [OGN11].

### 3.2.1.2 Percurso de Cidade

Após a realização de experiências num percurso de montanha referido na sub-secção 3.2.1.1 foram feitas novas experiências mas desta vez num ambiente de cidade, mais amplo e com menos árvores. Estes percursos foram realizados entre a Universidade da Beira Interior e a Câmara Municipal da Covilhã, um percurso com vários prédios ao redor. Neste caso notou-se a existência de erros também provocados pela existência de objectos que bloqueiam o sinal GPS [OGN11]. A figura 3.6 mostra um trajecto de cidade.



Figura 3.6: Imagem que mostra um trajecto realizado na cidade da Covilhã. Um percurso com prédios.

### 3.2.1.3 Percurso de Praia

Para este tipo de percurso foi escolhida uma praia que não possuísse prédios ou qualquer outro tipo de construção por perto e sem postes de luz eléctrica. A figura 3.7 mostra um percurso realizado numa praia.



Figura 3.7: Imagem que mostra um trajecto realizado na praia. Este trajecto não possui qualquer objecto /construção de grande altitude.

## 3.2.2 Experiências com Diversos Dispositivos *Global Positioning System* (GPS)

Numa outra experiência foi testada a recolha de dados com o uso do GPS de um LG G3, UMI Hammer, Moto G e um GPS TomTom externo conectado por *Bluetooth* a um *smartphone*.

### 3.2.2.1 Recolha de Dados de *Global Positioning System* (GPS) com *Smartphones*

A recolha de dados GPS iniciou-se com o recurso a *smartphones*, pois é cada vez mais comum o uso de aplicações para este tipo de dispositivos móveis para monitorizar toda a actividade física podendo depois aceder a diversas funcionalidades, tais como o percurso percorrido, calorias perdidas, número de passos, entre outros. Para a recolha de dados GPS foram utilizadas várias aplicações, tais como: GPX Logger, Maverick e GPSTracker Lite. Independente da aplicação usada, o ficheiro GPX gerado nem sempre correspondia ao percurso realmente realizado, havendo assim erros.

Num dos casos foi usado um *smartphone* ligado a um *hotspot* de uma rede móvel de dados e de facto o sinal GPS é notoriamente mais preciso (tal como já foi descrito e mencionado em 3.2.1.1), mas nem todas as pessoas que realizam este tipo de desportos possui o seu *smartphone* conectado a uma rede móvel.

Com estes testes realizados surgiu a ideia de verificar se, com o uso de um GPS *Bluetooth* a recepção do sinal era muito mais precisa e sem erros.

### 3.2.2.2 Recolha de Dados de *Global Positioning System* (GPS) com Dispositivo *Bluetooth*

Após várias tentativas com o uso do GPS dos *smartphones*, foi testado um GPS *Bluetooth* da marca TomTom, modelo MkII. O GPS utilizado foi conectado a um LG G3. O percurso realizado foi o mesmo dos testes anteriores: um local com uma floresta densa. Ainda assim o resultado continha erros, mas o mais notório é o registo em ficheiro da existência de pequenos ciclos no percurso, que na realidade não foram realizados. Assim sendo estávamos perante um problema significativo: a distância percorrida não correspondia à realidade, pois retirando aquelas voltas guardadas certamente o número total de distância percorrida iria baixar.

Sendo que os praticantes de exercícios costumam utilizar apenas o *smartphone* para a recolha dos dados, colocou-se a hipótese de resolver o problema do percurso com o uso de um algoritmo que removesse os pontos erróneos resultando num trajecto muito próximo da realidade.

A figura 3.8 mostra um percurso recolhido pelo GPS TomTom.



Figura 3.8: Imagem que mostra um trajecto guardado por um GPS *Bluetooth* TomTom numa área de floresta densa.

## 3.3 Definição da Recolha de Bio-Sinais

Tal como já foi descrito no capítulo 1.2, esta dissertação insere-se no projecto "UBI BioSignals". Neste projecto prevê que sejam utilizados os sensores ECG, EMG, ACC, respiração, entre outros. Para a realização desta dissertação foram escolhidos os sensores ECG, EMG e ACC. O dispositivo escolhido para realizar a recolha foi o BITalino.

O BITalino é uma plataforma de aquisição de sinais vitais modular e que reúne os requisitos necessários para a recolha de sinais ECG, EMG e ACC. Com o BITalino é possível visualizar os dados recolhidos em tempo real e guardá-los num ficheiro através de *Bluetooth* num *smartphone*.

Existem três versões disponíveis para aquisição:

1. **Versão Board:** nesta versão os sensores encontram-se ligados à placa principal;

## Recolha e Análise de Bio-Sinais em Ambientes Abertos

Tabela 3.1: Critérios de inclusão e exclusão previstos no protocolo elaborada.

Inclusão	Exclusão
O indivíduo ser saudável.	O indivíduo ter qualquer tipo de doença diagnosticada que impossibilite a marcha totalmente ou parcialmente.
	Indivíduos diagnosticados com pelo menos uma das doenças: diabetes, hipertensão, insuficiência cardíaca, obesidade (IMC $\geq 30\text{kg/m}^2$ , pois frequentemente os obesos tendem a ocultar a ingestão alimentar) e grávidas.
	Indivíduos com lesões músculo-esqueléticas não seguidas por um médico.

2. **Versão Plugged:** aqui, os módulos encontram-se separados da placa principal e conectados por cabos RJ22;
3. **Versão FreeStyle:** nesta versão, os módulos não estão conectados entre si.

BITalino [PAF13], [GL13], [SM14] é uma placa modular portuguesa desenvolvida no Instituto Superior Técnico e no Instituto Superior de Engenharia de Lisboa com a parceria do Instituto de Telecomunicações. Esta placa recolhe dados vitais, é modular e de baixo custo (os preços variam entre 79€ a 169€).

Com o BITalino é possível efectuar a recolha de diversos dados vitais pois, neste momento inclui múltiplos sensores, tais como, ECG, EMG, Actividade Electrodérmica (EDA) e ACC. A placa é alimentada por uma bateria de iões de lítio de 3.7 V. Possui uma autonomia de cerca de 4 horas para as baterias de 320 mAh, cerca de 6 horas para as baterias de 400 mAh [PAF13] e cerca de 17 horas para as baterias de 850 mAh [SM14].

### 3.4 Protocolo de Recolha

Para a realização das recolhas dos dados com voluntários nos dois percursos definidos foi elaborado um protocolo que poderá ser lido na íntegra no Anexo C. Neste protocolo foi estabelecida a metodologia da recolha:

- **Descrição e caracterização da amostra experimental:** para amostra experimental foi prevista uma população de indivíduos de diversos pesos e idades. As idades dos voluntários deveriam estar compreendidas entre os 18 e os 50 anos, preferencialmente. No caso de não haver indivíduos suficientes, estava previsto alargar a faixa etária;
- **Critérios de elegibilidade:** foi elaborada uma tabela onde foram colocados os critérios de inclusão e exclusão para cada grupo da amostra experimental. A tabela 3.1 mostra os critérios presentes no protocolo;
- **Material e instrumentação:** um BITalino com os sensores, um smartphone para guardar os dados recolhidos do BITalino e do GPS;
- **Infraestrutura e recursos necessários:** tal como já foi descrito na secção 3.2, a recolha dos dados foi realizada em duas situações. Uma primeira no circuito de manutenção da Covilhã, uma caminha de nível médio. A segunda no Complexo Desportivo da Covilhã, pois na cidade da Covilhã existem ruas inclinadas e que, portanto, não correspondem

ao padrão das cidades portuguesas. O complexo é um local onde existem pistas planas e o meio envolvente do mesmo possui pequenas inclinações. Neste contexto o nível da caminhada é fácil;

- **Procedimento de recolha:** Os sensores foram colocados no voluntários e foram realizadas todas as configurações necessária para a recolha dos dados no *smartphone*. Com o uso de um Bitalino, que foi transportado por cada participante numa bolsa situada na zona lateral esquerda da cintura, realizou-se a recolha de diversas variáveis utilizando os seguintes sensores: sensor ECG, colocado segundo as derivações no plano horizontal precordiais (V3, V4 e V5), acelerómetro, colocado na região supra inguinal direita e o sensor EMG, colocado no músculo recto femoral esquerdo. Foi realizado um primeiro percurso em ambiente de montanha e um segundo num ambiente citadino com uma duração média estimada de 30 minutos cada. A velocidade média de cada percurso situou-se entre os 4-6 km/h. Em ambos os percursos foram realizados exercícios de pré-aquecimento e pós-aquecimento afim de evitar lesões musculares.

Foi também descrito que este procedimento não apresentava qualquer risco para os participantes na recolha e que com este estudo, os voluntários beneficiavam da natureza enquanto praticavam exercício físico.

### 3.5 Conclusão

O sinal GPS é facilmente afectado tanto por construções, florestas densas, montanhas, outro tipo de objectos altos e até mesmo o nosso próprio corpo. Para obtermos melhores resultados devemos ter sempre em atenção que não existe nada ao nosso redor que possa bloquear o sinal GPS. Um erro muito comum de todas as pessoas é transportar o *smartphone* numa mochila ou no bolso. Quando a intenção é obter um trajecto o mais preciso possível, o dispositivo deverá estar apto para receber o sinal dos satélites sem que haja nenhuma barreira. Uma boa forma de o fazer é tentar fixar o *smartphone* na alça da mochila ou num bolso que se situe no topo da mesma [Lon14]. Para a escolha dos percursos foi feita uma primeira análise com o Google Earth e após isso foram feitas recolhas em cada um dos trajectos afim de realizar testes a nível de duração da caminhada e da recepção de GPS. No próximo capítulo irá ser apresentada a solução desenvolvida para minimizar os erros presentes nos dados recolhidos pelo GPS bem como a adaptação do BITalino para a recolha dos dados vitais.

# Capítulo 4

## Solução Desenvolvida

### 4.1 Introdução

Para realizar a recolha com os voluntários foi necessário adaptar os BITalinos com os módulos ECG, EMG e ACC. Também foi desenvolvido um algoritmo para suavizar os trajectos realizados eliminando assim os pontos erróneos muito presentes nos trajectos com floresta densa. Durante o desenvolvimento do algoritmo foram realizados testes ao mesmo.

- **Introdução:** apresenta uma breve introdução para este capítulo assim como a organização do mesmo;
- **Adaptação dos BITalinos:** apresenta as modificações realizadas à placa para que esta integrasse os sensores escolhidos para a recolha de bio-sinais;
- **Algoritmo Desenvolvido:** esta secção apresenta o algoritmo desenvolvido para suavizar os trajectos recolhidos com os *smartphones*. Este algoritmo suaviza o trajecto a nível de latitude, longitude e altitude;
- **Testes ao Algoritmo Desenvolvido:** nesta secção são apresentados os resultados dos testes realizados ao algoritmo durante a sua fase de desenvolvimento;
- **Conclusão:** apresenta uma breve conclusão para este capítulo.

### 4.2 Adaptação dos BITalinos

A versão escolhida foi a Board. Com esta versão foi possível criar uma placa com os módulos conectados de forma a que fosse possível colocá-los ao longo do corpo humano de uma forma cómoda para que a recolha dos dados fosse realizada. A figura 4.2 mostra o resultado da modificação realizada para a aquisição de dados desta dissertação e a figura 4.1 ilustra o resultado final de um voluntário instrumentado. Esta adaptação do BITalino foi realizada no laboratório ALLab tendo como base uma adaptação anteriormente realizada para um trabalho realizado na água [DGP16]. Os três electrodos colocados sobre o lado esquerdo do peito são os eléctrodos de ECG; os dois eléctrodos colocados sobre o músculo recto femoral (coxa esquerda) são os eléctrodos de EMG, e o electrodo colocado sobre o lado esquerdo da linha da cintura é o sensor de ACC.

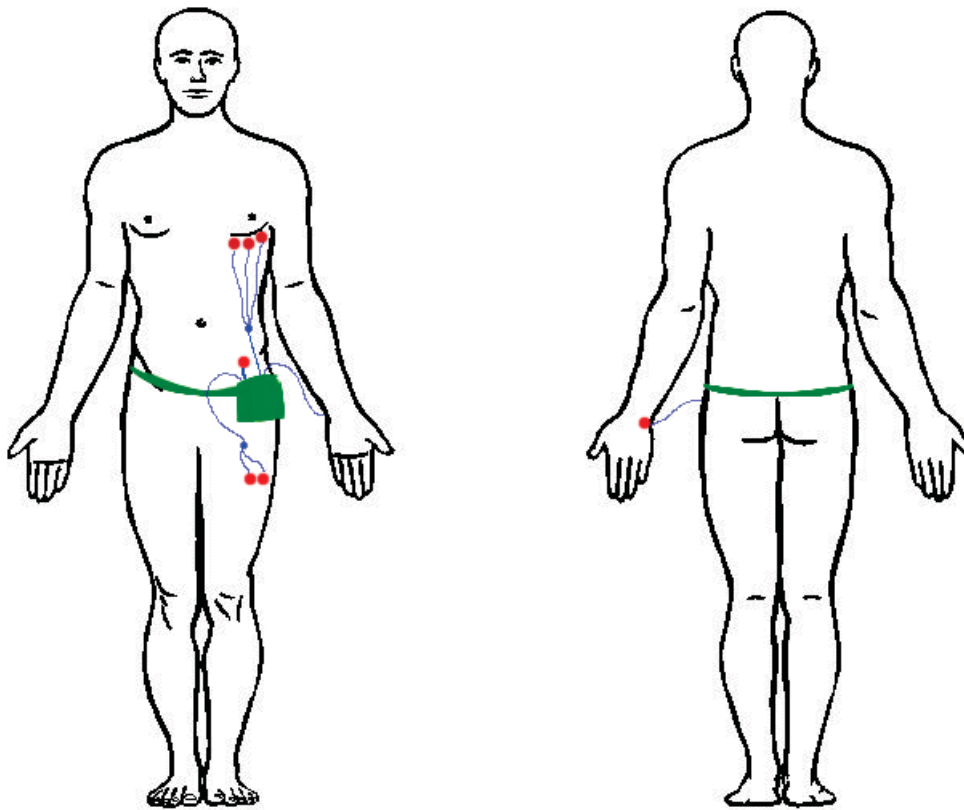


Figura 4.1: Imagem que mostra a colocação dos electrodos (a vermelho) no corpo. Os cabos estão representados a azul e a bolsa lateral que transporta o BITalino a verde.

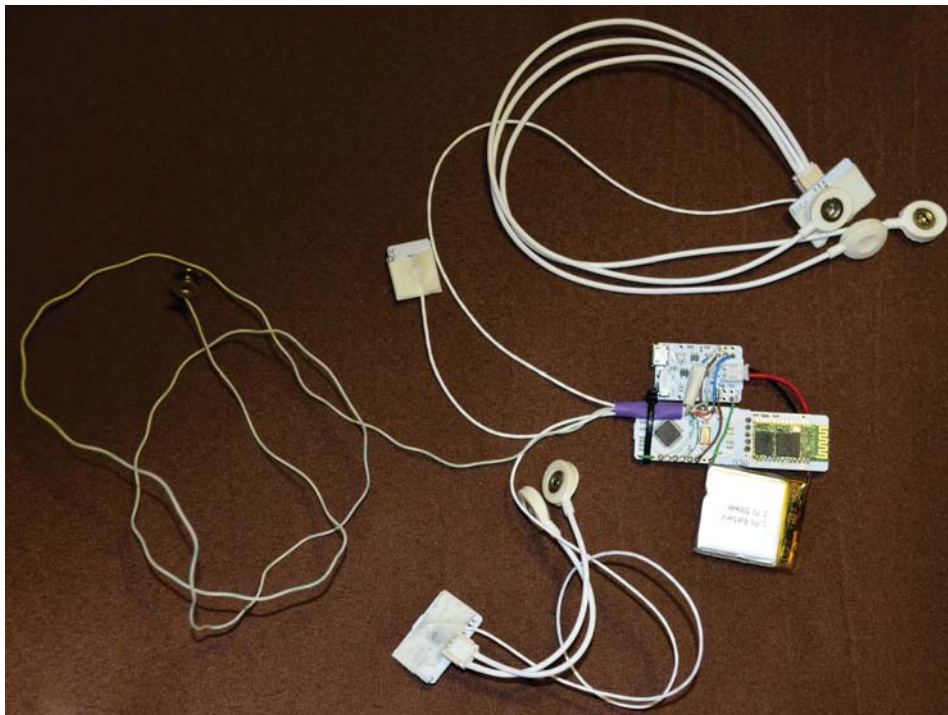


Figura 4.2: Imagem que mostra o resultado final da adaptação do BITalino para esta dissertação.

### 4.3 Algoritmo Desenvolvido

Com os resultados obtidos nas experiências realizadas houve a necessidade de criar um algoritmo que analisasse o percurso e removesse os pontos erróneos tentando assim aproximar-se o máximo possível do percurso realizado (tendo como base as estradas visíveis no software Google Earth).

Numa primeira fase foi desenvolvido um algoritmo que analisa os pontos (latitude e longitude) e comprara-os com os seguintes. Nesta comparação é feita uma análise da distância entre dois pontos verificando assim a existência ou não de pontos erróneos. A figura 4.3 mostra como o algoritmo actua.

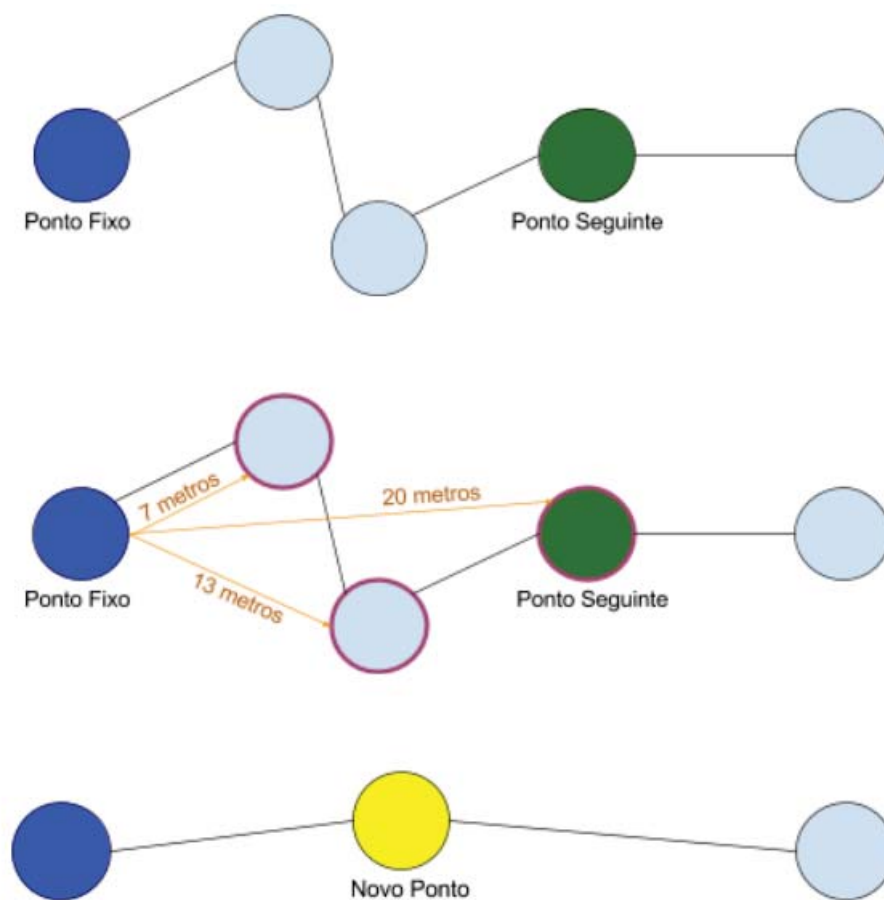


Figura 4.3: Análise de pontos, remoção e criação de um novo ponto.

O algoritmo tem sempre como base um ponto, neste caso pode-se assumir o primeiro ponto, chamado aqui de Ponto Fixo (PF). Com este PF verificam-se os pontos seguintes determinando a distância para cada um deles. Na figura 4.3 é possível visualizar um exemplo da análise à distância entre pontos. Em análises realizadas no percurso de montanha chegou-se à conclusão que a distância que minimiza os erros e deixa o percurso o mais parecido possível com o trajecto real mostrado no Google Earth situava-se entre 15 a 20 metros. Valores inferiores a este ainda apresentam erros e valores superiores já suavizam o percurso de uma forma que possíveis curvas são eliminadas.

Tendo como base vários ficheiros recolhidos durante o período de testes foram realizadas análises para determinar qual seria a distância ideal para percursos de montanha. A figura 4.4 mostra um conjunto de três valores diferentes da distância num mesmo trajecto: 16, 18 e 20 metros.

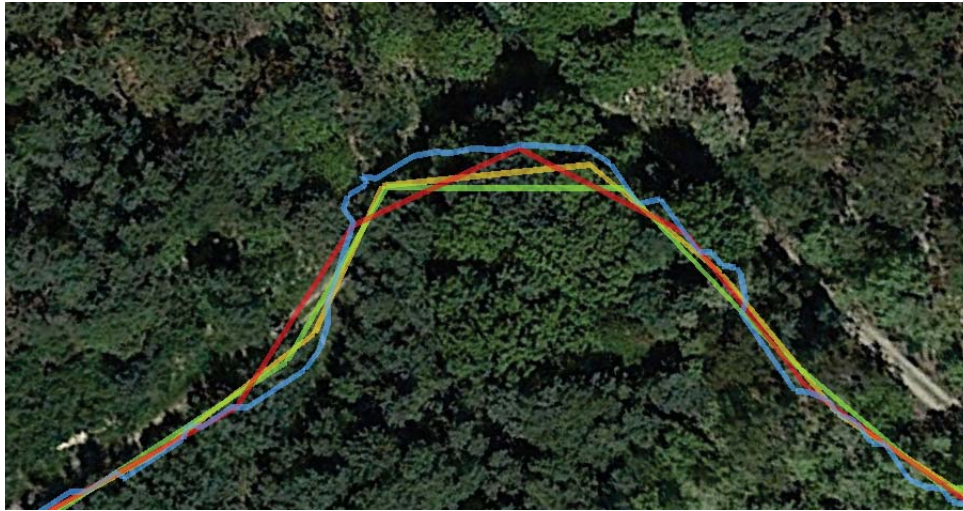


Figura 4.4: A azul, uma imagem de uma curva recolhida por um *smartphone* UMI Hammer no Circuito de Manutenção da Covilhã. Os restantes trajectos coloridos são resultantes da análise pelo algoritmo desenvolvido: distância de 16 metros representada a amarelo, distância de 18 metros a vermelho e a verde uma distância de 20 metros.

Analisando a distância dos pontos seguintes ao Ponto Fixo tenta-se encontrar o Ponto Seguinte (PS). O PS é o ponto que se situa a uma distância maior que 18 metros do PF. Quando existem pontos entre o PF e o PS quer dizer que são pontos que se situam a uma distância inferior a 18 metros do PF podendo os mesmos conter erros. Assim sendo é feita uma média entre as coordenadas (latitude e longitude) de todos os pontos entre o PF (exclusive) e o PS (inclusive). Com esta média é gerada uma nova latitude e uma nova longitude que é introduzida entre o PF e o PS, eliminando assim os pontos existentes entre eles. Com estes novos pontos é criado um novo percurso onde são eliminados os pontos erróneos possivelmente causados pela existência de árvores no local e muito próximo ao percurso realmente percorrido e conhecido através do Google Earth.

Após esta fase de implementação do algoritmo chegou-se a outra conclusão: o gráfico obtido pelo Google Earth não mostrava todas as informações do ficheiro .GPX. Este software apenas lê as coordenadas do ficheiro .GPX, a altitude apresentada corresponde à altitude que é conhecida pelo software num dado ponto. Quando essa falha foi detectada, foi encontrada a página web MAPLORER que mostra as duas altitudes: a do Google Earth e a do ficheiro. A altitude também continha erros e então foi feita uma alteração ao algoritmo incluindo assim a suavização das altitudes recolhidas.

