

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

# Otimização de rotas num sistema de Bike-Sharing usando sinais fisiológicos

Damien Guedes da Rosa

DISSERTAÇÃO



Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação

Orientadora: Ana Aguiar (PhD)

Orientador na empresa: Ricardo Machado

26 de Janeiro de 2014



# **Otimização de rotas num sistema de Bike-Sharing usando sinais fisiológicos**

**Damien Guedes da Rosa**

Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação

Aprovado em provas públicas pelo Júri:

Presidente: Nome do presidente do júri

Arguente: Nome do arguente do júri

Vogal: Nome do vogal do júri

---

26 de Janeiro de 2014



# Resumo

Com o passar dos anos, o *bike-sharing* tem tido uma crescente atenção, devido às iniciativas de aumentar o uso de bicicletas em detrimento dos transportes motorizados, com o objetivo de minimizar o uso dos transportes urbanos que libertam gases poluentes causando problemas ambientais e congestionamento de tráfego. Optando pela alternativa aos transportes urbanos e veículos motorizados, com objetivo de adotar um estilo de vida verde e saudável, várias cidades em todo o planeta tentam proporcionar esse estilo de vida aos seus cidadãos, construindo sistemas de *bike-sharing* e pondo à disposição parques de estacionamento com bicicletas.

Neste documento, está descrita a criação de um sistema que com a medição de parâmetros físicos, através de sensores fisiológicos, pode dar a perceber quais as rotas mais otimizadas para um utilizador tendo como premissa a sua condição física. No final da dissertação, obteve-se como resultado uma aplicação Android, chamada de SmartBikeEmotion, que pretende permitir aos utilizadores usufruir do que os sistemas de *bike-sharing* proporcionam, com o acréscimo de poder adaptar os circuitos à sua condição física, auxiliando na sua movimentação pela cidade. Esta aplicação será integrada com o projeto *BikeEmotion*, um projeto de *bike-sharing*, desenvolvido em consórcio pela Ubiwhere, Ponto.C, Micro I/O, e Universidade de Aveiro.



# Abstract

Over the years, the *bike-sharing* has received a widespread attention due to initiatives to increase the use of bicycles instead of motorized transports. The objective of this change is to minimize the use of urban transport that release greenhouse gases which causes environmental problems and traffic congestion. Take in account the alternative to urban transport and motor vehicles, in order to adopt a green and healthy lifestyle, many cities around the world attempts to provide this lifestyle to its citizens, building *bike-sharing* systems and making available parking spaces for bicycles.

In this paper, we intended to show the creation of a system which with the measurement of physical parameters, through physiological sensors and *Wearable* devices, may advise about the more optimized routes for the users and how the *bike-sharing* system can be linked with other public transports. In the end of this thesis, we expect an Android application, called SmartBikeEmotion, which aims to allow the users take advantages of the *bike-sharing* system, with the strength of the circuits adaption to the user's physical condition, assisting them in the cycling through the city. This application will be integrated with BikeEmotion project, a *bike-sharing* project, developed in partnership by Ubiwhere, Ponto.C, Micro I / O, and University of Aveiro.



# Agradecimentos

A entrega desta dissertação marca a minha entrada para o mundo como engenheiro. Muita gente contribuiu e me acompanhou ao longo desta aventura, a quem gostava de agradecer por tal feito.

Em primeiro lugar, gostaria de expressar a minha gratidão à Eng. Ana Aguiar da FEUP por ter acompanhado a minha dissertação, pela sua ajuda e pelas recomendações nas diferentes fases de desenvolvimento do projeto.

À Ubiwhere e seus representantes, Rui Costa e Nuno Ribeiro, pela estadia numa empresa onde me senti bem recebido, confortável e no seio de um ambiente muito agradável.

Também ao Eng. Ricardo Machado e ao Eng. Carlos Oliveira da Ubiwhere, pelo acompanhamento, orientação e direcionamento ao longo de todo o projeto, bem como a boa companhia e as conversas animadas à hora de almoço que me ajudaram a manter motivado.

A todos os meus amigos, pela sua amizade, lealdade e por me ajudarem a crescer e a criar uma nova versão de mim mesmo com o passar dos anos. A lista de nomes seria interminável se tivesse que escrevê-los todos. Todas as vivências nestes cinco anos e pico foram marcantes e até ao fim dos meus dias irei guardá-los no coração.

Finalmente, um agradecimento muito especial aos meus pais e ao meu irmão, pela paciência infinita, pelo apoio constante mesmo sem perceberem a prática inovavam na teoria. Expresso a minha maior gratidão por me proporcionarem uma vida repleta de felicidade!