A figura 4.5 mostra a altitude presente no ficheiro recolhido por um *smartphone* Umi Hammer e a figura 4.6 mostra um gráfico com as altitudes representadas no Google Earth após ter sido feito o upload do ficheiro anteriormente mencionado. É notória a diferença entre os dois gráficos. Enquanto que no gráfico baseado nos dados do ficheiro GPX recolhido pelo *smartphone*

## Recolha e Análise de Bio-Sinais em Ambientes Abertos

o ponto mais alto situa-se nos 929 metros de altitude e o ponto mais baixo nos 773 metros, no gráfico mostrado pelo Google Earth o ponto mais alto situa-se nos 949 metros e o ponto mais baixo nos 856 metros.

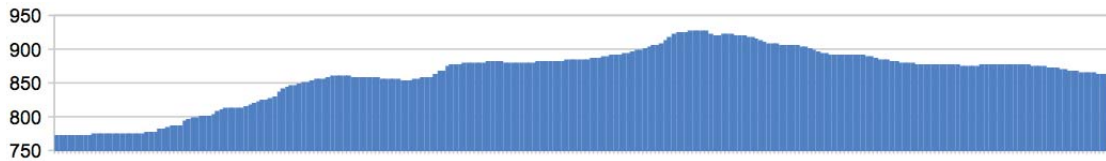


Figura 4.5: Gráfico que representa as altitudes recolhidas por um *smartphone* UMI Hammer no Circuito de Manutenção da Covilhã.

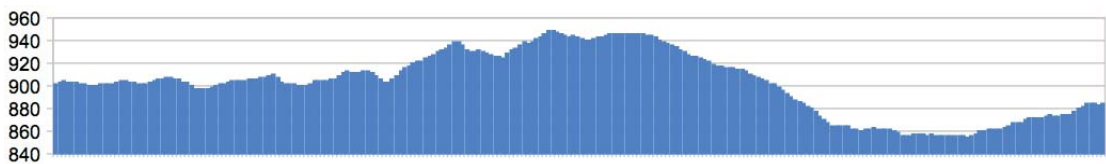


Figura 4.6: Gráfico que representa as altitudes mostradas no Google Earth no ficheiro recolhido por um *smartphone* UMI Hammer no Circuito de Manutenção da Covilhã.

Numa primeira fase, para ser analisada a diferença entre o ficheiro original e o ficheiro modificado, foi desenvolvido um algoritmo onde apenas eram suavizadas as altitudes. Assim, era possível comparar os dois resultados para perceber quais as diferenças. Para se verificar as diferenças entre os dois gráficos de altitudes não foi possível implementar logo uma alteração ao algoritmo anteriormente desenvolvido, pois esse algoritmo reduz o número de pontos no mapa, o que fazia com que o número de altitudes mudassem também. Para se poder fazer uma comparação dos dois gráficos era necessário possuir dois trajectos com o mesmo número de pontos. A figura 4.7 mostra um gráfico de altitudes para o ficheiro original e a figura 4.8 o ficheiro modificado pelo algoritmo desenvolvido.

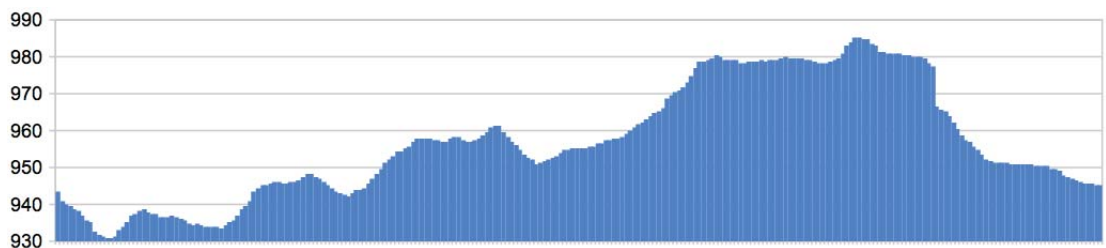


Figura 4.7: Gráfico que representa as altitudes recolhidas por um *smartphone* Wiko Wax no Circuito de Manutenção da Covilhã.

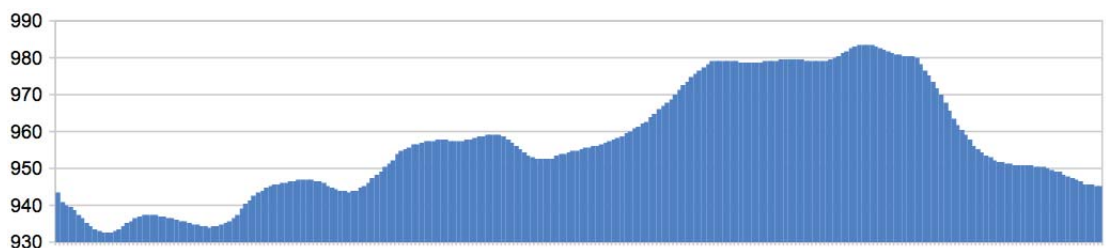


Figura 4.8: Gráfico que representa as altitudes modificadas pelo algoritmo desenvolvido e que foram recolhidas por um *smartphone* Wiko Wax no Circuito de Manutenção da Covilhã.

Após verificação de que a altitude estava a ser realmente suavizada foi desenvolvido o algoritmo final que suaviza tanto o trajecto ao nível das coordenadas (latitude e longitude) como da altitude.

Assim sendo, o algoritmo final lê os dados do ficheiro recolhido pelo *smartphone* e guarda-os. Numa primeira fase, o algoritmo coloca o primeiro ponto como o PF e copia-o para o ficheiro. A seguir é procurado o PS. Caso o PS seja logo o ponto seguinte a PF então irá ser analisada a possibilidade de se calcular uma média móvel, este cálculo será explicado posteriormente. Senão, se entre PF e PS existirem pontos, então é feita uma média de latitudes, longitudes e também o cálculo das médias móveis. Estes passos são sempre realizados até que não haja mais pontos a serem analisados. A figura 4.9 mostra um fluxograma do algoritmo que representa a parte em que são calculados novos pontos.

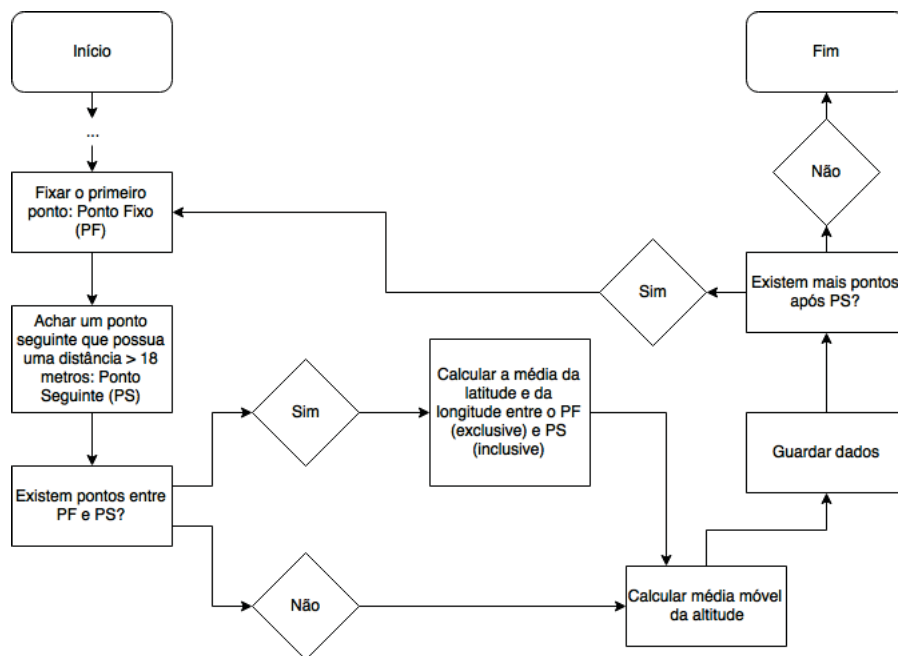


Figura 4.9: Fluxograma que representa o tratamento dos dados pelo algoritmo desenvolvido.

No que toca às médias móveis foi aplicada a fórmula 4.1 no algoritmo.

$$m_n = \frac{\sum_{i=n-5}^{n+5} a_i}{11} \quad (4.1)$$

Por omissão, foi escolhido um conjunto mínimo de 10 valores. Neste caso, a média móvel irá ter como valores de entrada as cinco altitudes anteriores ao PF e as cinco altitudes posteriores a PS. Aqui também serão incluídas as altitudes de todos os pontos entre PF e PS, se existirem. Com este método apenas se sabe que, no mínimo, a média móvel de um dado ponto terá 10 valores. Nos casos em que a média móvel não pode ser calculada é copiada a altitude original. O código 4.3 mostra a versão final da fórmula aplicada a cada um dos três casos: existência de valores para a altitude anteriores e posteriores, existência de valores posteriores e existência de valores anteriores.

## Recolha e Análise de Bio-Sinais em Ambientes Abertos

---

```
private static double novaAltitude(int i, int j, int mediaMovelAnalisada, int tamArray,
    ArrayList<Double> altitudes) {

    double soma = 0;
    double altitudeFinal = 0;

    int k = 0;

    if (i - (mediaMovelAnalisada / 2) >= 0 && j + (mediaMovelAnalisada / 2) < tamArray) {
        // É possível calcular a média móvel

        for (k = i - (mediaMovelAnalisada / 2); k < j + (mediaMovelAnalisada / 2); k++) {
            soma = soma + altitudes.get(k);
        }

        altitudeFinal = soma / (mediaMovelAnalisada + j - i);

    } else if (j + (mediaMovelAnalisada / 2) < tamArray) {
        // Não é possível calcular a média móvel porque está fora dos limites do array
        // Tentar colocar um limite inferior e superior dentro do array

        for (k = i; k < j + (mediaMovelAnalisada / 2); k++) {
            soma = soma + altitudes.get(k);
        }

        altitudeFinal = soma / (j + (mediaMovelAnalisada / 2) - i);

    } else if (i - (mediaMovelAnalisada / 2) >= 0) {

        for (k = i - (mediaMovelAnalisada / 2); k < j; k++) {
            soma = soma + altitudes.get(k);
        }

        altitudeFinal = soma / (j - (i - (mediaMovelAnalisada / 2)));
    } else {
        for (k = i; k < j; k++) {
            soma = soma + altitudes.get(k);
        }

        altitudeFinal = soma / (j - i);
    }

    return (altitudeFinal);
}
```

---

## 4.4 Testes ao Algoritmo Desenvolvido

Foram realizados testes ao longo de todo o processo de implementação do algoritmo desenvolvido. Todos os testes foram visualizados no Google Earth ou pelo MAPLORER. Um dos testes realizados comparava os dados obtidos pelo algoritmo desenvolvido com os dados obtidos através da página web GPS Visualizer.

Para um mesmo percurso, um único ficheiro GPX, foi analisado pelo algoritmo aqui apresentado e pelo GPS Visualizer. Os resultados são diferentes e podem ser analisados através da página web MAPLORER. Para servir como exemplo podemos analisar os ficheiros obtidos pelos *smartphones* Wiko Wax e Umi Hammer. As imagens destes testes encontram-se no Apêndice A.

Segundo o MAPLORER, no ficheiro original a distância percorrida foi de 2.36 quilómetros, a altitude máxima foi de 985, a altitude mínima de 931 metros e a velocidade média de 5km/h. É de notar que estes são valores que contêm erros. A figura A.1 mostra o trajecto original numa zona onde existem muitos erros e a figura 4.7 mostra o gráfico das altitudes.

Já o ficheiro resultante da análise do algoritmo desenvolvido possui um total de 2.2 quilómetros percorridos, uma altitude máxima de 983 metros, altitude mínima de 934 metros e uma velocidade média de 4.7 km/h. A figura A.3 mostra o trajecto final gerado pelo algoritmo numa zona onde existem muitos erros (a mesma zona que a figura A.1) e a figura A.2 mostra o gráfico das altitudes para este ficheiro. Para uma melhor visualização do resultado final do algoritmo em comparação com o trajecto final visualizado anteriormente pode-se verificar a figura A.4. A figura A.5 mostra todo o trajecto.

Pode-se afirmar, neste caso, que quando o algoritmo desenvolvido removeu pontos erróneos, o trajecto ficou com uma diferença de distância total de cerca de 7% a 10%.

Colocando o mesmo ficheiro GPX original para ser analisado pelo GPS Visualizer com uma distância também de 18 metros, consegue-se visualizar através do Google Maps o trajecto obtido. Na figura A.6 é mostrado o mesmo local do trajecto e na figura A.8 o trajecto completo. Este trajecto possui um total de 2.25 quilómetros, uma altitude máxima de 985 metros e mínima de 931 metros. A velocidade média, neste caso, é de 4.6 km/h. A figura A.7 mostra as altitudes calculadas por esta página web e a figura A.9 o gráfico de altitudes do ficheiro gerado pelo algoritmo. É de notar que este gráfico é muito diferente do original e do obtido pelo algoritmo desenvolvido.

A tabela 4.1 e a tabela 4.2 mostram os dados acima descritos para dois ficheiros diferentes.

Tabela 4.1: Tabela de resultados para o Ficheiro 1.

	Ficheiro 1			
	Dist. (km)	Alt. Máx. (m)	Alt. Mín. (m)	Média Velocidade (km/h)
Ficheiro Original	2.83	929	773	4.3
Algoritmo Desenvolvido	2.52	929	773	4.5
GPS Visualizer	2.57	929	773	4.6

Tabela 4.2: Tabela de resultados para o Ficheiro 2.

	Ficheiro 1			
	Dist. (km)	Alt. Máx. (m)	Alt. Mín. (m)	Média Velocidade (km/h)
Ficheiro Original	3.13	989	914	4.5
Algoritmo Desenvolvido	2.75	989	914	4.4
GPS Visualizer	2.82	989	914	4.7

No Complexo Desportivo foram também realizados testes para verificar a existência de erros nos dados guardados. Foram realizados vários testes dos quais são aqui apresentados dois exemplos. Nestes exemplos foram utilizados um *smartphone* Umi Hammer e um LG G3.

Segundo o MAPLORER, no ficheiro original a distância percorrida foi de 0.69 quilómetros, a altitude máxima foi de 601 metros, a altitude mínima de 553 metros e a velocidade média de 5.9km/h. Mais uma vez, é de notar que estes são valores que possuem erros. A figura A.10 mostra o gráfico de altitudes e a figura A.11 mostra o trajecto percorrido. Este trajecto não corresponde totalmente ao trajecto percorrido pelos voluntários.

No ficheiro resultante da análise do algoritmo desenvolvido as informações apresentadas são: 0.58 quilómetros percorridos, 601 metros para a altitude máxima, 554 metros para a altitude mínima e 5.7 km/h para a velocidade média. A figura A.12 mostra o trajecto resultante da análise, a figura A.13 mostra a sobreposição dos dois trajectos, a figura A.15 mostra uma zona com erros e, por último, a figura A.14 mostra o gráfico de altitudes.

Colocando o mesmo ficheiro no GPS Visualizer, com uma distância também de 5 metros obteve-se o seguinte resultado: 0.59 quilómetros percorridos, 601 metros para a altitude máxima, 553 metros para a altitude mínima e 5.9km/h para a velocidade média. A figura A.16 mostra o trajecto gerado e a figura A.17 o gráfico de altitudes. A figura A.18 mostra a sobreposição dos trajectos resultantes da análise do algoritmo desenvolvido e do trajecto resultante da análise realizada pelo GPS Visualizer.

## 4.5 Conclusão

Todos os testes realizados ao algoritmo desenvolvido tiveram como base o Google Earth. Com este *software* é possível visualizar o caminho realizado durante a recolha dos dados, pois é bem visível a estrada de terra. Pode-se admitir que até mesmo o Google Earth possa possuir erros mas, é a ferramenta que nos indica diversas informações e onde foi possível comparar aquilo que deveria ser o trajecto real com o trajecto recolhido. Com base nisso foi constatada a existência de erros nas recolhas realizadas ao longo da fase de testes. O próximo capítulo apresenta a implementação do algoritmo desenvolvido às recolhas realizadas com os voluntários, bem como os resultados obtidos.



## Capítulo 5

### Implementação e Resultados da Recolha de *Global Positioning System* (GPS)

#### 5.1 Introdução

Este capítulo apresenta a implementação do protocolo previamente estabelecido e os resultados da recolha.

O capítulo está dividido da seguinte forma:

- **Introdução:** apresenta o capítulo e descreve como este está dividido;
- **Implementação do Protocolo de Recolha:** refere o modo como foi aplicado o protocolo estabelecido no terreno com os voluntários;
- **Resultados da Recolha:** esta secção apresenta resultados para alguns ficheiros recolhidos juntamente com os voluntários. São apresentadas imagens e tabelas com os valores;
- **Base de dados:** mostra como os dados foram reunidos e armazenados na base de dados. Neste capítulo está indicado o endereço para consulta dos dados;
- **Conclusão:** conclui este capítulo e apresenta o seguinte.

#### 5.2 Implementação do Protocolo de Recolha

Todas as recolhas foram iniciadas no Circuito de Manutenção da Covilhã. Aqui eram realizados todos os procedimentos previstos no protocolo: eram colocados os eléctrodos em cada um dos voluntários e configuradas todas as aplicações necessárias para a recolha dos dados. No máximo eram realizadas quatro recolhas simultâneas, isto é, número total de BITalinos adaptados para esta situação. Aqui começaram a surgir dificuldades: cada voluntários demora cerca de 10 minutos a colocar os eléctrodos no local correcto e a configurar as aplicações. Quanto maior o número de voluntários, maior o tempo de espera inicial. Outra dificuldade encontrava-se na recepção de sinal GPS. Como é um local com uma floresta muito densa, os *smartphones* poderiam demorar muito tempo até obter sinal. O maior tempo de espera chegou aos 20 minutos. Assim sendo foi pedido aos voluntários que ligassem o GPS antes de chegar ao local da recolha para que o processo fosse mais rápido, o que nem sempre acontecia.

Após a configuração do BITalino, recepção do sinal GPS e o aquecimento estarem realizados iniciava-se assim a caminhada. Ao longo do percurso todos os voluntários caminhavam em grupo. Sendo que o percurso tem o mesmo ponto de partida e de chegada, assim que se chegasse novamente ao ponto de partida, todos os voluntários recebiam instruções de como parar a recolha dos dados e guardá-los. Outras dificuldades surgiam com *smartphones* mais antigos onde, inclusivamente, um Alcatel OT-991 não guardou os dados recolhidos ao longo do percurso.

Tabela 5.1: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo Wiko Wax. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

Wiko Wax - Ficheiro Original			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
2.36	985	931	5

O sensor do ACC era algo que não permanecia sempre colado ao corpo, soltando-se constantemente, o que poderia provocar alguma alteração nos dados recolhidos.

Mais de 90% das recolhas nos dois circuitos foram realizadas no mesmo dia. Nos casos em que os voluntários estavam disponíveis para realizar as duas recolhas, escolheram não retirar os eléctrodos, assim, no Complexo Desportivo, o processo seria mais rápido.

No Complexo Desportivo a recolha era bem mais simples, todos os *smartphones* recebiam sinal GPS em poucos segundos. No geral, este foi o percurso onde não houve tantas dificuldades. Apenas dois *smartphones* não guardaram os dados GPS. Nestes casos os voluntários disponibilizaram-se para realizarem a recolha novamente.

A recolha dos dados contou com um total de 9 voluntários, dos quais 5 eram homens, com idades compreendidas entre os 26 e 38 anos, e 4 mulheres, com idades compreendidas entre 24 e 26 anos. Foram realizadas 18 recolhas pelos voluntários onde cada um realizou dois percursos: um no Complexo Desportivo e outro no Circuito de Manutenção.

### 5.2.1 Resultados da Recolha

Em cada um dos percursos foram guardados dois ficheiros: um ficheiro .TXT com os dados recolhidos pelo BITalino e um ficheiro GPX com os dados recolhidos pelo GPS, ou seja, no final cada voluntário enviou quatro ficheiros. A análise e validação dos dados ECG, EMG e ACC serão realizados no capítulo 6. As subsecções seguintes apresentam os resultados dos ficheiros GPX pelo algoritmo desenvolvido, sendo que na secção 5.2.1.1 são apresentados os resultados obtidos do trajecto e na secção 5.2.1.2 são apresentados os gráficos de altitudes recolhidas e os gráficos resultantes da análise do algoritmo. As restantes análises aos ficheiros GPX poderão ser encontradas no Anexo B.

#### 5.2.1.1 Trajecto Guardado

O algoritmo desenvolvido processou todos os trajectos recolhidos pelos *smartphones* dos voluntários. Aqui foram colocados dois exemplos de trajectos recolhidos pelos *smartphones* Wiko Wax e Sony Xperia D2303.

A figura 5.1 mostra o trajecto recolhido pelo Wiko no Circuito de Manutenção. Para este ficheiro, a página web MAPLORER indica a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média. A tabela 5.1 mostra esses valores.



Figura 5.1: Imagem do trajecto recolhido pelo Wiko Wax.

Após a análise realizada pelo algoritmo desenvolvido é possível visualizar a a figura 5.2 que mostra a sobreposição do trajecto original (a azul) e o trajecto resultante do algoritmo (a vermelho). A tabela 5.2 mostra os dados do trajecto após ser analisado pelo algoritmo.



Figura 5.2: Imagem dos trajectos recolhidos pelo Wiko Wax. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo.

Tabela 5.2: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Wiko Wax. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

Wiko Wax - Ficheiro Modificado			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
2.2	984	934	4.7

A figura 5.3 mostra o trajecto recolhido pelo Wiko no Complexo Desportivo. Para este ficheiro, a página web MAPLORER indica a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média. A tabela 5.3 mostra esses valores.



Figura 5.3: Imagem do trajecto recolhido pelo Wiko Wax.

Tabela 5.3: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo Wiko Wax. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

Wiko Wax - Ficheiro Original			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
1.45	577	532	3.5

Após a análise realizada pelo algoritmo desenvolvido é possível visualizar a figura 5.4 que mostra a sobreposição do trajecto original (a azul) e o trajecto resultante do algoritmo (a vermelho). A tabela 5.4 mostra os dados do trajecto após ser analisado pelo algoritmo.



Figura 5.4: Imagem dos trajectos recolhidos pelo Wiko Wax. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo.

A figura 5.5 mostra o trajecto recolhido pelo Sony no Circuito de Manutenção. Para este ficheiro, a página web MAPLORER indica a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média. A tabela 5.5 mostra esses valores.

## Recolha e Análise de Bio-Sinais em Ambientes Abertos

Tabela 5.4: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Wiko Wax. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

Wiko Wax - Ficheiro Modificado			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
1.3	576	532	4.8



Figura 5.5: Imagem do trajecto recolhido pelo Sony Xperia.

Após a análise realizada pelo algoritmo desenvolvido é possível visualizar a figura 5.6 que mostra a sobreposição do trajecto original (a azul) e o trajecto resultante do algoritmo (a vermelho). A tabela 5.6 mostra os dados do trajecto após ser analisado pelo algoritmo.



Figura 5.6: Imagem dos trajectos recolhidos pelo Sony Xperia. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo.

A figura 5.7 mostra o trajecto recolhido pelo Sony no Complexo Desportivo. Para este ficheiro, a página web MAPLORER indica a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média. A tabela 5.7 mostra esses valores.

Tabela 5.5: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo Sony Xperia. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

Sony Xperia - Ficheiro Original			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
2.75	1014	913	5

Tabela 5.6: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Sony Xperia. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

Sony Xperia - Ficheiro Modificado			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
2.42	1007	916	4.1



Figura 5.7: Imagem do trajecto recolhido pelo Sony Xperia.

Após a análise realizada pelo algoritmo desenvolvido é possível visualizar a figura 5.8 que mostra a sobreposição do trajecto original (a azul) e o trajecto resultante do algoritmo (a vermelho). A tabela 5.8 mostra os dados do trajecto após ser analisado pelo algoritmo.

### 5.2.1.2 Altitudes Guardadas

A figura 5.9 apresenta o gráfico de altitudes guardado pelo Wiko Wax durante o trajecto do Circuito de Manutenção. A figura 5.10 mostra o gráfico de altitudes resultante da análise do algoritmo desenvolvido.

Tabela 5.7: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo Sony Xperia. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

Sony Xperia - Ficheiro Original			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
1.41	573	549	4

Tabela 5.8: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Sony Xperia. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

Sony Xperia - Ficheiro Modificado			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
1.38	572	550	3.9



Figura 5.8: Imagem dos trajectos recolhidos pelo Sony Xperia. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo.

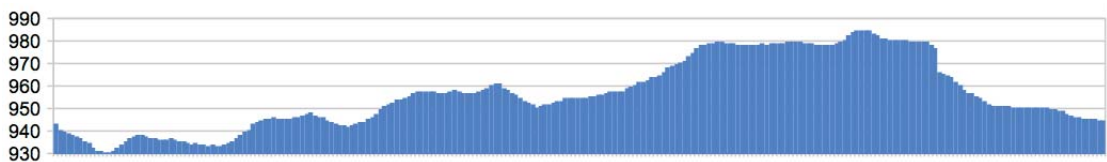


Figura 5.9: Gráfico de altitudes recolhido pelo Wiko Wax durante o trajecto do Circuito de Manutenção.

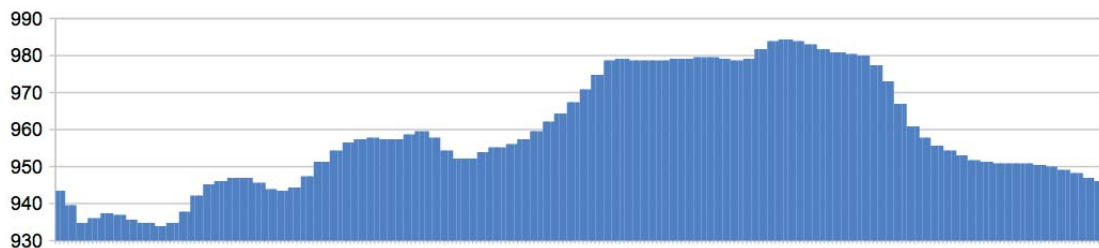


Figura 5.10: Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo Wiko Wax durante o trajecto do Circuito de Manutenção.

Na figura 5.11 é possível visualizar o gráfico de altitudes guardado pelo Wiko Wax durante o trajecto do Complexo Desportivo. A figura 5.12 apresenta o gráfico de altitudes resultante da análise do algoritmo desenvolvido.

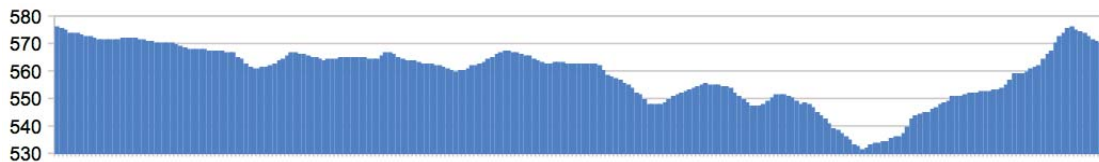


Figura 5.11: Gráfico de altitudes recolhido pelo Wiko Wax durante o trajecto do Complexo Desportivo.

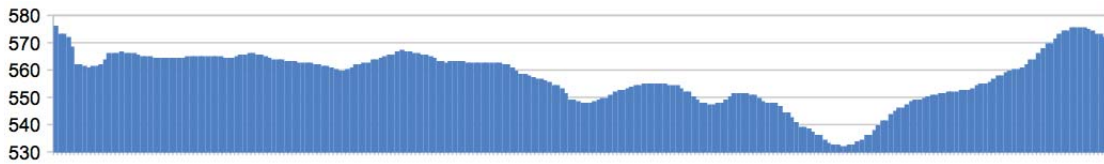


Figura 5.12: Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo Wiko Wax durante o trajeto do Complexo Desportivo.

A figura 5.13 apresenta o gráfico de altitudes guardado pelo Sony Xperia durante o trajeto do Circuito de Manutenção. A figura 5.14 mostra o gráfico de altitudes resultante da análise do algoritmo desenvolvido.

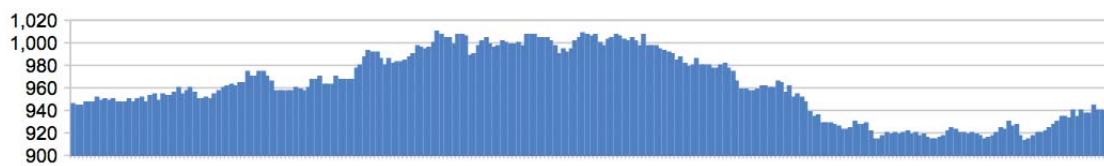


Figura 5.13: Gráfico de altitudes recolhido pelo Sony Xperia durante o trajeto do Circuito de Manutenção.

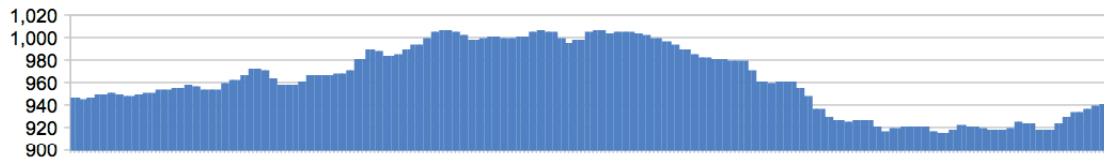


Figura 5.14: Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo Sony Xperia durante o trajeto do Circuito de Manutenção.

Na figura 5.15 é possível visualizar o gráfico de altitudes guardado pelo Sony Xperia durante o trajeto do Complexo Desportivo. A figura 5.16 apresenta o gráfico de altitudes resultante da análise do algoritmo desenvolvido.

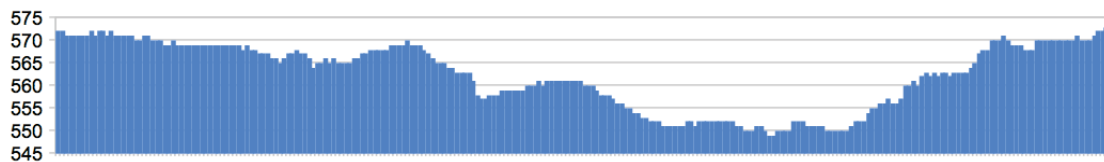


Figura 5.15: Gráfico de altitudes recolhido pelo Sony Xperia durante o trajeto do Complexo Desportivo.

### 5.3 Base de Dados

Todos os dados recolhidos foram analisados e, todas as análises dos dados de GPS resultaram em ficheiros que também foram disponibilizados. Todos os ficheiros estão disponibilizados pu-

## Recolha e Análise de Bio-Sinais em Ambientes Abertos

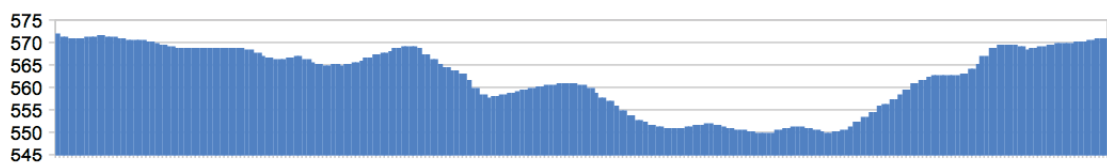


Figura 5.16: Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo Sony Xperia durante o trajecto do Complexo Desportivo.

blicamente em <http://allab.it.ubi.pt/mediawiki>.

Além dos ficheiros de dados originais e processados, está também disponível um documento que descreve os dados e a forma como foram obtidos.

## 5.4 Conclusão

Foram realizadas 9 recolhas com voluntários. Cada voluntário percorreu os dois trajectos realizados fazendo assim um total de 18 recolhas. Realizar recolhas em ambientes não controlados é algo difícil, pois, neste caso, existiu sempre um *smartphone* que tardava em obter localização. Após a recolha estar concluída foi sempre verificado se os ficheiros estavam bem guardados, o que nem sempre acontecia e, nestes casos, era necessário voltar a realizar o percurso.

As recolhas não correram como o esperado, pois se um voluntário pretendesse realizar os dois percursos no mesmo dia eram necessárias cerca de 3 horas, o que nem sempre é fácil conseguir conciliar. Os voluntários sempre foram informados de todo o procedimento que teria que ser realizado: desde a colocação de electrodos na pele, recolha dos dados de GPS e que estes dados iriam ficar disponibilizados de forma pública. Muitos voluntários mostraram-se interessados em realizar a recolha mas nem todos tiveram disponibilidade para a realizar.

O próximo capítulo apresenta a análise realizada aos dados EMG, ECG e ACC.



## Capítulo 6

### Análise e Validação dos Dados Electrocardiograma (ECG), Electromiografia (EMG) e Acelerometria (ACC)

#### 6.1 Introdução

A análise e validação dos dados ECG, EMG e ACC recolhidos foi realizada com recurso ao *Signal-To-Noise Ratio* (SNR). Com esta análise é possível calcular o nível de ruído dos sinais recolhidos, para isso foi necessário realizar uma recolha num ambiente controlado para que os dados pudessem ser comparados. A recolha num ambiente controlado foi realizada com recurso a uma passadeira do Departamento de Desporto da UBI utilizada para fins de investigação.

A ideia inicial para a validação dos dados era de que os sinais recolhidos em ambientes abertos era mais variável do que em condições controladas.

Este capítulo está organizado da seguinte forma:

- **Introdução:** apresenta uma breve apresentação para este capítulo bem como a organização do mesmo;
- ***Signal-To-Noise Ratio* (SNR):** neste capítulo é apresentado o método escolhido, bem como a análise e validação dos dados;
- **Conclusão:** apresenta a conclusão para este capítulo.

#### 6.2 *Signal-To-Noise Ratio* (SNR)

Com o intuito de analisar e validar os dados foi medido o ruído dos dados recolhidos [QCY13]. Antes de se realizar esta tarefa foram realizadas novas recolhas com voluntários mas desta vez num ambiente controlado.

Tendo como base os percursos realizados tanto no Circuito de Manutenção como no Complexo Desportivo da Covilhã, foi elaborado um percurso a ser realizado numa passadeira. No caso do percurso do Complexo Desportivo foi utilizada a última parte do mesmo (figura 6.1) e no caso do Circuito de Manutenção foi utilizada a parte inicial do percurso (figura 6.2).

Definidos os percursos a serem replicados na passadeira foram definidos os tempos, velocidades e inclinação tendo como base a média dos percursos recolhidos nos ambientes não controlados.



Figura 6.1: Imagem do trajecto do Complexo Desportivo escolhido e que foi replicado na passareira.



Figura 6.2: Imagem do trajecto do Circuito de Manutenção escolhido e que foi replicado na passareira.

A tabela 6.1 mostra a definição dos percursos que foram recolhidos na passareira.

A recolha de dados desta natureza é sempre algo que possui ruído, pois existem interferências nos sinais por diversas razões, tais como, outros sinais biológicos, o ambiente onde os sinais foram recolhidos, o dispositivo que recolheu os dados e até mesmo dos eléctrodos [FAN<sup>+</sup>13], [Kon05], [NW09].

Para cada sinal recolhido nos ambientes não controlados, foram comparados com os sinais recolhidos no ambiente controlado, assim sendo, o SNR foi calculado utilizando a função do MATLAB:

$$\text{SNR} = \text{snr}(\text{SinalPassadeira}, \text{SinalTerreno});$$

## Recolha e Análise de Bio-Sinais em Ambientes Abertos

Tabela 6.1: Tabela com os tempos e as elevações para os percursos recolhidos na passareira.

Círculo Manutenção		Complexo Desportivo	
Tempo (min.)	Elevação (%)	Tempo (min.)	Elevação (%)
2	0	4	0
4	3.5	1	1.2
4	0	1	0
2	1.38	4	2.5

Para que a comparação fosse realizada foi utilizado somente os dados recolhidos no percurso que foi replicado na passareira. Os dados de SNR obtidos nem sempre eram positivos pois quando a intensidade dos sinais a comparar é diferente, os valores são sempre negativos [KDJ]. Ou seja, sempre que a intensidade do sinal da passareira é menor que o sinal recolhido no terreno, o valor SNR era inferior a zero. Com isto, foi verificado que invertendo os sinais na fórmula, isto é,  $SNR = snr(\text{SinalTerreno}, \text{SinalPassadeira})$ . Aplicando a fórmula desta forma, o valor obtido (medido em decibéis) era exactamente o mesmo, mas positivo, então, os dados obtidos para SNR foram considerados sempre como positivos.

A seguir é possível visualizar o gráfico para uma recolha do sinal EMG no Circuito de Manutenção (6.3) e no Complexo Desportivo(6.4).

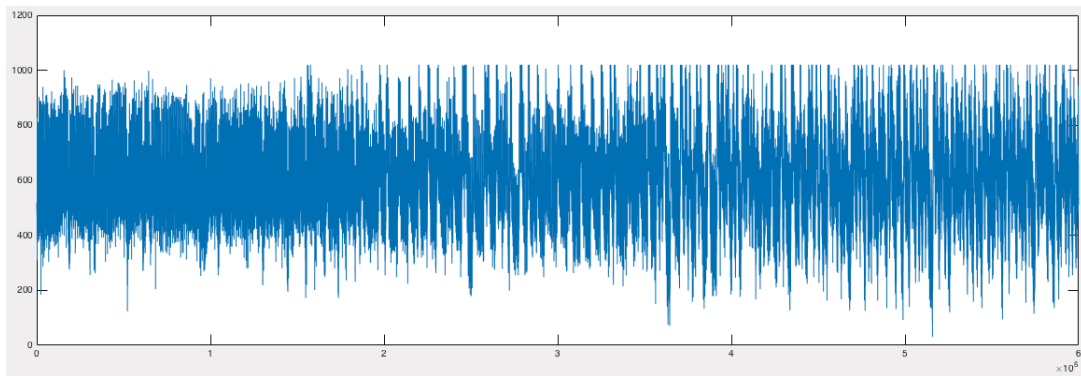


Figura 6.3: Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal ECG recolhido no Circuito de Manutenção.

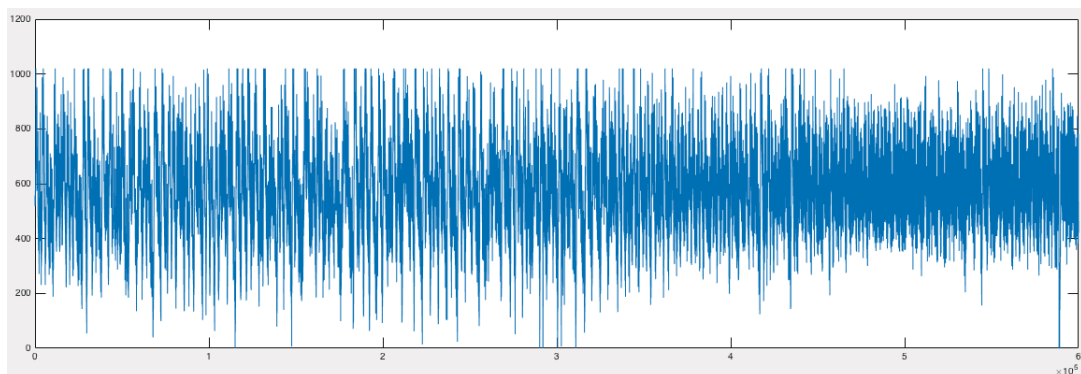


Figura 6.4: Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal ECG recolhido no Complexo Desportivo.

Neste caso é possível visualizar que os dois sinais têm a mesma amplitude, mas nem todas as recolhas possuem amplitudes iguais, mesmo nos casos em que a recolha foi realizada pela mesma pessoa. As próximas figuras (6.5 e 6.6) mostram os gráficos gerados pelo MATLAB para

as recolhas realizadas ao sinal EMG. Estas recolhas foram realizadas pela mesma pessoa nos dois circuitos previamente estabelecidos e, neste caso, é visível a diferença na amplitude do sinal.

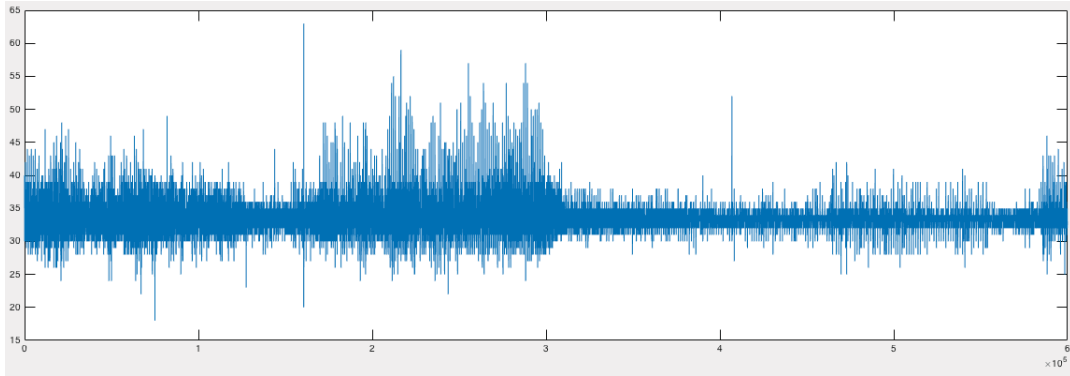


Figura 6.5: Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal EMG recolhido no Circuito de Manutenção.

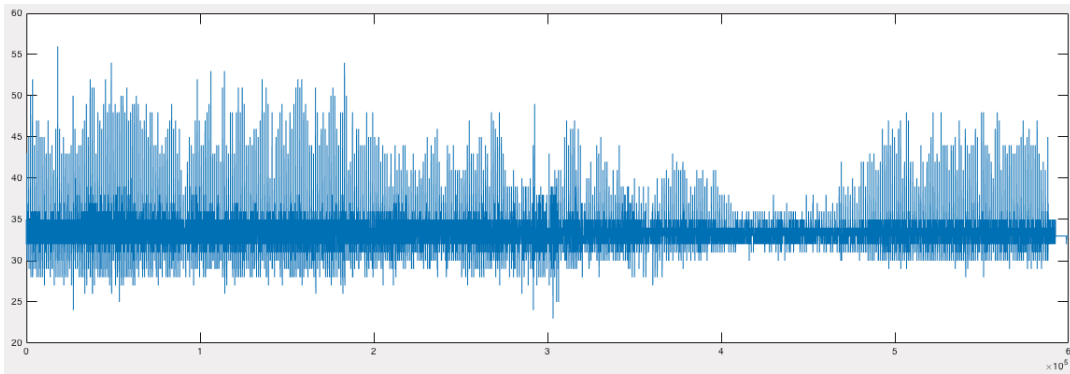


Figura 6.6: Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal EMG recolhido no Complexo Desportivo.

Foi notado que as amplitudes dos sinais recolhidos eram distintas e, como tal, o valor do SNR poderia estar a ser afectado. Para normalizar essas amplitudes foi aplicada a fórmula 6.1 a cada um dos sinais a serem analisados:

$$S_i = (S_i - min) * \left( \frac{1}{MAX - min} \right) \quad (6.1)$$

A figura 6.7 mostra o gráfico gerado para o sinal EMG recolhido no Complexo Desportivo e a figura 6.8 mostra o gráfico gerado para o sinal EMG recolhido na passadeira. É de notar que estes não são todos os dados recolhidos, pois foi estabelecido um pequeno trajecto para simular na passadeira e, por conseguinte, na passadeira apenas e só foi realizado esse pequeno trajecto. Neste caso, as recolhas tanto no terreno como na passadeira foram realizadas pela mesma pessoa. O cálculo do SNR destes dois ficheiros foi de 0.2628 dB.

A figura 6.9 mostra o gráfico para a recolha realizada no Circuito de Manutenção pela mesma pessoa que o caso anterior. Mais uma vez, é feita uma comparação com a recolha na passadeira realizada pela mesma pessoa 6.10. É de notar que este trajecto possui um pavimento incerto com existência de pedras no caminho. O cálculo do SNR entre estes dois ficheiros foi de 0.5926 dB.

## Recolha e Análise de Bio-Sinais em Ambientes Abertos

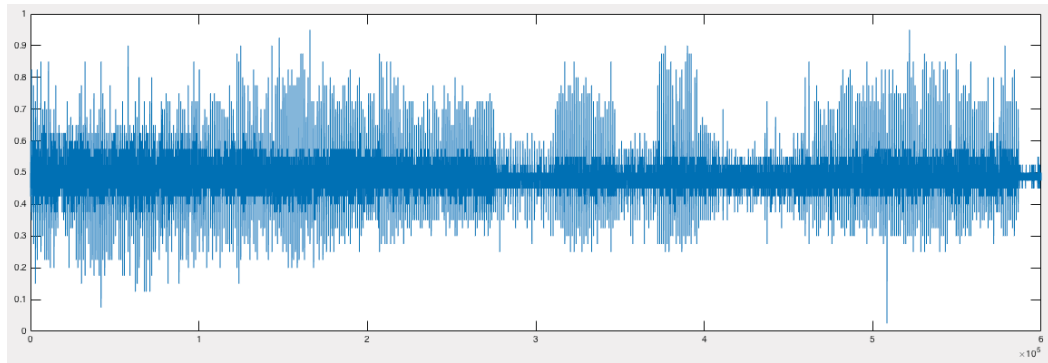


Figura 6.7: Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal EMG recolhido no Complexo Desportivo.

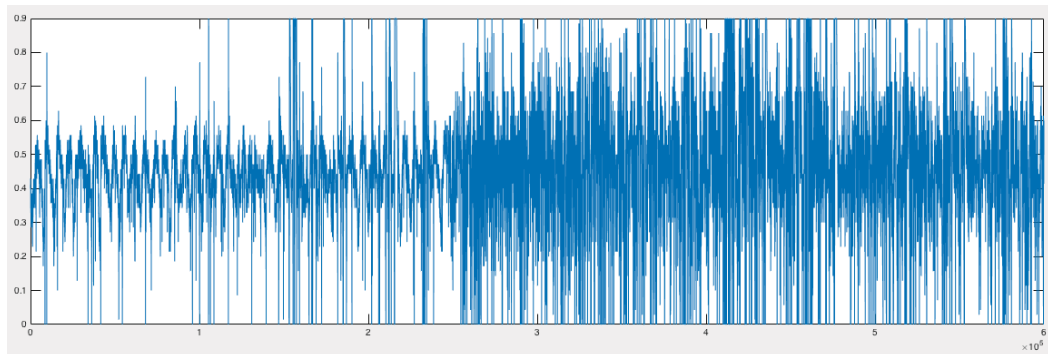


Figura 6.8: Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal EMG recolhido na passareira replicando o percurso do Complexo Desportivo.

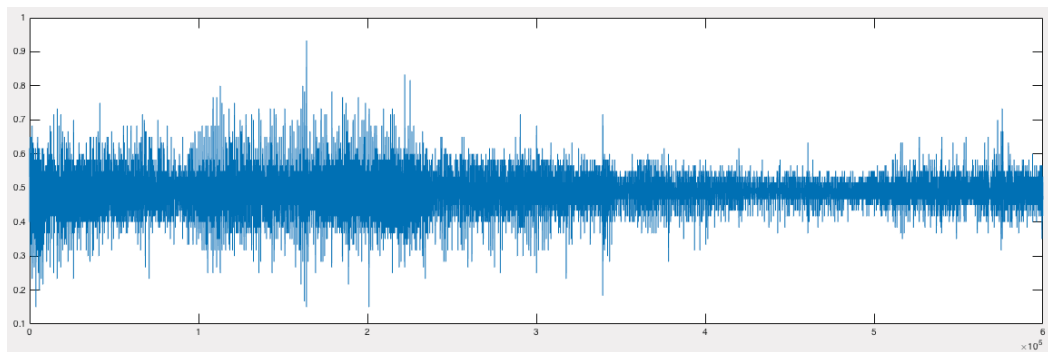


Figura 6.9: Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal EMG recolhido no Circuito de Manutenção.