Ao Eduardo Jesus.

Sem cada uma das pessoas, teria sido muito mais árdua a chegada ao final desta jornada. A minha mais sincera gratidão a todos vocês.

Damien Guedes Rosa



*“The journey of life is like a man riding a bicycle.  
We know he got on the bicycle and started to move.  
We know that at some point he will stop and get off.  
We know that if he stops moving and does not get off he will fall off.”*

William G. Golding



# Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Enquadramento e Motivação . . . . .	1
1.2	Projeto e Objetivos . . . . .	2
1.3	Estrutura da Dissertação . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Trabalho Relacionado</b>	<b>5</b>
2.1	<i>Bike-sharing</i> . . . . .	5
2.2	Sensores e Dispositivos <i>Wearable</i> . . . . .	7
2.3	Aplicações e Projetos Relacionados . . . . .	9
2.4	Soluções para Roteamento e Mapeamento . . . . .	12
2.4.1	<i>Logging</i> . . . . .	12
2.4.2	<i>GeoWikis</i> . . . . .	13
2.4.3	Serviços de Roteamento . . . . .	14
2.5	Soluções para Estimativa do Gasto de Calorias . . . . .	14
2.5.1	Pesquisa em Tabelas Padronizadas . . . . .	15
2.5.2	Recolha de dados de Cadência e Velocidade . . . . .	15
2.5.3	Monitorização da Frequência Cardíaca . . . . .	16
2.5.4	Medição de Potência . . . . .	17
2.6	Resumo e Conclusões . . . . .	19
<b>3</b>	<b>SmartBikeEmotion: Especificação do projeto</b>	<b>21</b>
3.1	Descrição do problema . . . . .	21
3.2	Arquitetura do Sistema . . . . .	22
3.2.1	<i>Framework</i> de Sensores . . . . .	22
3.2.2	Serviço de Roteamento . . . . .	23
3.2.3	Caso de uso . . . . .	24
3.3	Tecnologias usadas . . . . .	25
3.3.1	BITalino . . . . .	26
3.3.2	Serviço Google Maps . . . . .	29
<b>4</b>	<b>Implementação</b>	<b>35</b>
4.1	<i>Framework</i> de Sensores . . . . .	35
4.1.1	<i>Framework</i> . . . . .	35
4.1.2	BITalino e ECG . . . . .	36
4.2	Serviço de Roteamento . . . . .	38
4.2.1	Nível de treino do utilizador . . . . .	38
4.2.2	Pedido de dados da Rota e Estimativa da Energia Necessária . . . . .	39
4.3	Desenvolvimento das interfaces . . . . .	40

## CONTEÚDO

<b>5</b>	<b>Resultados</b>	<b>47</b>
5.1	Primeiro Percurso . . . . .	49
5.2	Segundo Percurso . . . . .	51
5.3	Terceiro Percurso . . . . .	52
<b>6</b>	<b>Conclusões e Trabalho Futuro</b>	<b>55</b>
6.1	Conclusões . . . . .	55
6.2	Trabalho Futuro . . . . .	56
	<b>Referências</b>	<b>57</b>
<b>A</b>	<b>Anexo</b>	<b>59</b>

# Lista de Figuras

1.1	Dispositivo de localização e de bloqueio das bicicletas no BikeEmotion. . . . .	2
2.1	LifeBeam Smart Heart Rate Helmet . . . . .	8
2.2	Helios Smart Handlebars . . . . .	8
2.3	Amiigo Fitness Bracelet . . . . .	9
2.4	Equipamento Moov . . . . .	9
2.5	Exemplo de utilização do Wahoo Fitness . . . . .	11
2.6	Exemplo de utilização do Cyclemeter . . . . .	11
2.7	Exemplo de utilização do MapMyRIDE . . . . .	12
3.1	Arquitetura global da solução. . . . .	22
3.2	Arquitetura da framework de emparelhamento de sensores. . . . .	23
3.3	Arquitetura do módulo de cálculo das rotas. . . . .	24
3.4	Modelo de casos de uso para utilizadores das bicicletas. . . . .	25
3.5	BITalino Plugged Kit e os vários sensores. . . . .	26
3.6	Sensores disponíveis do <i>kit</i> . Da esquerda para a direita de cima para baixo, EDA, LED, ECG, ACC, LUX e EMG. . . . .	27
3.7	Sensor ECG conectado com os eléctrodos e BITalino . . . . .	27
3.8	Triângulo de <i>Einthoven</i> . . . . .	28
3.9	Plano Precordial . . . . .	29
4.1	Esboço para o formulário de autenticação. . . . .	41
4.2	Esboço com os dados que irão ser necessários para o cálculo de uma rota. . . . .	42
4.3	Fluxo de navegação entre ecrãs de menu e do mapa. . . . .	43
4.4	Esboço que apresenta a rota ideal para o utilizador. . . . .	44
4.5	Fluxo de navegação entre ecrãs de ativação do Bluetooth e conexão com um dispositivo. . . . .	45
4.6	Esboço que apresenta a mudança de valores na frequência cardíaca e afetação do percurso a realizar. . . . .	46
5.1	Mapa da zona de Aveiro. . . . .	50
5.2	Mapa da zona do Porto. . . . .	51
5.3	Mapa da zona de Valpaços. . . . .	53