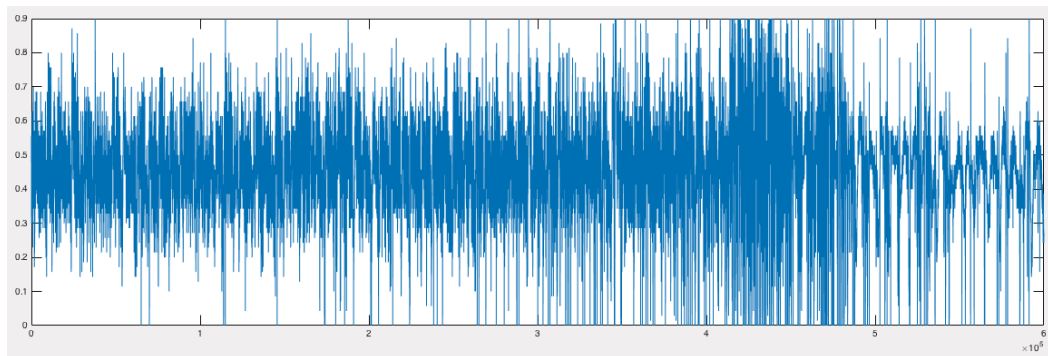


Figura 6.10: Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal EMG recolhido na passareira replicando o percurso do Circuito de Manutenção.

Assim, comparando os dados de SNR obtidos, é possível identificar que a menor presença de ruído situa-se na recolha realizada no Complexo Desportivo.

A figura 6.11 mostra o gráfico gerado para o sinal ECG recolhido no Complexo Desportivo e a figura 6.12 mostra o gráfico gerado para o sinal ECG recolhido na passadeira. É de notar que estes não são todos os dados recolhidos, pois foi estabelecido um pequeno trajecto para simular na passadeira e, por conseguinte, na passadeira apenas e só foi realizado esse pequeno trajecto. Neste caso, as recolhas tanto no terreno como na passadeira foram realizadas pela mesma pessoa. O cálculo do SNR destes dois ficheiros foi de 1.9024 dB.

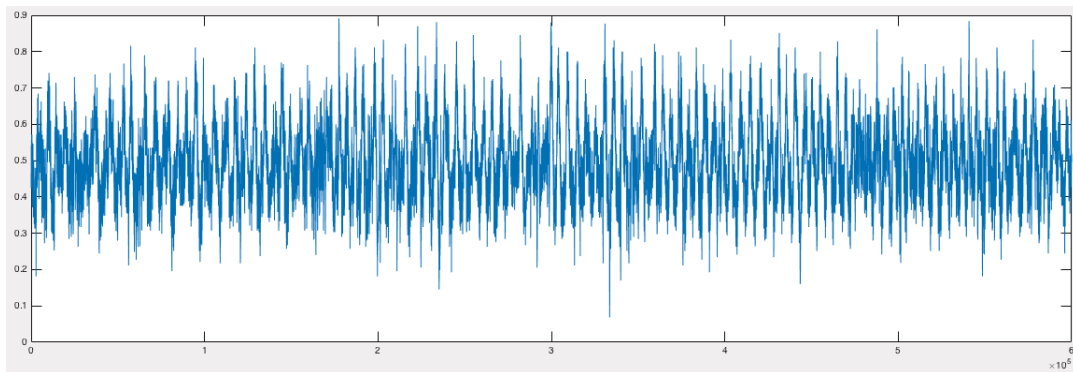


Figura 6.11: Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal ECG recolhido no Complexo Desportivo.

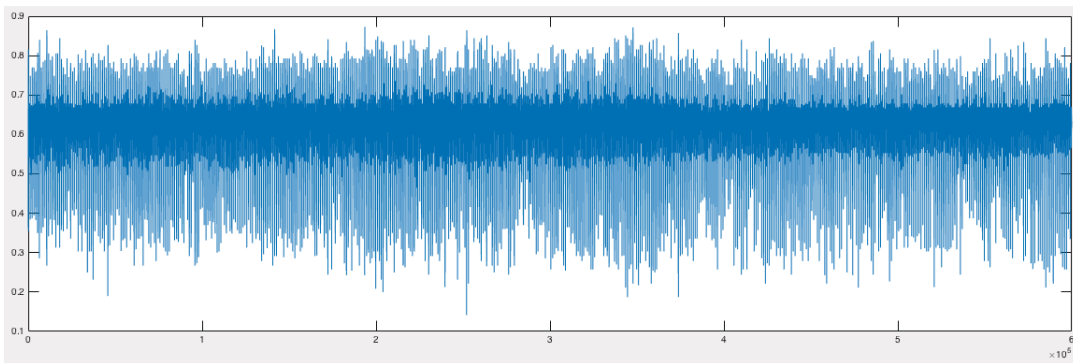


Figura 6.12: Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal ECG recolhido na passadeira replicando o percurso do Complexo Desportivo.

A figura 6.13 mostra o gráfico para a recolha realizada no Circuito de Manutenção pela mesma pessoa que o caso anterior. Mais uma vez, é feita uma comparação com a recolha na passadeira realizada pela mesma pessoa 6.14. É de notar que este trajecto possui um pavimento incerto com existência de pedras no caminho. O cálculo do SNR entre estes dois ficheiros foi de 1.9123 dB.

## Recolha e Análise de Bio-Sinais em Ambientes Abertos

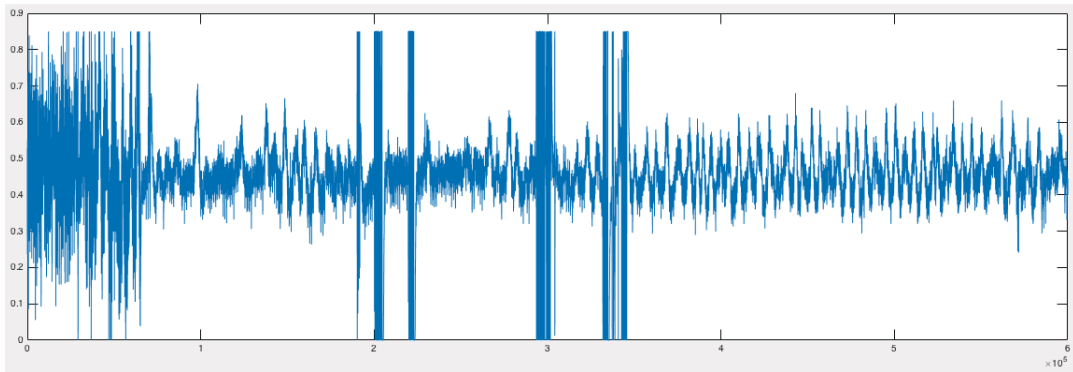


Figura 6.13: Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal ECG recolhido no Circuito de Manutenção.

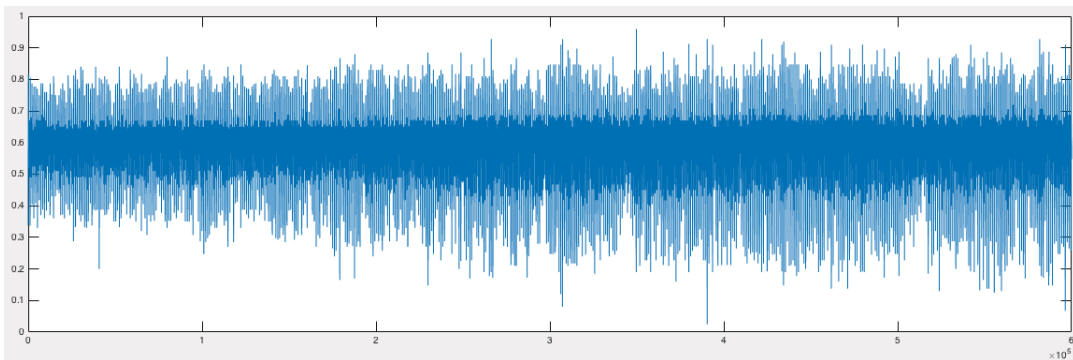


Figura 6.14: Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal ECG recolhido na passareira replicando o percurso do Circuito de Manutenção.

Assim, comparando os dados de SNR obtidos, é possível identificar a presença de ruído em ambas comparações é idêntico.

A recolha de sinais ACC foi realizada em todos os momentos, porém foi decidido não ser incluída na análise e validação dos dados, pois o método de fixação do sensor não era muito seguro, fazendo com que o sensor não ficasse numa posição estável durante toda a recolha. Assim, este sinal foi descartado.

Para uma melhor percepção dos dados, foram elaboradas tabelas com os dados 6.2, 6.3 e 6.4. Nestas tabelas é possível visualizar três recolhas no terreno comparadas com duas recolhas na passareira. A Recolha A e B foram realizadas por dois homens com idades de 30 e 38 anos, e a Recolha C foi realizada por uma mulher de 25 anos. Na passareira as recolhas foram realizadas por dois homens de 30 e 38 anos.

Todas as recolhas realizadas foram analisadas e os valores são semelhantes a estes aqui apresentados. Os gráficos para as análises presentes nas tabelas poderão ser encontrados no anexo C.

O valor para o SNR calculado no Complexo Desportivo é muito similar em todos os casos. O coração é um músculo que funciona independentemente de todos os outros, assim, quando é realizado um exercício físico ele responde da mesma maneira, fazendo com que o ruído também seja de forma similar.

## Recolha e Análise de Bio-Sinais em Ambientes Abertos

Tabela 6.2: Dados resultantes da análise de SNR realizada aos sinais recolhidos. Esta tabela mostra os dados de um homem comparados com a passadeira.

Recolha A		
	Complexo Desportivo	Circuito de Manutenção
<b>Passadeira A</b>		
ECG	3.1908	2.2593
EMG	0.4688	1.7905
<b>Passadeira B</b>		
ECG	3.2007	0.1596
EMG	0.9356	2.2185

Tabela 6.3: Dados resultantes da análise de SNR realizada aos sinais recolhidos. Esta tabela mostra os dados de um homem comparados com a passadeira.

Recolha B		
	Complexo Desportivo	Circuito de Manutenção
<b>Passadeira A</b>		
ECG	1.9024	2.2762
EMG	0.2628	0.5926
<b>Passadeira B</b>		
ECG	1.9123	1.5310
EMG	0.7296	1.0207

Tabela 6.4: Dados resultantes da análise de SNR realizada aos sinais recolhidos. Esta tabela mostra os dados de uma mulher comparados com a passadeira.

Recolha C		
	Complexo Desportivo	Circuito de Manutenção
<b>Passadeira A</b>		
ECG	2.5299	2.2593
EMG	0.6710	0.6978
<b>Passadeira B</b>		
ECG	2.5398	1.5142
EMG	0.2042	0.6258

## Recolha e Análise de Bio-Sinais em Ambientes Abertos

Quanto ao EMG, em todos os casos, o ruído apresentado para o Complexo Desportivo é sempre menor do que o ruído apresentado para o Circuito de Manutenção. Tal como tinha sido previsto, as condições ambientais e o tipo de exercício mais livre introduzem mais ruído no sinal.

### 6.3 Conclusão

Tal como foi previsto inicialmente, os dados recolhidos em ambientes abertos possuem mais ruído do que os dados recolhidos em ambientes controlados, contudo, com a análise e validação dos dados foi possível concluir que estes possuem mais ruído em ambientes de montanha possivelmente devido ao tipo de pavimento. Como o Circuito de Manutenção possui um terreno muito incerto, uma estrada de terra com muitas pedras, verificou-se que o ruído é maior nestas circunstâncias. Já no Complexo Desportivo, todo o percurso foi realizado em pavimentos com poucas irregularidades, um pavimento maioritariamente constituído por alcatrão.

Enquanto que o sinal ECG recolhe dados do coração, um músculo que funciona de forma independente, isto é, quando é submetido a um esforço similar ele irá reagir de forma também similar. O sinal EMG, recolhido no músculo recto femoral esquerdo, irá responder de forma diferente para cada tipo de terreno, pois a activação deste músculo está directamente ligada com o tipo de pavimento em que nos encontramos. Era expectável que os resultados para o sinal ACC recolhidos em ambas situações fosse idêntico aos resultados do EMG, porém o método utilizado para fixação do sensor não foi o melhor, fazendo com que este se soltasse diversas vezes ao longo dos percursos sem que a pessoa se apercebesse.

O próximo capítulo conclui esta dissertação e apresenta os possíveis trabalhos que se poderão realizar neste âmbito.



# Capítulo 7

## Conclusões e Trabalho Futuro

### 7.1 Conclusões

Existem diversas aplicações disponíveis para todos os utilizadores de *smartphones* e amantes de desporto onde é possível obter um *feedback* no fim de cada exercício físico. Muitas dessas aplicações exigem que o GPS esteja ligado e é através dele que fazem a contagem do número de quilómetros percorridos mas, não existe nenhuma informação se realmente existe algum tratamento dos dados ao nível do GPS. Se a utilização do GPS for tal e qual como é recolhido, existem erros na informação apresentada quanto à distância percorrida. Se essa distância percorrida influenciar o *feedback* mostrado (por exemplo, contagem de calorias gastas) então poderemos afirmar que essas informações não são fidedignas.

Realizar recolhas em ambientes não controlados são um verdadeiro desafio pois, tal como o próprio nome indica, estamos perante um ambiente onde podem acontecer imprevistos a qualquer momento e que nos são alheios. Em todas as recolhas aconteceram imprevistos dos mais variados tipos, como por exemplo, o *smartphone* utilizado não obter dados de GPS facilmente, chegando a demorar cerca de 20 minutos até que as coordenadas estivessem estabilizadas. Algo que aconteceu em todas as recolhas é o facto de o ACC estar constantemente a movimentar-se. Foram utilizadas várias fitas adesivas mas, como as recolhas foram realizadas em pleno Verão e, com a transpiração, era muito fácil descolar-se. Após realizar mais alguns testes com a posição do sensor ACC verificou-se que ele saía do lugar muito facilmente.

A análise dos dados recolhidos, tanto do GPS como ECG e EMG corresponderam ao que foi inicialmente previsto. No caso do GPS já era expectável que, em zonas com uma floresta muito densa, contivesse um erro maior que em zonas mais amplas. Nos dados EMG era expectável que os dados possuíssem menos ruído para o trajecto do Complexo Desportivo, pois o pavimento é plano, ao contrário do Circuito de Manutenção que possui um pavimento muito incerto. O ECG também correspondeu às expectativas iniciais, pois demonstrou que quando o nosso coração é submetido a esforços parecidos, ele reage de forma muito similar, isto é, o pavimento e o esforço realizado no Complexo Desportivo assemelha-se a uma passadeira, pois o chão é regular, enquanto que no Circuito de Manutenção, o chão é constituído por pedras, pedaços de madeira, e em todo o trajecto o pavimento é constituído por terra. Quanto aos dados ACC, estes foram recolhidos, mas como já foi referido, não foi possível realizar uma análise precisa, pois os métodos de fixação do sensor não foram os melhores.

## 7.2 Trabalho Futuro

Existem diversos trabalhos que podem ser realizados no futuro tendo como base esta dissertação:

- O ACC é o principal trabalho futuro, pois a sua recolha não correu como o esperado, fazendo com que não chegasse a ser analisado;
- A recolha em outros tipos de pavimentos também poderia ser interessante para analisar e validar os sinais recolhidos e verificar se o comportamento do nosso corpo humano é similar, como por exemplo, fazer uma recolha numa praia. A praia é um local bem amplo e, tal como foi testado, a recolha de GPS não iria ser um grande desafio, porém, seria interessante realizar uma recolha dos restantes sinais para analisar sobretudo o sinal EMG. O pavimento da praia é conhecido por ser um local que nos impõe um esforço extra devido à areia não ser firme;
- A recolha de outros dados também poderia ser interessante, como por exemplo, dados sobre a respiração e transpiração;
- Recolher dados noutras estações também poderia resultar em novas descobertas. Sabe-se que a prática de desportos pode e deve ser realizada ao longo de todo o ano, com isso, poderia ser interessante fazer um estudo onde os dados são recolhidos com temperaturas mais baixas ou até mesmo com chuva. Nesse caso, o corpo humano encontra-se exposto a temperaturas mais baixas e isso poderá afectar de alguma forma o exercício físico. Para isso, os sensores deveriam estar bem isolados para que a chuva não os danificasse tal como foi realizado num estudo que recolhe dados dentro da água e também com recurso a um BITalino [DGP16].

## Bibliografia

- [AJ03] J. Achten and A.E. Jeukendrup. Heart rate monitoring: applications and limitations. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 33(7): p. 517-538, 2003. 7
- [ASM13] A. Arcelus, M. Sardar, and A. Mihailidis. Design of a capacitive ecg sensor for unobtrusive heart rate measurements. In *2013 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, pages 407-410, May 2013. 7
- [CCC<sup>+</sup>11] Y. Chen, R. Chen, X. Chen, W. Chen, and Q. Wang. Wearable electromyography sensor based outdoor-indoor seamless pedestrian navigation using motion recognition method. In *Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), 2011 International Conference on*, pages 1-9, Sept 2011. 6
- [CO] Gari D. Clifford and Matt B. Oefinger. ECG Acquisition, Storage, Transmission, and Representation. p. 27 - 53. 7
- [DGP16] Garcia N. M. Dias G. and Fazendeiro P. Recolha e análise de biosinais em natação. 2016. 19, 50
- [DMB11] et al. D. M. Bojanic. Quantification of dynamic EMG patterns during gait in children with cerebral palsy. *Journal of neuroscience methods*, vol. 198, pp. 325-331, June 2011. 6
- [DV12] D.T.P. Deepak Vala. A Survey on Ambulatory ECG and Identification of Motion Artifact. *International Journal of Engineering Research and Development*, 1(7): p. 38-41., 2012. 7
- [ea11] J. S. Brach et al. Validation of a measure of smoothness of walking. *J. Gerontol. A, Biol. Sci. Med. Sci.*, vol. 66, no. 1, pp. 136-141., Jan. 2011. 8
- [ESC12] A. Pak J. A. Fairley E. Sejdic, Y. Fu and T. Chau. The effects of rhythmic sensory cues on the temporal dynamics of human gait. *PLoS ONE*, vol. 7, no. 8, pp. e43104-1-e43104-7, Aug. 2012. 8
- [FAN<sup>+</sup>13] N. J. Fauzani, S. A. Ahmad, S. B. M. Noor, W. Z. W. Hasan, M. Kamal, A. Aminuddin, and Z. A. K. Bakti. Two electrodes system: Performance on ecg fecg and emg detection. In *Research and Development (SCORED), 2013 IEEE Student Conference on*, pages 506-510, Dec 2013. 40
- [FC16] C. Frigo and P. Crenna. Multichannel SEMG in clinical gait analysis: A review and state-of-the-art. *Clinical Biomechanics*, March 2016. 6
- [GF08] D. Gamet and O. Fokapu. In *Electromyography*, 2008. 5
- [GL13] Martins R. Silva H. Guerreiro, J. and A. Lourenço. Bitalino: A multimodal platform for physiological computing. In *Proc. of the Int'l Conf. on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO)*, pp. 500-506, 2013. 17
- [HENA06] Christophe MACABIAU Marie-Laure BOUCHERET Hanaa EL NATOUR ALBITAR, Anne Christine ESCHER. Analysis of the GPS acquisition environment: indoors and outdoors. *ICTTA '06, 2nd IEEE International Conference on Information and Communication Technolo- gies : from Theory to Applications*, Apr 2006, Damascus, Syria. pp 127 - 132, 2006. 9

- [JAFC10] E. Sejdic J. A. Fairley and T. Chau. The effect of treadmill walking on the stride interval dynamics of children. *Human Movement Sci.*, vol. 29, no. 6, pp. 987-998, Dec. 2010. 8
- [JSBN08] S. Studenski J. S. Brach, S. Perera and A. B. Newman. The reliability and validity of measures of gait variability in community-dwelling older adults. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, vol. 89, no. 12, pp. 2293-2296, Dec. 2008. 8
- [JSBS05] J. M. VanSwearingen A. B. Newman J. S. Brach, J. E. Berlin and S. A. Studenski. Too much or too little step width variability is associated with a fall history in older persons who walk at or near normal gait speed. *J. Neuroeng. Rehabil.*, vol. 2, p. 21, Jul. 2005. 8
- [JSBS13] S. Perera D. M. Wert J. S. Brach, J. M. Van Swearingen and S. A. Studenski. Motor learning versus standard walking exercise in older adults with subclinical gait dysfunction: A randomized clinical trial. *J. Amer. Geriatrics Soc.*, vol. 61, no. 11, pp. 1879-1886, 2013. 8
- [JWY15] Yan-Shuo Yu Jie Wang, Chung-Chih Lin and Tsang-Chu Yu. Wireless Sensor-Based Smart-Clothing Platform for ECG Monitoring. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, Article ID 295704, 8 pages, 2015. 7
- [KDJ] Antunes M.-Paiva R. P. Kumar D., Carvalho P. and Henriques J. Noise detection during heart sound recording using periodicity signatures. *Physiological Measurement*, Apr. 41
- [K.J07] andK.M.Newell K.Jordan, J.H.Challis. Walking speed influences on gait cycle variability. *Gait Posture*, vol. 26, no. 1, pp. 128-134, June 2007. 8
- [KJN06] J. H. Challis K. Jordan and K. M. Newell. Long range correlations in the stride interval of running. *Gait Posture*, vol. 24, no. 1, pp. 120-125, Aug. 2006. 8
- [Kon05] P. Konrad. The abc of eg: A practical introduction to kinesiological electromyography. 2005. 40
- [Lau99] M.H. Laughlin. Cardiovascular response to exercise. *Am J Physiol*, 277(6 Pt 2): p. S244-59, 1999. 7
- [LCL<sup>+</sup>16] L. Liu, X. Chen, Z. Lu, S. Cao, D. Wu, and X. Zhang. Development of an emg-acc-based upper limb rehabilitation training system. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, PP(99):1-1, 2016. 6
- [Lon14] Steve Long. *Hillwalking: The official handbook of the Mountain Training walking schemes*. UKMTB, 2014. Available from: [https://books.google.pt/books/about/Hillwalking.html?id=PaLoBAAAQBAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.pt/books/about/Hillwalking.html?id=PaLoBAAAQBAJ&redir_esc=y). 1, 18
- [LVG12] et al. L. Van Gestel. To what extent is mean EMG frequency during gait a reflection of functional muscle strength in children with cerebral palsy? *Research in developmental disabilities*, vol. 33, pp. 916-23, May 2012. 6
- [MDCC09] S. Shaikh M. D. Chang and T. Chau. Effect of treadmill walking on the stride interval dynamics of human gait. *Gait Posture*, vol. 30, no. 4, pp. 431-435, Nov. 2009. 8

## Recolha e Análise de Bio-Sinais em Ambientes Abertos

- [MEMAvD16] Erik Ainsworth Stefan Walgaard Martijn Niessen Rob C. van Lummel M. Encarna Micó-Amigo, Idsart Kingma and Jaap H. van Dieen. A novel accelerometry-based algorithm for the detection of step durations over short episodes of gait in healthy elderly. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, pages 13-38, 2016. 8
- [NW09] M.R. Neuman and J.G. Webster. In *Medical Instrumentation Application and Design 4th Edition*, pages 341-391, 2009. 40
- [OGN11] J.R. Rodríguez-Pérez J. Martínez Torres Ordóñez Galán, C. and P.J. García Nieto. Analysis of the influence of forest environments on the accuracy of gps measurements by using genetic algorithms. *Mathematical and Computer Modelling*, 54:1829-34, 2011. 9, 14
- [PAF13] Silva H.-Lourenço A. Priscila Alves, A. and A. Fred. Bitalino: A biosignal acquisition system based on the arduino. In *Proc. of the Int'l Conf. on Biomedical Electronics and Devices (BIODEVICES)*, pp. 261-264, 2013. 17
- [PI12] Garcia N. M. Pires I. *Aplicação móvel e plataforma Web para suporte à estimação do gasto energético em actividade física.*, 2012. 8
- [PLS12] A. Panagiota, S. Layal, and H. Stefan. Assessment of human gait speed and energy expenditure using a single triaxial accelerometer. In *2012 Ninth International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks*, pages 184-188, May 2012. 7, 8
- [QCY13] P. X. Quesnel, A. D. C. Chan, and H. Yang. Real-time biosignal quality analysis of ambulatory ecg for detection of myocardial ischemia. In *Medical Measurements and Applications Proceedings (MeMeA), 2013 IEEE International Symposium on*, pages 1-5, May 2013. 39
- [RGM<sup>+</sup>16] R. B. Ribas Manero, J. Grewal, B. Michael, A. Shafti, K. Althoefer, J. L. Ribas Fernandez, and M. J. Howard. Wearable Embroidered Muscle Activity Sensing Device for the Human Upper Leg. *ArXiv e-prints*, February 2016. 6
- [SLB<sup>+</sup>16] E. Sejdić, K. A. Lowry, J. Bellanca, S. Perera, M. S. Redfern, and J. S. Brach. Extraction of stride events from gait accelerometry during treadmill walking. *IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine*, 4:1-11, 2016. 8
- [SM14] Guerreiro J. Lourenço-A. Fred A. Silva, H. and R. Martins. Bitalino: A novel hardware framework for physiological computing. In *Proc. of the Int'l Conf. on Physiological Computing Systems (PhyCS)*, pp. 246-253, 2014. 17
- [SNC16] S. M. A. Salehizadeh, Y. Noh, and K. H. Chon. Heart rate monitoring during intense physical activities using a motion artifact corrupted signal reconstruction algorithm in wearable electrocardiogram sensor. In *2016 IEEE First International Conference on Connected Health: Applications, Systems and Engineering Technologies (CHASE)*, pages 157-162, June 2016. 7
- [WCC<sup>+</sup>13] Q. Wang, X. Chen, R. Chen, Y. Chen, and X. Zhang. Electromyography-based locomotion pattern recognition and personal positioning toward improved context-awareness applications. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 43(5):1216-1227, Sept 2013. 6

- [WL09] P. Wang and K. H. Low. Qualitative Evaluations of Gait Rehabilitation via EMG Muscle Activation Pattern: Repetition, Symmetry, and Smoothness. *Ieee International Conference on Robotics and Biomimetics (Robio 2009), Vols 1- 4, pp. 215-220, 2009.* 6
- [WLK<sup>+</sup>16] T. K. Wu, C. C. Lin, W. Y. Ku, Y. S. Liou, C. Y. Yang, M. Y. Lee, W. Y. Lin, and T. H. Tsai. The study of the enhanced external counterpulsation system based on smart clothes. In *2016 IEEE First International Conference on Connected Health: Applications, Systems and Engineering Technologies (CHASE)*, pages 125-129, June 2016. 7
- [YH10] R. Foster Yilmaz, T. and Y. Hao. Detecting Vital Signs with Wearable Wireless Sensors. *Sensors. 10(12): p. 10837, 2010.* 7

## Apêndice A

### Imagens da Fase de Testes ao Algoritmo Desenvolvido



Figura A.1: Imagem do percurso do Circuito de Montanha.

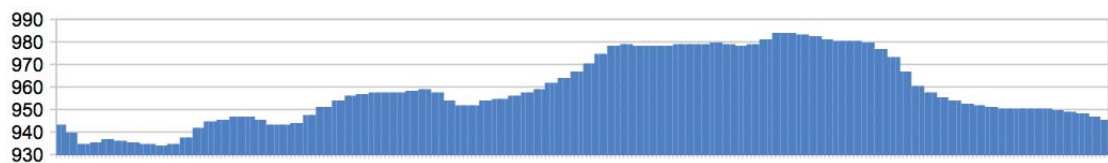


Figura A.2: Gráfico de altitudes do percurso resultante do algoritmo.



Figura A.3: Imagem do trajecto resultante da análise do algoritmo desenvolvido.

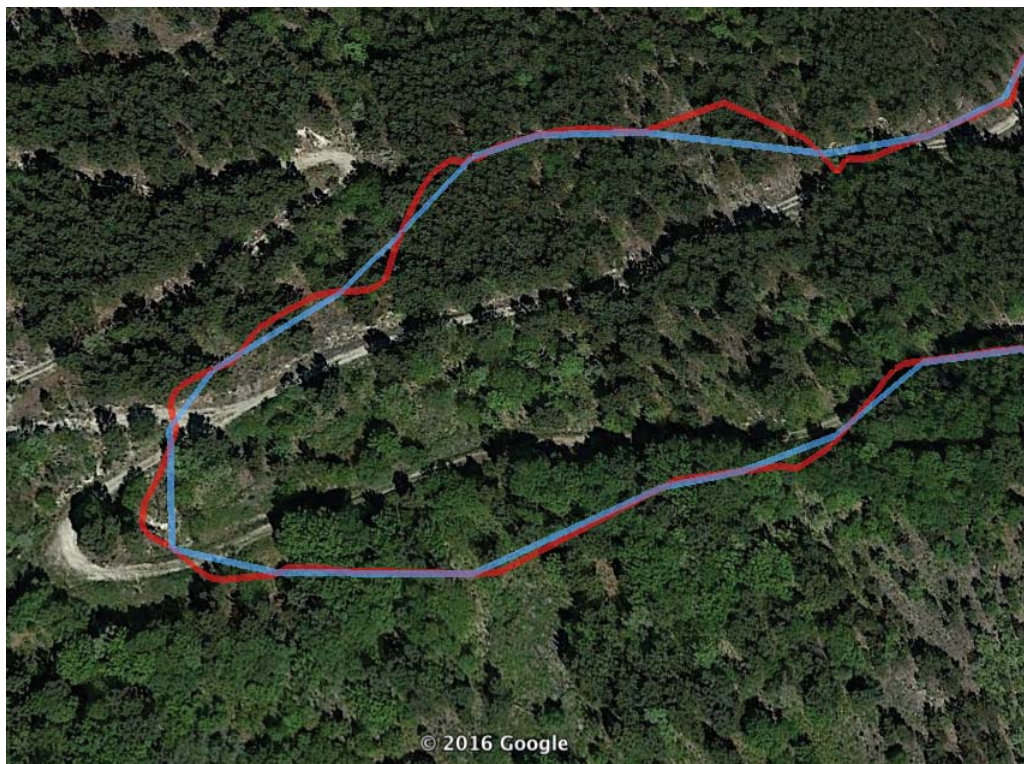


Figura A.4: Imagem aproximada do trajecto realizado. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo desenvolvido.



Figura A.5: Imagem total do trajecto realizado. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo desenvolvido.



Figura A.6: Comparaçãõ entre três percursos. Imagem que mostra parte do percurso realizado no Circuito de Manutenção da Covilhã. A azul o trajecto original recolhido pelo *smartphone* Wiko Wax, a vermelho o trajecto resultante do algoritmo elaborado e a amarelo o trajecto obtido pelo GPS Visualizer.

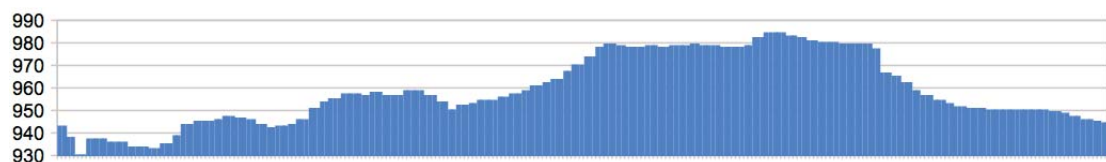


Figura A.7: Gráfico de altitudes do ficheiro original.



Figura A.8: Comapração entre três percursos. Imagem que mostra a totalidade do percurso realizado no Circuito de Manutenção da Covilhã. A azul o trajecto original recolhido pelo *smartphone* Wiko Wax, a vermelho o trajecto resultante do algoritmo elaborado e a amarelo o trajecto obtido pelo GPS Visualizer.

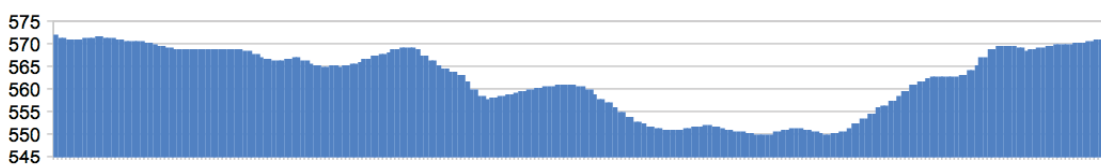


Figura A.9: Gráfico de altitudes do ficheiro gerado pelo algoritmo desenvolvido.

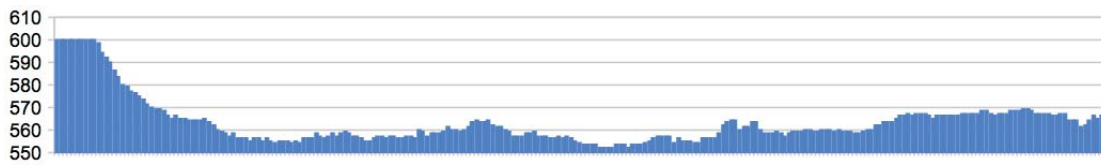


Figura A.10: Gráfico de altitudes para o percurso realizado no Complexo Desportivo.



Figura A.11: Imagem do trajecto realizado no Complexo Desportivo.



Figura A.12: Imagem do trajecto resultante da análise do algoritmo.



Figura A.13: Imagem da sobreposição do trajecto original e do trajecto resultante da análise do algoritmo desenvolvido.

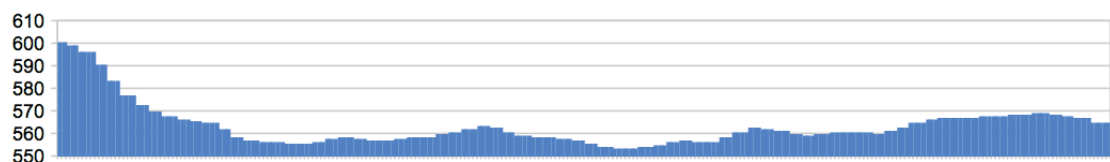


Figura A.14: Gráfico de altitudes do ficheiro original.

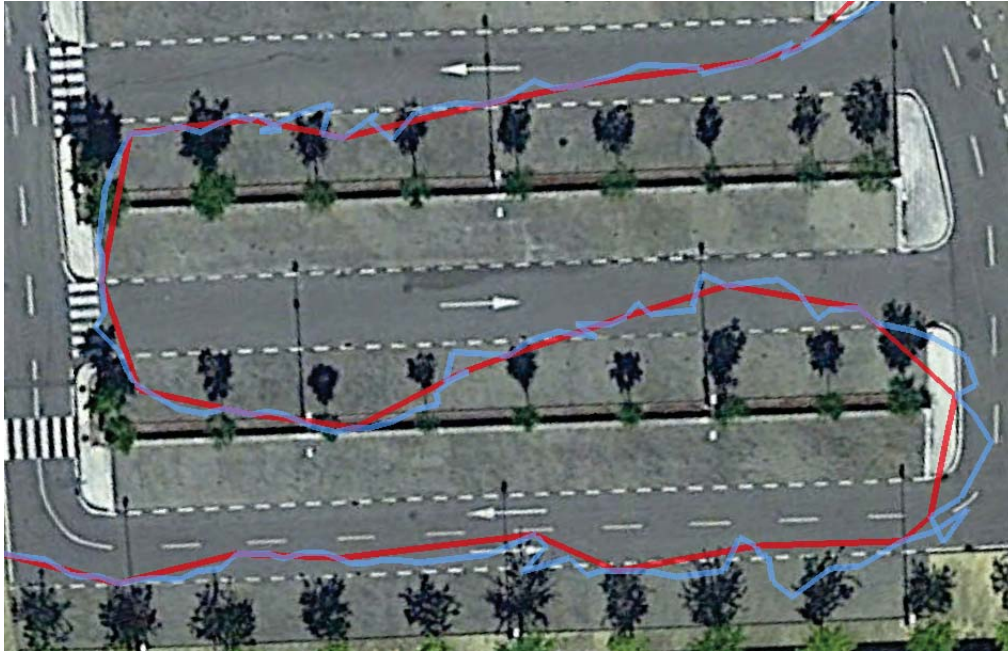


Figura A.15: Imagem aproximada de uma parte do trajecto realizado no Complexo Desportivo.



Figura A.16: Imagem do trajecto analisado pelo GPS Visualizer.

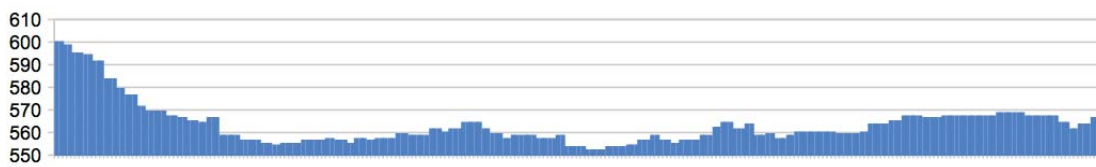


Figura A.17: Gráfico do trajecto analisado pelo GPS Visualizer.

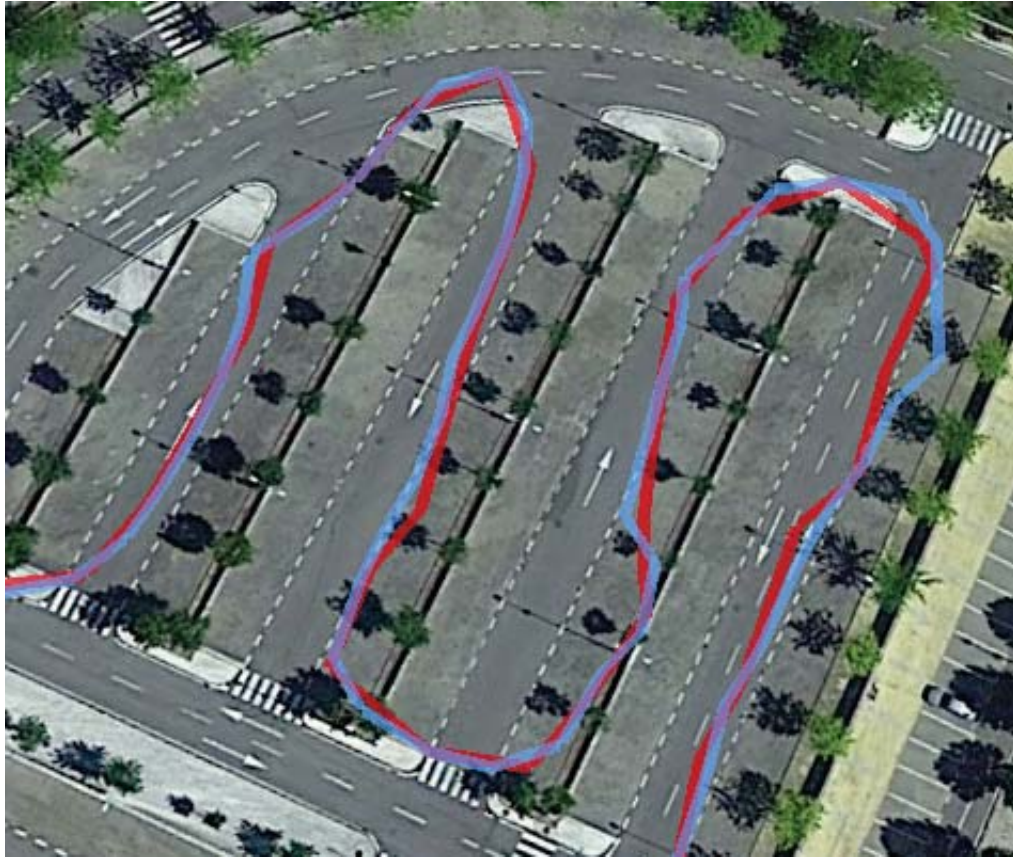


Figura A.18: Imagem dos trajectos obtidos através do algoritmo desenvolvido (a vermelho) e do GPS Visualizer (a azul).



## Apêndice B

### Análise aos Ficheiros GPS eXchange Format (GPX) Recolhidos

#### B.1 Recolha A

A figura B.1 mostra o trajecto recolhido por um LG G2 no circuito de manutenção. Para este ficheiro, a página web MAPLORER indica a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média. A tabela B.1 mostra esses valores.



Figura B.1: Imagem do trajecto recolhido pelo LG G2 no Circuito de Manutenção.

Após a análise realizada pelo algoritmo desenvolvido é possível visualizar a figura B.2 com o resultado. A tabela B.2 mostra os dados do trajecto após ser analisado pelo algoritmo. Por fim, a figura B.3 mostra a sobreposição do trajecto original (a azul) e o trajecto resultante do algoritmo (a vermelho).

Tabela B.1: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo LG G2 no Circuito de Manutenção. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

LG G2 - Ficheiro Original			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
3.15	1019	915	6



Figura B.2: Imagem do trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo LG G2 no Circuito de Manutenção.

Tabela B.2: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo LG G2 no Circuito de Manutenção. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

LG G2 - Ficheiro Modificado			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
2.4	1006	920	4.5



Figura B.3: Imagem dos trajectos recolhidos pelo LG G2 no Circuito de Manutenção. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo.

A figura B.4 apresenta o gráfico de altitudes guardado pelo LG G2 durante o trajecto do Circuito de Manutenção. A figura B.5 mostra o gráfico de altitudes resultante da análise do algoritmo desenvolvido.

## Recolha e Análise de Bio-Sinais em Ambientes Abertos



Figura B.4: Gráfico de altitudes recolhido pelo LG G2 durante o trajeto do Circuito de Manutenção.

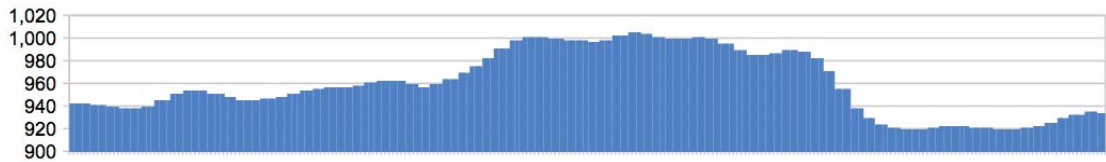


Figura B.5: Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo LG G2 durante o trajeto do Circuito de Manutenção.

A figura B.6 mostra o trajeto recolhido pelo LG G2 no Complexo Desportivo. Para este ficheiro, a página web MAPLORER indica a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média. A tabela B.3 mostra esses valores.



Figura B.6: Imagem do trajeto recolhido pelo LG G2 no Complexo Desportivo.

## Recolha e Análise de Bio-Sinais em Ambientes Abertos

Tabela B.3: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo LG G2. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

LG G2 - Ficheiro Original			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
1.41	580	538	4.1

Tabela B.4: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo LG G2. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

LG G2 - Ficheiro Modificado			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
1.37	578	540	4.3

Após a análise realizada pelo algoritmo desenvolvido é possível visualizar a figura B.7 com o resultado. A tabela B.4 mostra os dados do trajecto após ser analisado pelo algoritmo. Por fim, a figura B.8 mostra a sobreposição do trajecto original (a azul) e o trajecto resultante do algoritmo (a vermelho).



Figura B.7: Imagem do trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo LG G2.



Figura B.8: Imagem dos trajectos recolhidos pelo LG G2. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo.

Na figura B.9 é possível visualizar o gráfico de altitudes guardado pelo LG G2 durante o trajecto do Complexo Desportivo. A figura B.10 apresenta o gráfico de altitudes resultante da análise do algoritmo desenvolvido.

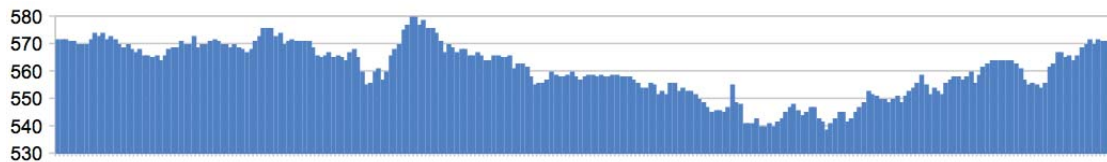


Figura B.9: Gráfico de altitudes recolhido pelo LG G2 durante o trajecto do Complexo Desportivo.

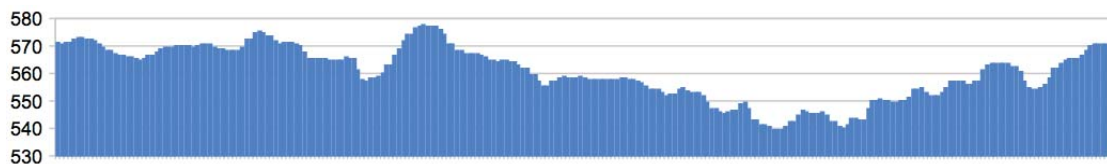


Figura B.10: Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo LG G2 durante o trajecto do Complexo Desportivo.

## B.2 Recolha B

A figura B.11 mostra o trajecto recolhido por um Umi Hammer no Circuito de Manutenção. Para este ficheiro, a página web MAPLORER indica a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média. A tabela B.5 mostra esses valores.



Figura B.11: Imagem do trajecto recolhido pelo Umi Hammer no Circuito de Manutenção.

Tabela B.5: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo Umi Hammer no Circuito de Manutenção. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

Umi Hammer - Ficheiro Original			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
2.04	898	673	4.5

Após a análise realizada pelo algoritmo desenvolvido é possível visualizar a figura B.12 com o resultado. A tabela B.6 mostra os dados do trajecto após ser analisado pelo algoritmo. Por fim, a figura B.13 mostra a sobreposição do trajecto original (a azul) e o trajecto resultante do algoritmo (a vermelho).



Figura B.12: Imagem do trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Umi Hammer no Circuito de Manutenção.

Tabela B.6: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Umi Hammer no Circuito de Manutenção. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

Umi Hammer - Ficheiro Modificado			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
1.81	898	673	3.9



Figura B.13: Imagem dos trajectos recolhidos pelo Umi Hammer no Circuito de Manutenção. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo.

A figura B.14 apresenta o gráfico de altitudes guardado pelo Umi Hammer durante o trajecto do Circuito de Manutenção. A figura B.15 mostra o gráfico de altitudes resultante da análise do algoritmo desenvolvido.

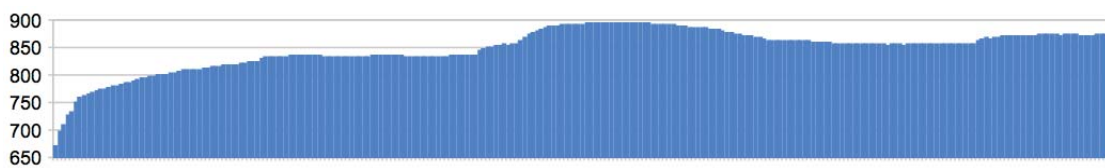


Figura B.14: Gráfico de altitudes recolhido pelo Umi Hammer durante o trajecto do Circuito de Manutenção.

## Recolha e Análise de Bio-Sinais em Ambientes Abertos

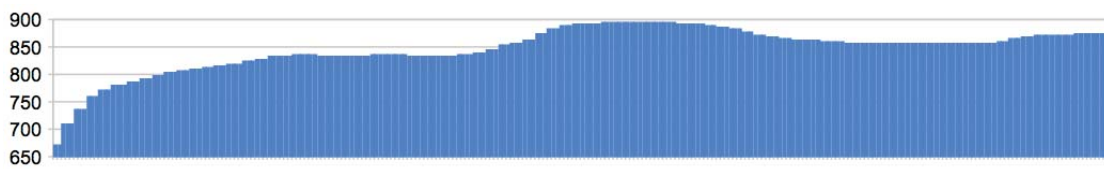


Figura B.15: Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo Umi Hammer durante o trajeto do Circuito de Manutenção.

A figura B.16 mostra o trajeto recolhido pelo Umi Hammer no Complexo Desportivo. Para este ficheiro, a página web MAPLORER indica a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média. A tabela B.7 mostra esses valores.



Figura B.16: Imagem do trajeto recolhido pelo Umi Hammer no Complexo Desportivo.

## Recolha e Análise de Bio-Sinais em Ambientes Abertos

Tabela B.7: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo Umi Hammer. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

Umi Hammer - Ficheiro Original			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
1.35	514	492	4.3

Tabela B.8: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Umi Hammer. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

Umi Hammer - Ficheiro Modificado			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
1.32	514	492	4.2

Após a análise realizada pelo algoritmo desenvolvido é possível visualizar a figura B.17 com o resultado. A tabela B.8 mostra os dados do trajecto após ser analisado pelo algoritmo. Por fim, a figura B.18 mostra a sobreposição do trajecto original (a azul) e o trajecto resultante do algoritmo (a vermelho).



Figura B.17: Imagem do trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Umi Hammer.

Na figura B.19 é possível visualizar o gráfico de altitudes guardado pelo Umi Hammer durante o trajecto do Complexo Desportivo. A figura B.20 apresenta o gráfico de altitudes resultante da análise do algoritmo desenvolvido.



Figura B.18: Imagem dos trajectos recolhidos pelo Umi Hammer. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo.

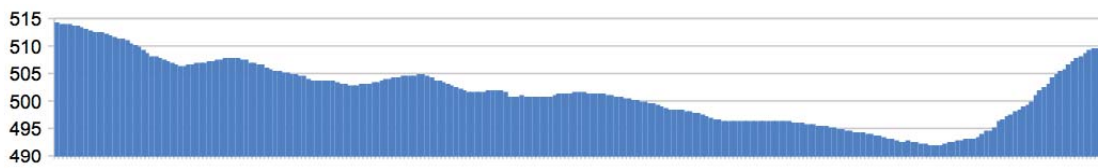


Figura B.19: Gráfico de altitudes recolhido pelo Umi Hammer durante o trajecto do Complexo Desportivo.

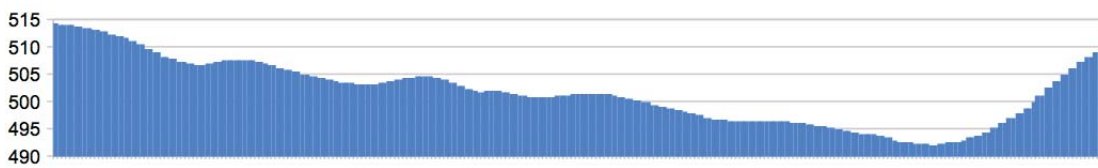


Figura B.20: Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo Umi Hammer durante o trajecto do Complexo Desportivo.

### B.3 Recolha C

A figura B.31 mostra o trajecto recolhido por um Samsung Galaxy S5 no Circuito de Manutenção. Para este ficheiro, a página web MAPLORER indica a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média. A tabela B.13 mostra esses valores.



Figura B.21: Imagem do trajecto recolhido pelo Samsung Galaxy S5 no Circuito de Manutenção.

Tabela B.9: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo Samsung Galaxy S5 no Circuito de Manutenção. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

Samsung Galaxy S5 - Ficheiro Original			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
2.91	999	904	4.6

Após a análise realizada pelo algoritmo desenvolvido é possível visualizar a figura B.32 com o resultado. A tabela B.14 mostra os dados do trajecto após ser analisado pelo algoritmo. Por fim, a figura B.33 mostra a sobreposição do trajecto original (a azul) e o trajecto resultante do algoritmo (a vermelho).



Figura B.22: Imagem do trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Samsung Galaxy S5 no Circuito de Manutenção.

Tabela B.10: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Samsung Galaxy S5 no Circuito de Manutenção. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

Samsung Galaxy S5 - Ficheiro Modificado			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
2.46	994	908	4.4



Figura B.23: Imagem dos trajectos recolhidos pelo Samsung Galaxy S5 no Circuito de Manutenção. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo.

A figura B.34 apresenta o gráfico de altitudes guardado pelo Samsung Galaxy S5 durante o trajecto do Circuito de Manutenção. A figura B.35 mostra o gráfico de altitudes resultante da análise do algoritmo desenvolvido.

## Recolha e Análise de Bio-Sinais em Ambientes Abertos

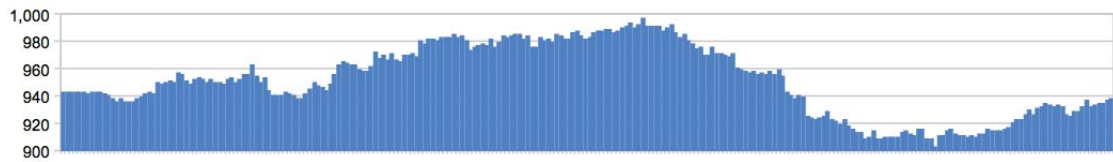


Figura B.24: Gráfico de altitudes recolhido pelo Samsung Galaxy S5 durante o trajeto do Circuito de Manutenção.

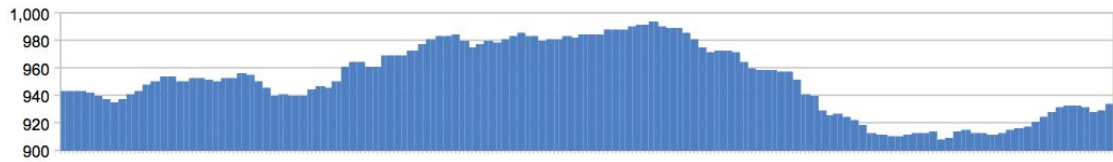


Figura B.25: Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo Samsung Galaxy S5 durante o trajeto do Circuito de Manutenção.

A figura B.36 mostra o trajeto recolhido pelo Samsung Galaxy S5 no Complexo Desportivo. Para este ficheiro, a página web MAPLORER indica a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média. A tabela B.15 mostra esses valores.



Figura B.26: Imagem do trajeto recolhido pelo Samsung Galaxy S5 no Complexo Desportivo.

## Recolha e Análise de Bio-Sinais em Ambientes Abertos

Tabela B.11: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo Samsung Galaxy S5. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

Samsung Galaxy S5 - Ficheiro Original			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
1.52	573	542	3.6

Tabela B.12: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Samsung Galaxy S5. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

Samsung Galaxy S5 - Ficheiro Modificado			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
1.41	572	544	4

Após a análise realizada pelo algoritmo desenvolvido é possível visualizar a figura B.37 com o resultado. A tabela B.16 mostra os dados do trajecto após ser analisado pelo algoritmo. Por fim, a figura B.38 mostra a sobreposição do trajecto original (a azul) e o trajecto resultante do algoritmo (a vermelho).



Figura B.27: Imagem do trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Samsung Galaxy S5.



Figura B.28: Imagem dos trajectos recolhidos pelo Samsung Galaxy S5. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo.

Na figura B.39 é possível visualizar o gráfico de altitudes guardado pelo Samsung Galaxy S5 durante o trajecto do Complexo Desportivo. A figura B.40 apresenta o gráfico de altitudes resultante da análise do algoritmo desenvolvido.

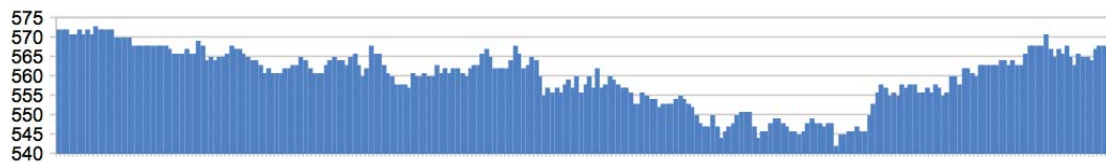


Figura B.29: Gráfico de altitudes recolhido pelo Samsung Galaxy S5 durante o trajecto do Complexo Desportivo.

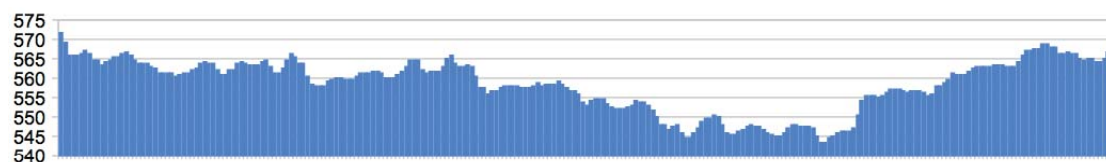


Figura B.30: Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo Samsung Galaxy S5 durante o trajecto do Complexo Desportivo.

## B.4 Recolha C

A figura B.31 mostra o trajecto recolhido por um Samsung Galaxy S5 no Circuito de Manutenção. Para este ficheiro, a página web MAPLORER indica a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média. A tabela B.13 mostra esses valores.



Figura B.31: Imagem do trajecto recolhido pelo Samsung Galaxy S5 no Circuito de Manutenção.

Tabela B.13: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo Samsung Galaxy S5 no Circuito de Manutenção. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

Samsung Galaxy S5 - Ficheiro Original			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
2.91	999	904	4.6

Após a análise realizada pelo algoritmo desenvolvido é possível visualizar a figura B.32 com o resultado. A tabela B.14 mostra os dados do trajecto após ser analisado pelo algoritmo. Por fim, a figura B.33 mostra a sobreposição do trajecto original (a azul) e o trajecto resultante do algoritmo (a vermelho).

## Recolha e Análise de Bio-Sinais em Ambientes Abertos



Figura B.32: Imagem do trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Samsung Galaxy S5 no Circuito de Manutenção.

Tabela B.14: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Samsung Galaxy S5 no Circuito de Manutenção. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

Samsung Galaxy S5 - Ficheiro Modificado			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
2.46	994	908	4.4



Figura B.33: Imagem dos trajectos recolhidos pelo Samsung Galaxy S5 no Circuito de Manutenção. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo.

A figura B.34 apresenta o gráfico de altitudes guardado pelo Samsung Galaxy S5 durante o trajecto do Circuito de Manutenção. A figura B.35 mostra o gráfico de altitudes resultante da análise do algoritmo desenvolvido.

## Recolha e Análise de Bio-Sinais em Ambientes Abertos

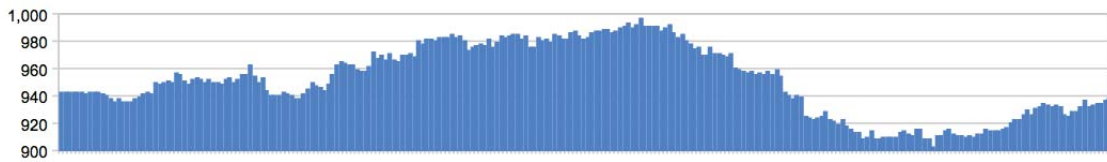


Figura B.34: Gráfico de altitudes recolhido pelo Samsung Galaxy S5 durante o trajeto do Circuito de Manutenção.

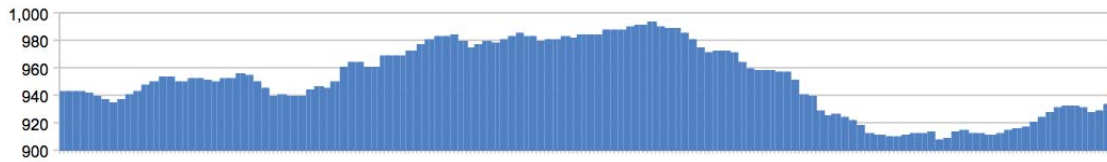


Figura B.35: Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo Samsung Galaxy S5 durante o trajeto do Circuito de Manutenção.

A figura B.36 mostra o trajeto recolhido pelo Samsung Galaxy S5 no Complexo Desportivo. Para este ficheiro, a página web MAPLORER indica a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média. A tabela B.15 mostra esses valores.



Figura B.36: Imagem do trajeto recolhido pelo Samsung Galaxy S5 no Complexo Desportivo.

## Recolha e Análise de Bio-Sinais em Ambientes Abertos

Tabela B.15: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo Samsung Galaxy S5. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

Samsung Galaxy S5 - Ficheiro Original			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
1.52	573	542	3.6

Tabela B.16: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Samsung Galaxy S5. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

Samsung Galaxy S5 - Ficheiro Modificado			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
1.41	572	544	4

Após a análise realizada pelo algoritmo desenvolvido é possível visualizar a figura B.37 com o resultado. A tabela B.16 mostra os dados do trajecto após ser analisado pelo algoritmo. Por fim, a figura B.38 mostra a sobreposição do trajecto original (a azul) e o trajecto resultante do algoritmo (a vermelho).



Figura B.37: Imagem do trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Samsung Galaxy S5.

Na figura B.39 é possível visualizar o gráfico de altitudes guardado pelo Samsung Galaxy S5 durante o trajecto do Complexo Desportivo. A figura B.40 apresenta o gráfico de altitudes resultante da análise do algoritmo desenvolvido.



Figura B.38: Imagem dos trajectos recolhidos pelo Samsung Galaxy S5. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo.

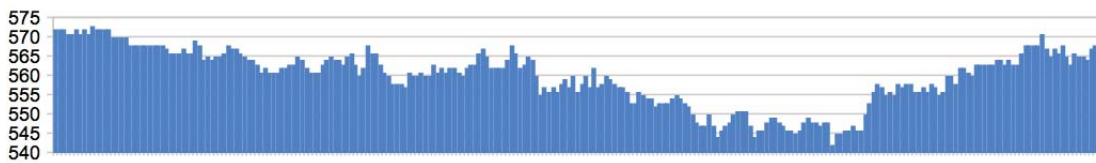


Figura B.39: Gráfico de altitudes recolhido pelo Samsung Galaxy S5 durante o trajecto do Complexo Desportivo.

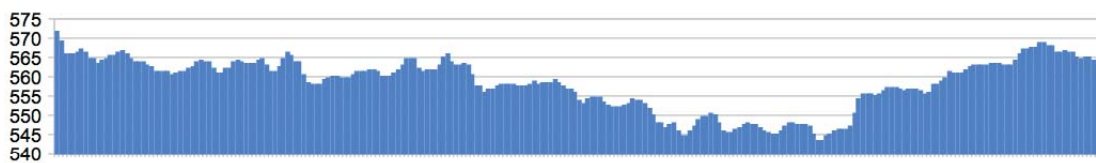


Figura B.40: Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo Samsung Galaxy S5 durante o trajecto do Complexo Desportivo.

## B.5 Recolha D

A figura B.41 mostra o trajecto recolhido por um Alcatel Idol 3 no Circuito de Manutenção. Para este ficheiro, a página web MAPLORER indica a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média. A tabela B.17 mostra esses valores.



Figura B.41: Imagem do trajecto recolhido pelo Alcatel Idol 3 no Circuito de Manutenção.

Tabela B.17: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo Alcatel Idol 3 no Circuito de Manutenção. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

Alcatel Idol 3 - Ficheiro Original			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
2.83	929	773	4.3

Após a análise realizada pelo algoritmo desenvolvido é possível visualizar a figura B.42 com o resultado. A tabela B.18 mostra os dados do trajecto após ser analisado pelo algoritmo. Por fim, a figura B.43 mostra a sobreposição do trajecto original (a azul) e o trajecto resultante do algoritmo (a vermelho).

Tabela B.18: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Alcatel Idol 3 no Circuito de Manutenção. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

Alcatel Idol 3 - Ficheiro Modificado			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
2.39	929	779	4.6



Figura B.42: Imagem do trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Alcatel Idol 3 no Circuito de Manutenção.



Figura B.43: Imagem dos trajectos recolhidos pelo Alcatel Idol 3 no Circuito de Manutenção. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo.

A figura B.44 apresenta o gráfico de altitudes guardado pelo Alcatel Idol 3 durante o trajecto do Circuito de Manutenção. A figura B.45 mostra o gráfico de altitudes resultante da análise do algoritmo desenvolvido.

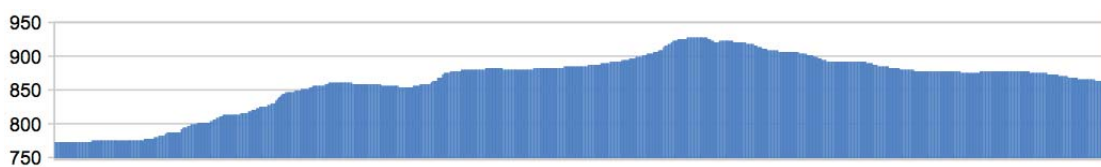


Figura B.44: Gráfico de altitudes recolhido pelo Alcatel Idol 3 durante o trajecto do Circuito de Manutenção.

## Recolha e Análise de Bio-Sinais em Ambientes Abertos

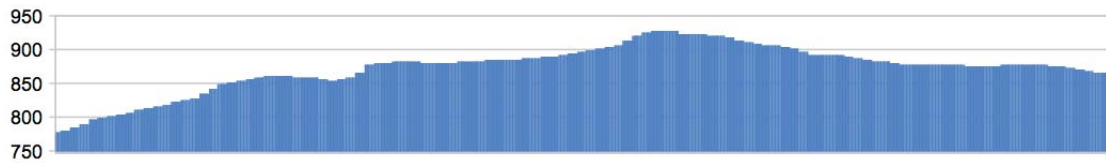


Figura B.45: Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo Alcatel Idol 3 durante o trajecto do Circuito de Manutenção.

Tabela B.19: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo Alcatel Idol 3. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

Alcatel Idol 3 - Ficheiro Original			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
1.37	523	488	4.1

A figura B.46 mostra o trajecto recolhido pelo Alcatel Idol 3 no Complexo Desportivo. Para este ficheiro, a página web MAPLORER indica a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média. A tabela B.19 mostra esses valores.



Figura B.46: Imagem do trajecto recolhido pelo Alcatel Idol 3 no Complexo Desportivo.

Tabela B.20: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Alcatel Idol 3. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

Alcatel Idol 3 - Ficheiro Modificado			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
1.32	522	488	4.1

Após a análise realizada pelo algoritmo desenvolvido é possível visualizar a figura B.47 com o resultado. A tabela B.20 mostra os dados do trajecto após ser analisado pelo algoritmo. Por fim, a figura B.48 mostra a sobreposição do trajecto original (a azul) e o trajecto resultante do algoritmo (a vermelho).



Figura B.47: Imagem do trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Alcatel Idol 3.



Figura B.48: Imagem dos trajectos recolhidos pelo Alcatel Idol 3. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo.

## Recolha e Análise de Bio-Sinais em Ambientes Abertos

Na figura B.49 é possível visualizar o gráfico de altitudes guardado pelo Alcatel Idol 3 durante o trajecto do Complexo Desportivo. A figura B.50 apresenta o gráfico de altitudes resultante da análise do algoritmo desenvolvido.

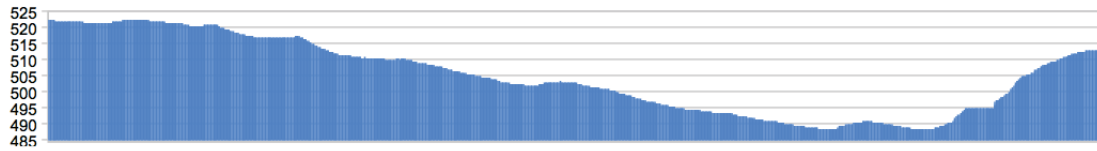


Figura B.49: Gráfico de altitudes recolhido pelo Alcatel Idol 3 durante o trajecto do Complexo Desportivo.

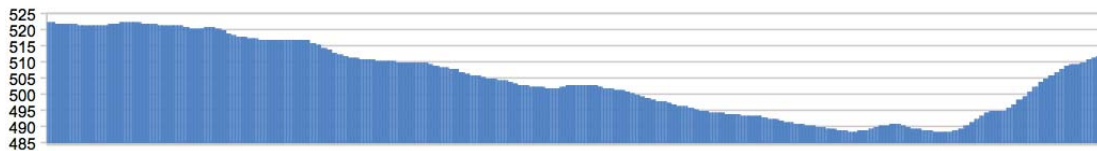


Figura B.50: Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo Alcatel Idol 3 durante o trajecto do Complexo Desportivo.

## B.6 Recolha E

A figura B.51 mostra o trajecto recolhido por um Nexus 5 no Circuito de Manutenção. Para este ficheiro, a página web MAPLORER indica a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média. A tabela B.21 mostra esses valores.



Figura B.51: Imagem do trajecto recolhido pelo Nexus 5 no Circuito de Manutenção.

Tabela B.21: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo Naxus 5 no Circuito de Manutenção. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

Nexus 5 - Ficheiro Original			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
2.56	1002	910	4.3

Após a análise realizada pelo algoritmo desenvolvido é possível visualizar a figura B.52 com o resultado. A tabela B.22 mostra os dados do trajecto após ser analisado pelo algoritmo. Por fim, a figura B.53 mostra a sobreposição do trajecto original (a azul) e o trajecto resultante do algoritmo (a vermelho).

Tabela B.22: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Nexus 5 no Circuito de Manutenção. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

Nexus 5 - Ficheiro Modificado			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
2.43	1001	913	4.1



Figura B.52: Imagem do trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Nexus 5 no Circuito de Manutenção.



Figura B.53: Imagem dos trajectos recolhidos pelo Nexus 5 no Circuito de Manutenção. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo.

A figura B.54 apresenta o gráfico de altitudes guardado pelo Nexus 5 durante o trajecto do Circuito de Manutenção. A figura B.55 mostra o gráfico de altitudes resultante da análise do algoritmo desenvolvido.

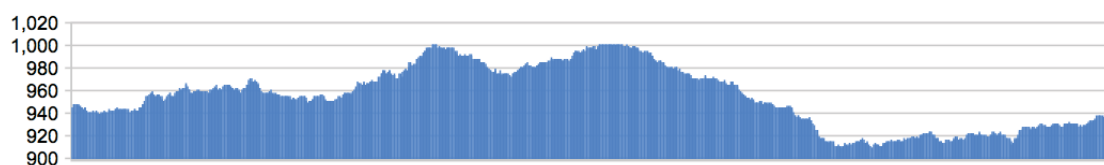


Figura B.54: Gráfico de altitudes recolhido pelo Nexus 5 durante o trajecto do Circuito de Manutenção.

## Recolha e Análise de Bio-Sinais em Ambientes Abertos

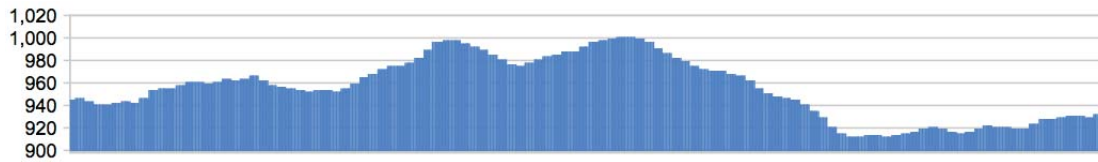


Figura B.55: Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo Nexus 5 durante o trajeto do Circuito de Manutenção.

Tabela B.23: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajeto recolhido pelo Nexus 5. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

Nexus 5 - Ficheiro Original			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
1.38	570	539	4.5

A figura B.56 mostra o trajeto recolhido pelo Nexus 5 no Complexo Desportivo. Para este ficheiro, a página web MAPLORER indica a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média. A tabela B.23 mostra esses valores.



Figura B.56: Imagem do trajeto recolhido pelo Nexus 5 no Complexo Desportivo.

## Recolha e Análise de Bio-Sinais em Ambientes Abertos

Tabela B.24: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Nexus 5. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

Nexus 5 - Ficheiro Modificado			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
1.32	522	488	4.1

Após a análise realizada pelo algoritmo desenvolvido é possível visualizar a figura B.57 com o resultado. A tabela B.24 mostra os dados do trajecto após ser analisado pelo algoritmo. Por fim, a figura B.58 mostra a sobreposição do trajecto original (a azul) e o trajecto resultante do algoritmo (a vermelho).



Figura B.57: Imagem do trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Nexus 5.



Figura B.58: Imagem dos trajectos recolhidos pelo Nexus 5. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo.

Na figura B.59 é possível visualizar o gráfico de altitudes guardado pelo Nexus 5 durante o trajecto do Complexo Desportivo. A figura B.60 apresenta o gráfico de altitudes resultante da análise do algoritmo desenvolvido.

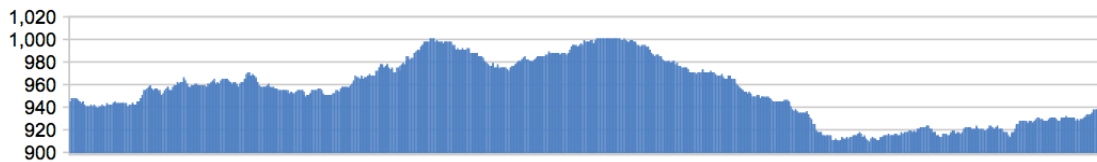


Figura B.59: Gráfico de altitudes recolhido pelo Nexus 5 durante o trajecto do Complexo Desportivo.

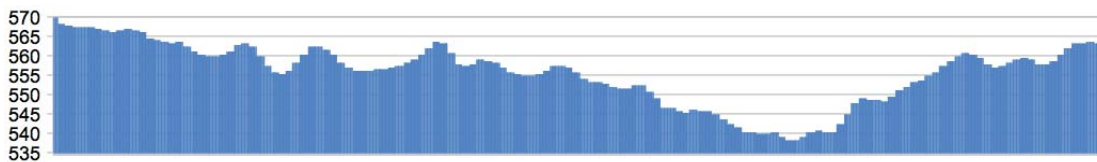


Figura B.60: Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo Nexus 5 durante o trajecto do Complexo Desportivo.

## B.7 Recolha F

A figura B.61 mostra o trajecto recolhido por um LG G3 no Circuito de Manutenção. Para este ficheiro, a página web MAPLORER indica a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média. A tabela B.25 mostra esses valores.



Figura B.61: Imagem do trajecto recolhido pelo LG G3 no Circuito de Manutenção.

Tabela B.25: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo LG G3 no Circuito de Manutenção. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

LG G3 - Ficheiro Original			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
2.9	1007	909	4.4

Após a análise realizada pelo algoritmo desenvolvido é possível visualizar a figura B.62 com o resultado. A tabela B.26 mostra os dados do trajecto após ser analisado pelo algoritmo. Por fim, a figura B.63 mostra a sobreposição do trajecto original (a azul) e o trajecto resultante do algoritmo (a vermelho).

Tabela B.26: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo LG G3 no Circuito de Manutenção. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

LG G3 - Ficheiro Modificado			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
2.48	1004	912	4.2



Figura B.62: Imagem do trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo LG G3 no Circuito de Manutenção.



Figura B.63: Imagem dos trajectos recolhidos pelo LG G3 no Circuito de Manutenção. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo.

A figura B.64 apresenta o gráfico de altitudes guardado pelo LG G3 durante o trajecto do Circuito de Manutenção. A figura B.65 mostra o gráfico de altitudes resultante da análise do algoritmo desenvolvido.



Figura B.64: Gráfico de altitudes recolhido pelo LG G3 durante o trajecto do Circuito de Manutenção.

## Recolha e Análise de Bio-Sinais em Ambientes Abertos



Figura B.65: Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo LG G3 durante o trajecto do Circuito de Manutenção.

A figura B.66 mostra o trajecto recolhido pelo LG G3 no Complexo Desportivo. Para este ficheiro, a página web MAPLORER indica a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média. A tabela B.28 mostra esses valores.

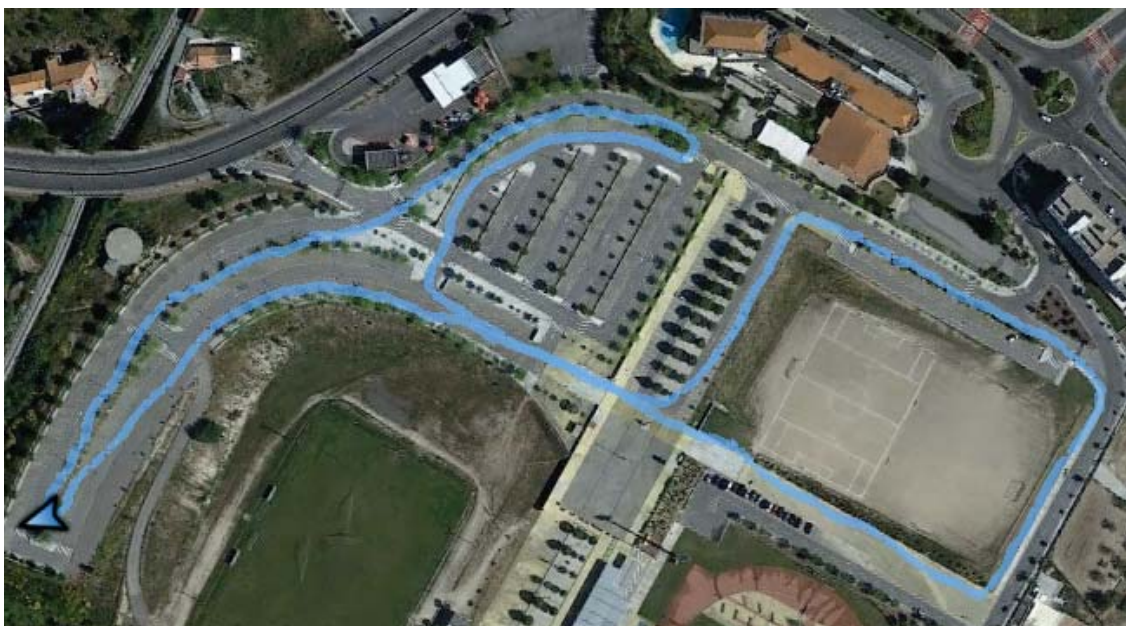


Figura B.66: Imagem do trajecto recolhido pelo LG G3 no Complexo Desportivo.

## Recolha e Análise de Bio-Sinais em Ambientes Abertos

Tabela B.27: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo LG G3. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

LG G3 - Ficheiro Original			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
1.37	574	555	4

Tabela B.28: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo LG G3. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

LG G3 - Ficheiro Modificado			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
1.33	573	556	4.2

Após a análise realizada pelo algoritmo desenvolvido é possível visualizar a figura B.67 com o resultado. A tabela B.28 mostra os dados do trajecto após ser analisado pelo algoritmo. Por fim, a figura B.68 mostra a sobreposição do trajecto original (a azul) e o trajecto resultante do algoritmo (a vermelho).



Figura B.67: Imagem do trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo LG G3.



Figura B.68: Imagem dos trajectos recolhidos pelo LG G3. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo.

Na figura B.69 é possível visualizar o gráfico de altitudes guardado pelo LG G3 durante o trajecto do Complexo Desportivo. A figura B.69 apresenta o gráfico de altitudes resultante da análise do algoritmo desenvolvido.

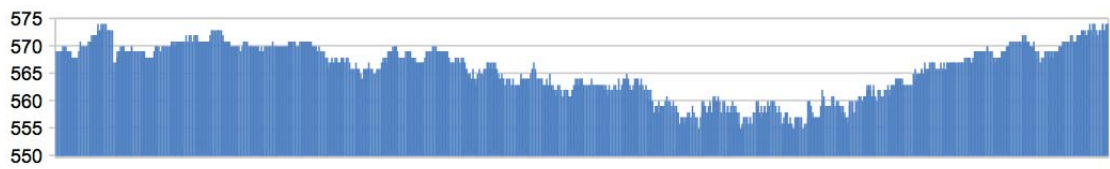


Figura B.69: Gráfico de altitudes recolhido pelo LG G3 durante o trajecto do Complexo Desportivo.

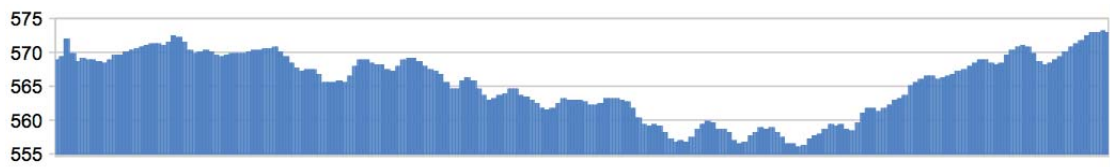


Figura B.70: Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo LG G3 durante o trajecto do Complexo Desportivo.

## B.8 Recolha G

A figura B.71 mostra o trajecto recolhido por um Umi Hammer no Circuito de Manutenção. Para este ficheiro, a página web MAPLORER indica a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média. A tabela B.29 mostra esses valores.



Figura B.71: Imagem do trajecto recolhido pelo Umi Hammer no Circuito de Manutenção.

Tabela B.29: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo Umi Hammer no Circuito de Manutenção. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

Umi Hammer - Ficheiro Original			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
2.67	1005	826	4.6

Após a análise realizada pelo algoritmo desenvolvido é possível visualizar a figura B.72 com o resultado. A tabela B.30 mostra os dados do trajecto após ser analisado pelo algoritmo. Por fim, a figura B.73 mostra a sobreposição do trajecto original (a azul) e o trajecto resultante do algoritmo (a vermelho).

Tabela B.30: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Umi Hammer no Circuito de Manutenção. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

Umi Hammer - Ficheiro Modificado			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
2.31	1005	826	4.5



Figura B.72: Imagem do trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Umi Hammer no Circuito de Manutenção.



Figura B.73: Imagem dos trajectos recolhidos pelo Umi Hammer no Circuito de Manutenção. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo.

A figura B.74 apresenta o gráfico de altitudes guardado pelo Umi Hammer durante o trajecto do Circuito de Manutenção. A figura B.75 mostra o gráfico de altitudes resultante da análise do algoritmo desenvolvido.

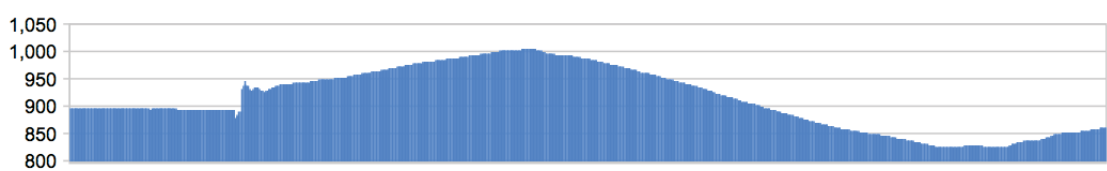


Figura B.74: Gráfico de altitudes recolhido pelo Umi Hammer durante o trajecto do Circuito de Manutenção.

## Recolha e Análise de Bio-Sinais em Ambientes Abertos

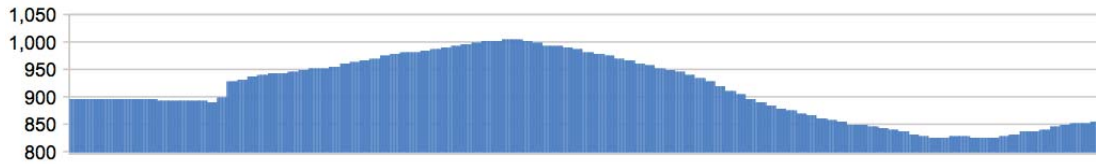


Figura B.75: Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo Umi Hammer durante o trajecto do Circuito de Manutenção.

Tabela B.31: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto recolhido pelo Umi Hammer. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

Umi Hammer - Ficheiro Original			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
1.44	523	495	4.9

A figura B.76 mostra o trajecto recolhido pelo Umi Hammer no Complexo Desportivo. Para este ficheiro, a página web MAPLORER indica a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média. A tabela ?? mostra esses valores.



Figura B.76: Imagem do trajecto recolhido pelo Umi Hammer no Complexo Desportivo.

## Recolha e Análise de Bio-Sinais em Ambientes Abertos

Tabela B.32: Tabela de valores sobre a distância percorrida, altura máxima, altura mínima e velocidade média para o trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Umi Hammer. Estes valores foram obtidos usando a página web MAPLORER.

Umi Hammer - Ficheiro Modificado			
Distância (km)	Altura Máxima (m)	Altura Mínima (m)	Velocidade Média (km/h)
1.39	518	491	3.9

Após a análise realizada pelo algoritmo desenvolvido é possível visualizar a figura B.77 com o resultado. A tabela B.32 mostra os dados do trajecto após ser analisado pelo algoritmo. Por fim, a figura B.78 mostra a sobreposição do trajecto original (a azul) e o trajecto resultante do algoritmo (a vermelho).



Figura B.77: Imagem do trajecto resultante do algoritmo inicialmente recolhido pelo Umi Hammer.



Figura B.78: Imagem dos trajectos recolhidos pelo Umi Hammer. A azul o trajecto original e a vermelho o trajecto resultante da análise do algoritmo.

Na figura B.79 é possível visualizar o gráfico de altitudes guardado pelo LG G3 durante o trajecto do Complexo Desportivo. A figura B.80 apresenta o gráfico de altitudes resultante da análise do algoritmo desenvolvido.

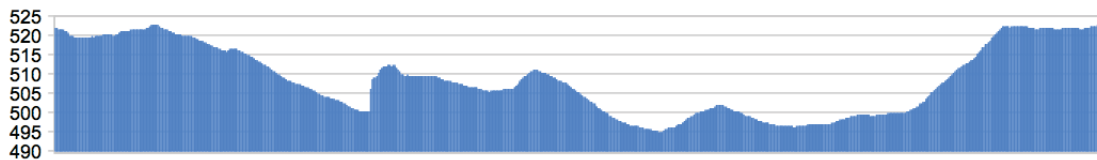


Figura B.79: Gráfico de altitudes recolhido pelo Umi Hammer durante o trajecto do Complexo Desportivo.



Figura B.80: Gráfico de altitudes resultante do algoritmo desenvolvido inicialmente recolhido pelo Umi Hammer durante o trajecto do Complexo Desportivo.

## Apêndice C

### Gráficos dos Sinais Recolhidos

Neste anexo são apresentados os restantes gráficos do capítulo 6.

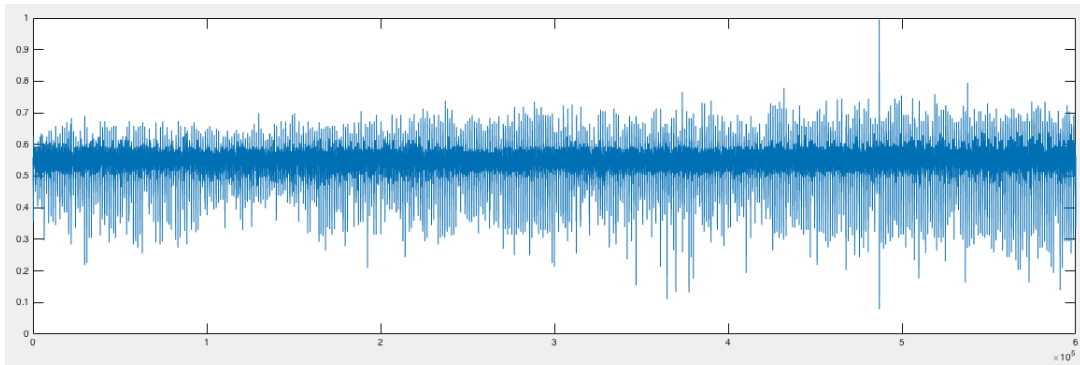


Figura C.1: Passadeira B - Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal ECG recolhido no Circuito de Manutenção.

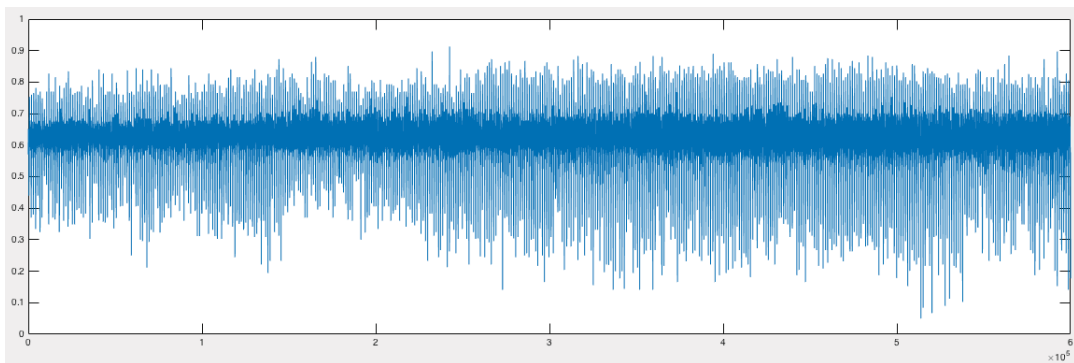


Figura C.2: Passadeira B - Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal ECG recolhido no Complexo Desportivo.

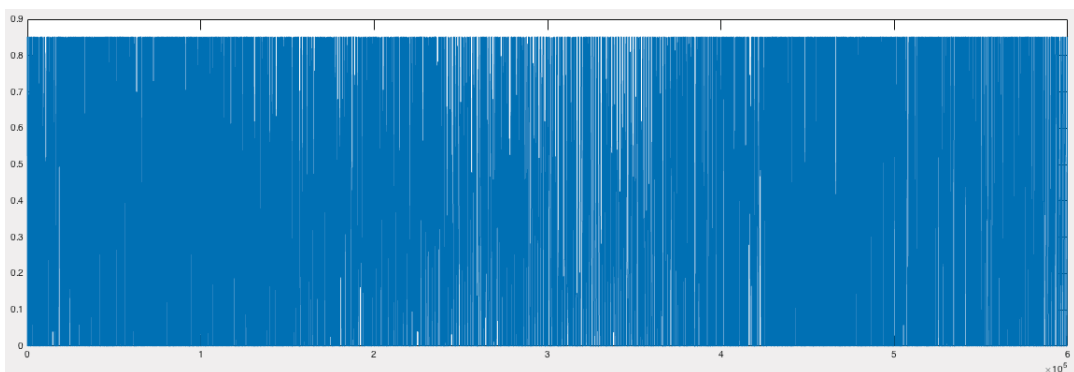


Figura C.3: Recolha B - Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal ECG recolhido no Circuito de Manutenção.

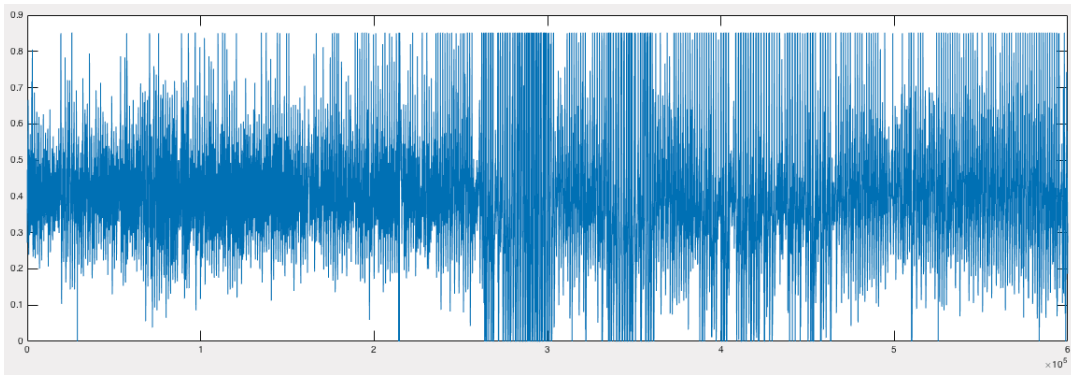


Figura C.4: Recolha B - Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal ECG recolhido no Complexo Desportivo.

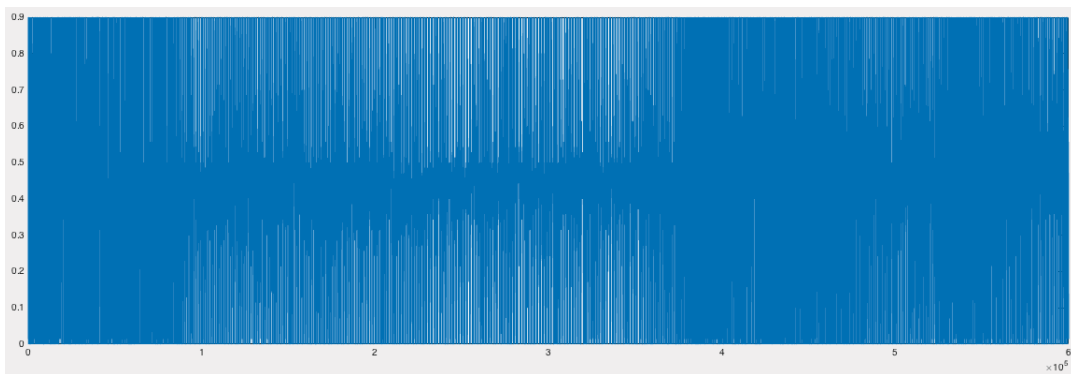


Figura C.5: Recolha B - Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal EMG recolhido no Circuito de Manutenção.

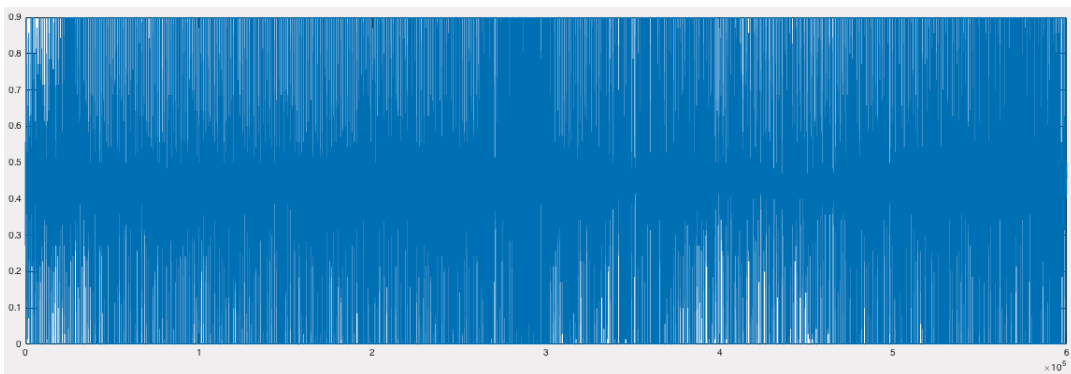


Figura C.6: Recolha B - Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal EMG recolhido no Complexo Desportivo.

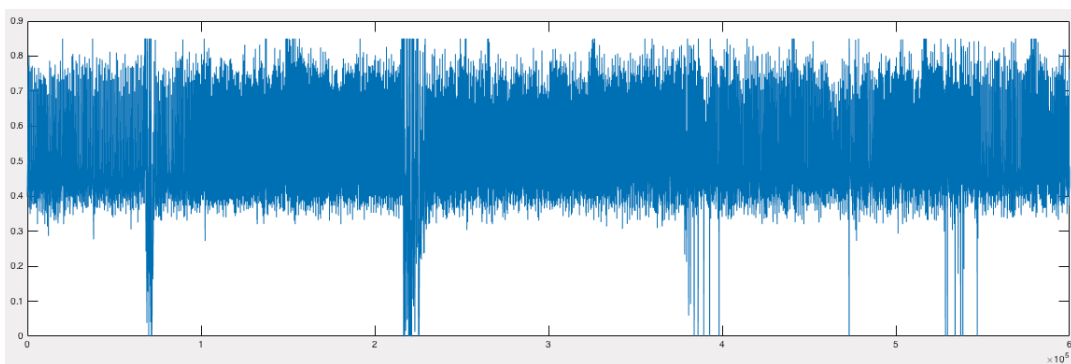


Figura C.7: Recolha C - Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal ECG recolhido no Circuito de Manutenção.

## Recolha e Análise de Bio-Sinais em Ambientes Abertos

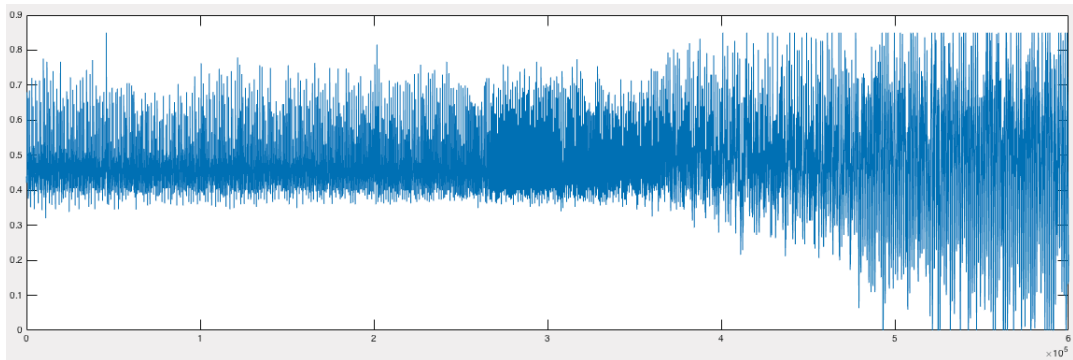


Figura C.8: Recolha C - Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal ECG recolhido no Complexo Desportivo.

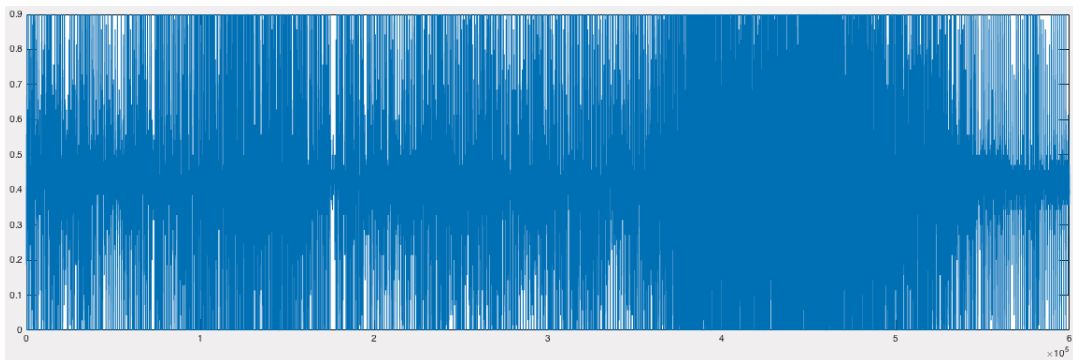


Figura C.9: Recolha C - Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal EMG recolhido no Circuito de Manutenção.

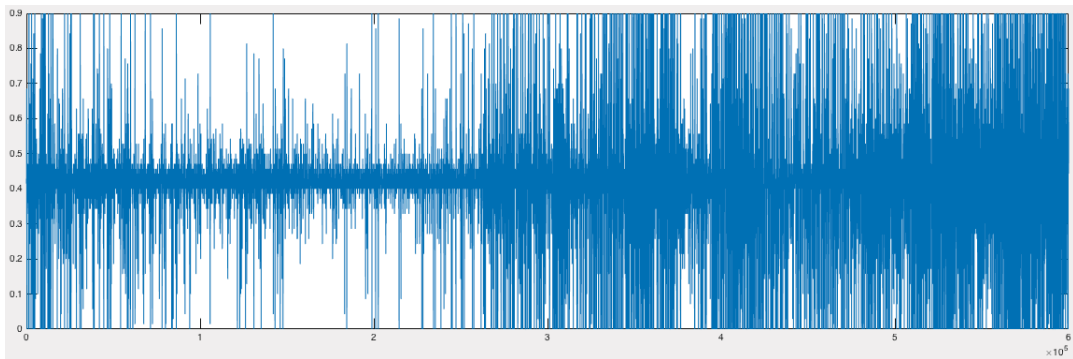


Figura C.10: Recolha C - Gráfico gerado pelo MATLAB do sinal EMG recolhido no Complexo Desportivo.



## Apêndice D

### Protocolo de Recolha e Artigo Científico

Neste capítulo é possível visualizar o protocolo elaborado para a recolha de dados e o artigo científico desenvolvido. O protocolo de recolha descreve todo o processo para a realização da recolha de dados com os voluntários: os dispositivos a serem utilizados, os dados a serem recolhidos e a localização dos trajectos a serem realizados. O artigo científico foi realizado tendo como base o algoritmo desenvolvido. Inicia-se com um estado da arte de outros algoritmos existentes, descreve as experiências realizadas, apresenta o método desenvolvido e mostra alguns resultados aplicando o algoritmo.

## Recolha de dados relativos à marcha de indivíduos saudáveis

Equipa responsável:

Professor Doutor Nuno Garcia

Professor Doutor Rui Brás

Celina Alexandre

### 1. Introdução

Este documento apresenta o protocolo experimental para a recolha de dados relativos à marcha de indivíduos que não tenham sido diagnosticados com qualquer tipo de doença que impossibilite a marcha. O documento está organizado da seguinte forma: 1. Introdução, 2. Background e Relevância, 3. Objectivo(s) Geral(ais) e Específico(s), 4. Metodologia, 5. Aspectos Éticos e Confidencialidade dos Dados, 6. Bibliografia e Anexos.

Este procedimento experimental enquadra-se na Dissertação intitulada “Recolha e Análise de Bio-Sinais em Ambientes Abertos” a ser desenvolvida pela aluna Celina Alexandre, tendo como orientador o Professor Doutor Nuno Garcia e co-orientador o Professor Doutor Rui Brás, inserida no ano lectivo 2015/2016, e no projecto UBI-BioSignals.

### 2. Background e Relevância

Caminhar em ambientes de montanha (também conhecido por hillwalking) é uma das mais populares actividades de lazer, pois combinamos o ar fresco e puro com as vistas privilegiadas, o exercício saudável e exploramos o nosso lado mais aventureiro. Tudo isto torna-se numa experiência ainda melhor quando estamos incluídos num grupo de caminheiros que partilham dos mesmo gosto [1].

Esta actividade tem vindo a atrair várias gerações e para muitas delas, funciona como um medicamento natural para aliviar o stress do dia-a-dia.

Em desportos no âmbito de montanha, a aquisição de bio-sinais é relevantes para estudos relacionados com movimento. Tanto em caminhadas como noutros

tipos de desportos, a aquisição destas variáveis é útil para uma vasta gama de estudos.

As caminhadas possuem dois factores bastante relevantes: a fadiga e o terreno. Neste contexto, os sensores que podem ser utilizados são, por exemplo, Electromiografia (EMG), acelerómetro, Electrocardiograma (ECG), sensor de respiração, entre outros.

### 3. Objectivo(s) geral(ais) e específico(s)

O objectivo geral deste estudo é desenvolver uma metodologia de aquisição de sinais vitais em contexto de hillwalking para validar os dados recolhidos e armazená-los numa base de dados.

Um dos problemas mais críticos em investigação científica é a dificuldade em replicar resultados de pesquisas publicados anteriormente. Com este trabalho é pretendido minimizar o problema referido reunindo todos os dados numa só base de dados com um número significativo de bio-sinais validados, para que possam ser utilizados pela comunidade de investigação internacional.

Os dados recolhidos e validados irão ser disponibilizados de forma livre e gratuita nos servidores da UBI e poderão ser visualizados em: <http://allab.it.ubi.pt/mediawiki>.

### 4. Metodologia

Tipo de estudo: o estudo é do tipo transversal.

Descrição e caracterização da amostra experimental: a amostra experimental será constituída por uma população de indivíduos de diversos pesos e idades, preferencialmente entre os 18 e os 50 anos. Caso não se consiga indivíduos suficientes, a faixa etária poderá ser alargada.

Critérios de elegibilidade:

Tabela 1 - Critérios de inclusão e exclusão para cada grupo da amostra experimental.

Inclusão	Exclusão
O indivíduo ser saudável.	O indivíduo ter qualquer tipo de doença diagnosticada que impossibilite a marcha totalmente ou parcialmente.
	Indivíduos diagnosticados com pelo menos uma das doenças: diabetes, hipertensão, insuficiência cardíaca, obesidade (IMC $\geq 30\text{kg}/\text{m}^2$ , pois frequentemente os obesos tendem a ocultar a ingestão alimentar) e grávidas.
	Indivíduos com lesões músculo-esqueléticas não seguidas por um médico.

Material e instrumentação: um Bitalino com os sensores, um smartphone para guardar os dados recolhidos do Bitalino e do GPS.

Infraestrutura e recursos necessários: a recolha dos dados será realizada em duas situações. Uma primeira será no circuito de manutenção da Covilhã, onde irá ser realizada uma caminhada de nível médio. A segunda será no Complexo Desportivo da Covilhã, pois na cidade da Covilhã existem ruas inclinadas e que, portanto, não correspondem ao padrão das cidades portuguesas. O complexo é um local onde existem pistas planas e o meio envolvente do mesmo possui pequenas inclinações. Neste contexto o nível da caminhada será fácil.

Procedimento de recolha: Com o uso de um Bitalino, que irá ser transportado por cada participante numa bolsa situada na zona lateral esquerda da cintura, será feita a recolha de diversas variáveis utilizando os seguintes sensores: sensor ECG, colocado segundo as derivações no plano horizontal precordiais (V3, V4 e V5), ACC, colocado na região supra inguinal direita e o sensor EMG, colocado no músculo recto femoral esquerdo. Também irão ser guardados dados GPS recolhidos pelo *smartphone* a ser utilizado.

Irá ser realizado um primeiro percurso em ambiente de montanha e um segundo num ambiente citadino em dias diferentes com uma duração mínima estimada de 30 minutos cada. A velocidade média de cada percurso deverá situar-

## Recolha e Análise de Bio-Sinais em Ambientes Abertos

se entre os 3-5 km/h. Em ambos os percursos serão realizados exercícios de pré-aquecimento e pós-aquecimento afim de evitar lesões musculares.

Prazo e calendarização: A recolha dos bio-sinais será realizada nos meses de Março e Abril de 2016.

### 5. Aspectos Éticos e Confidencialidade dos Dados

Riscos: este procedimento não apresenta quaisquer riscos para os voluntários.

Benefícios: Este estudo permite que seja realizada actividade física ao ar livre, assim os voluntários estarão a usufruir da natureza enquanto praticam exercício física.

Confidencialidade dos dados: Os dados recolhidos serão anonimizados por forma a impedir que seja realizada uma associação entre os bio-sinais e o indivíduo a quem estes foram recolhidos, ou a identificar quais os indivíduos que efectivamente participaram no estudo, de acordo com as normas internacionalmente aceites e a legislação portuguesa em vigor, em particular, em conformidade com a Lei n.º 67/98 de Outubro.

### 6. Bibliografia

[1] Long, Steve. Hillwalking: The official handbook of the Mountain Training walking schemes. Mountain Training Uk: 2014.

# Method for GPS Tracks Smoothing Based on Points Distance

## Abstract

This paper proposes a method for gps coordinates smoothing, reducing the error on its acquisition. During the course of this experiment it was noticed that gps data acquired in environments with alot of trees had an higher error then paths in urban areas, were trees are less predominant. With that in mind, a method for error reduction based on the distance between the points belonging to the path was developed, eliminating the erroneous points, resulting in a final path with less points, however more accurate compared to the real life path taken by the voluntaries that did the gps data acquisitions. The source code for this method will be made available to the public.

**Keywords:** gps data, gps acquisition, gps smoothing and gps error.

## Section 1: Introduction

In order to collect data on hill walking and city walking we realized an experience in a mountain forest environment and in a city environment with voluntaries that used two different smartphones. It was found that for both mountain environment and city enviroment the information recorded was slightly different when compared one smartphone to the other, however, in the mountain environment the difference was higher then in the city one and the information had a higher error compared to the real path taken. Along this paper we will always have as baseline the path that was really walked looking at Google Earth maps. Faced with this problem we tried to find methods to give a better aproximation of the reality. This paper focuses on making the mountain routes with fewer errors approaching them to the city routes.

## Section 2: Methods that smooth GPS tracks

- **GPS Visualizer [2]**

In GPS Visualizer there are two options to smooth GPS tracks: maximum points per track and trackpoint distance threshold. Maximum points per track reduces the number of points using GPSBabel, removing redundant points. Figure 1 show that this method doesn't work well in confused tracks.

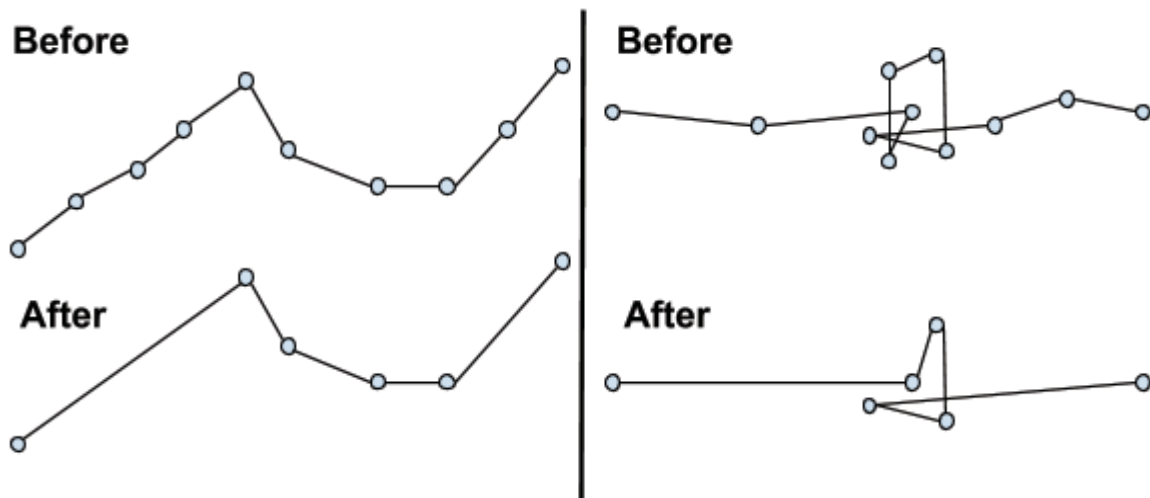


Figure 1. Graphs showing the algorithm applied to paths with several errors.

Faced with this problem, the creator of GPS Visualizer, Adam Schneider, implemented on his site another method: trackpoint distance threshold. This method is a filter that analyses points of the given track and create new points with a minor error. Figure 2 show how this method smooths tracks: first image shows an example track. We will use a 4 meters treshold. In second image C, D and E points will be removed because they are less than 4 meters distant than point B. So, the result of this simple track is A, B and F.

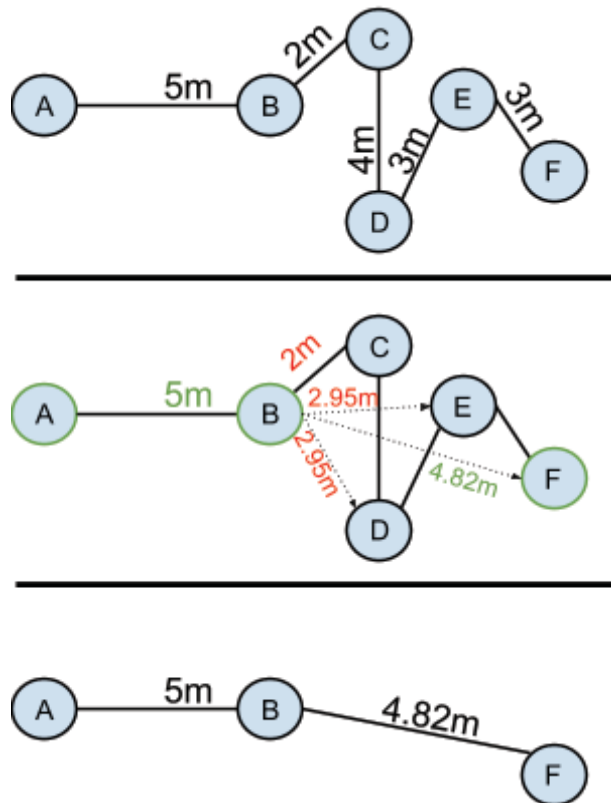


Figure 2. The algorithm verifies the distances between points and when it finds a point outside the given limit, an average of the previous points is calculated. In this case, the point found doesn't isn't used in the average.

- **Ramer-Douglas-Peucker algorithm [3]**

The Ramer-Douglas-Peucker algorithm is an algorithm that reduces a number of points in a curve, being approximated by a point series. The beginning curve is a series of ordered points or lines with a dimension higher a predefined  $\epsilon$  ( $\epsilon > 0$ ). The algorithm recursively break the line, initially being given from the first to the last point, marking both to be kept. It then tries to search for the point that is the more distant to the line segment with the first and last point as ends. If the point is  $\epsilon$  closer than the segment then any point at that instant not marked as kept should be discarded without the simplified curve being worse than  $\epsilon$ . If the point more distant from the segment has a distance higher than  $\epsilon$  from the approximation then that point should be kept. The algorithm recursively invokes itself with the worst point and the last point and with the first point and the worst point, which means that the worst point should be marked as kept. When the looping concludes a new output curve can be created, containing only the points marked as kept.

### Section 3: Experience

In the first experience we used a LG G3 D855 32GB and an Umi Hammer, each person carrying each smartphone. LG G3 had only the GPS turned on and Umi Hammer had the GPS and mobile internet connection on. These devices collected the coordinates on which each person traveled along the 2 distinct mountain paths, second by second, and were saved in a GPX format. When we opened this two files in the Google Earth application, we observed that the coordinates from each person were different, even with them travelling the same given path. Figure 3 show this two tracks .



Figure 3. Above acquisition done by the Umi smartphone and below by the LG one, both shown on the the Google Earth application

With these results we did another experience: two smartphones with only GPS turned on GPS. In this experience we used a LG G3 D855 32 GB and a Moto G 8GB (first generation). Two persons traveled in the same place as the previous experience and we recored different paths again.

With the Google Earth software it's possible to visualize a graph with the altitudes. In this graph it is possible to visualize the distance traveled, velocity and altitude of the terrain along the path. With several tests there was a doubt about the shown altitude vs the one present in the files. For that we used an online tool called MAPLORER where it is possible to compare the altitudes graph present in the file with the altitudes shown in Google Earth. With that we came to believe that it weren't only the longitude and latitude coordinates that were wrong, but also the altitude.



Figure 4. Path aquired by the Moto G smartphone showed in the Google Earth application

With further analysis it was found that the GPS signal in the mountain forest circuit gave wrong information, not giving the accurate place where a person was at a given moment, that being accentuated by each phone giving different information (figure 4). GPS measurement with smartphones is erroneous and it's possible that comes from the existence of several trees in place (blocking the access to the satellites) [1].

Analyzing the path taken in the city environment, with fewer trees and without buildings blocking the sky, it was found that the signal had lesser errors compared with the mountain environment (figure 5).



Figure 5. Path in a region with few trees.

## Section 4: Proposed method

Our proposed method analyzes the points (latitude and longitude) and compares them with the following. In this comparison it is analyzed the distance between two points to perceive if a given point might have been registered with a greater error than expected, if so a calculation with the previous points will be made creating a new point which will have a minor error. Figure 6 shows how our method works.

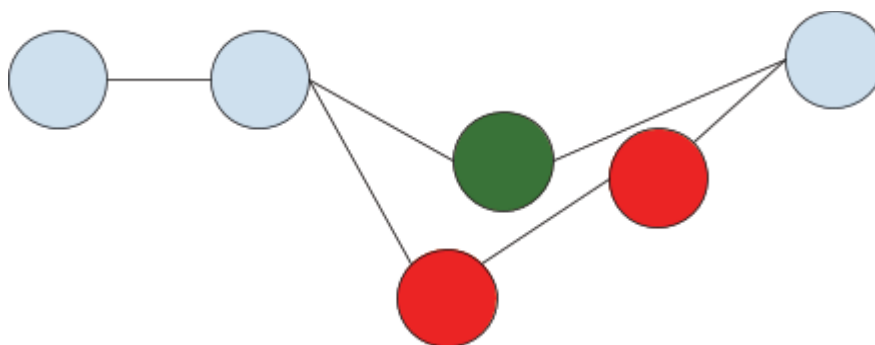


Figure 6. The green dot will be the new point created from the average of the red dots, while the red dots are eliminated.

Figure 7 shows the first point that we will call it fixed point and last that we will call it last point. When we do this comparison, we calculated the distance between these two points and verify that it's equal or less than a given value. In forest environment we analysed several values to the distance and the most closer to reality was 18 meters.

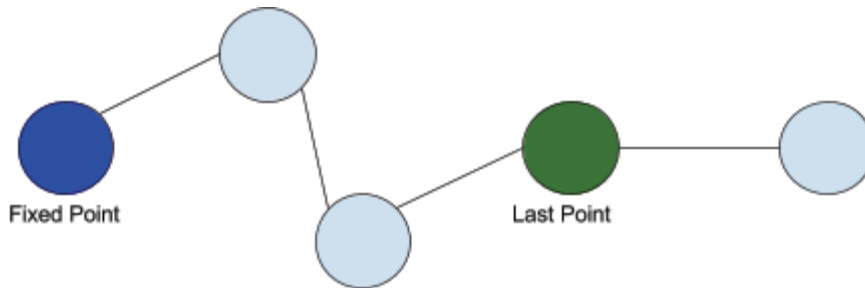


Figure 7. Example showing the fixed and the last points.

When the distance between the fixed point and the last point is more than 18 meters we calculated a new point with average latitude and longitude of all of the points between fixed point (excluded) and the last point (figure 8). When all points are covered a new GPX file is created.

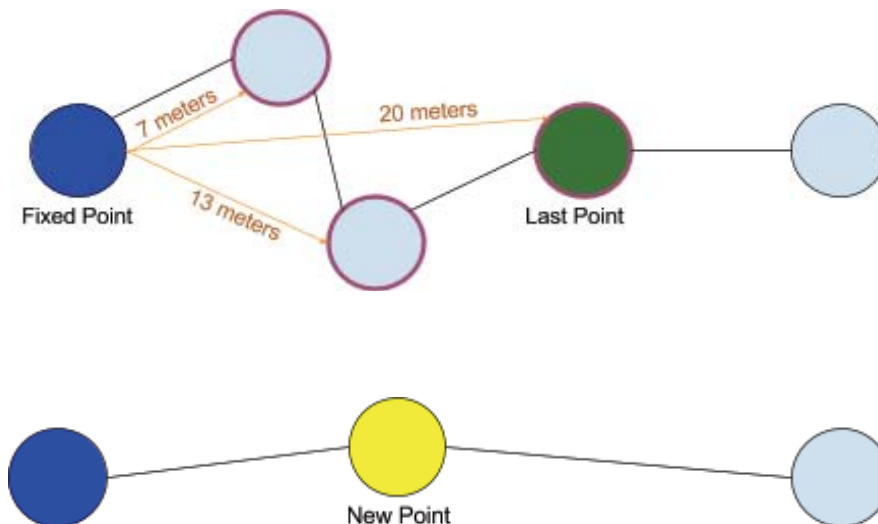


Figure 8. The first image shows the distance between points being verified until it finds one that has a higher distance then 18 meters from the previous. When its found the average is calculated and the yellow point in the second image is created.

This method smooths the track eliminating some erroneous points that may have been caused by trees or the accuracy of the GPS device at that given moment.

To resolve the altitude error problem a simple moving average was used. For each point (latitude and longitude) the altitude was calculated with the average of the altitudes of the surrounding altitudes. When it is an initial point, the average only uses the next points, when it is a final point, the average is calculated with the previous points. If the point is in the middle, the average is calculated with the previous and next points. For the simple moving average calculation all the altitudes from erroneous points (if they exist) and from the 10 previous and next points (if they exist). Figure X shows how the algorithm calculates the averages in the 3 different cases (initial point, final point and middle point).

## Section 5: Results

To check our results we imported three tracks to the Google Earth software. In Figure 9, we can check an area with trees in mountain environment. In this track there are some points out of the path taken. The blue color show the saved route by GPS, green color the path generated by the GPS Visualizer method and red color our proposed method.