## LISTA DE FIGURAS

# Lista de Tabelas

2.1	Tabela comparativa das aplicações. . . . .	13
2.2	Calorias queimadas por 30 minutos usando a bicicleta. . . . .	15
2.3	Consumo máximo de oxigénio ( $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ ) . Normas para o sexo masculino. . . . .	17
2.4	Consumo máximo de oxigénio ( $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ ) . Normas para sexo feminino. . . . .	17
4.1	Zonas de treino. . . . .	38
5.1	Características dos perfis testados. . . . .	47
5.2	Limite máximo e mínimo do HR em cada treino para a Pessoa1. . . . .	49
5.3	Limite máximo e mínimo do HR em cada treino para a Pessoa2. . . . .	49
5.4	Limite máximo e mínimo do HR em cada treino para a Pessoa3. . . . .	49
5.5	Resultados obtidos para a Pessoa1, no primeiro percurso. . . . .	50
5.6	Resultados obtidos para a Pessoa2, no primeiro percurso. . . . .	50
5.7	Resultados obtidos para a Pessoa3, no primeiro percurso. . . . .	51
5.8	Resultados obtidos para a Pessoa1, para o segundo percurso. . . . .	52
5.9	Resultados obtidos para a Pessoa2, para o segundo percurso. . . . .	52
5.10	Resultados obtidos para a Pessoa3, para o segundo percurso. . . . .	52
5.11	Resultados obtidos para a Pessoa1, para o terceiro percurso. . . . .	53
5.12	Resultados obtidos para a Pessoa2, para o terceiro percurso. . . . .	53
5.13	Resultados obtidos para a Pessoa3, para o terceiro percurso. . . . .	54

## LISTA DE TABELAS

# Abreviaturas e Símbolos

API	Application Program Interface
BLE	Bluetooth Low Energy
BPM	Beats per minute
ECG	Electrocardiogram ou Electrocardiography
EDA	Eletrodermal Activity
EMG	Electromyography
EUA	Estados Unidos da América
GPS	Global Positioning System
HCI	Human-Computer Interaction
HR	Heart Rate
LED	Light-emitting diode
RPM	Rotações Por Minuto
ROYGBIV	Red Orange Yellow Green Blue Indigo Violet
UI	User Interface



# Capítulo 1

## Introdução

O ciclismo ou a utilização de bicicletas para diversos fins, tem vindo a aumentar cada vez mais. Essa alta taxa da prática traz diversos benefícios incluídos na saúde e bem estar dos utilizadores, reduzindo os custos de transportes e congestão do tráfego, assim como redução da transmissão de gases poluentes para a atmosfera e o impacto que provoca no ambiente. Focadas nestas premissas, as cidades mais modernas tentam implementar sistemas de partilha de bicicletas de forma a trazer aos seus cidadãos e turistas, não só uma vida mais saudável mas também uma outra perspetiva de conhecer a cidade.

Este documento ilustra a forma como os dispositivos *Wearable* e sensores fisiológicos, permitem colmatar as dificuldades que um sistema de partilha de bicicletas pode atravessar, tudo isto em conjunto com as tecnologias, como sistemas de informação e aplicações móveis.

Está presente no documento, a definição de sistemas de *bike-sharing*, assim como a sua evolução, a definição de dispositivos *Wearable* e os vários exemplos destes dispositivos, adaptados ao melhoramento e monitorização da atividade física recorrendo ao uso de bicicletas.

Neste primeiro capítulo, pretende-se introduzir o tema da dissertação, referindo o contexto e a razão pela qual o projeto foi desenvolvido, seguindo-se uma descrição do projeto, traçam-se os objetivos e menciona-se a estrutura restante do documento.

### 1.1 Enquadramento e Motivação

Com o passar dos anos, o *bike-sharing* tem tido uma crescente atenção, devido às iniciativas de aumentar o uso de bicicletas em vez dos transportes motorizados, conseguindo assim diminuir o impacto ambiental que esses podem provocar [DeM09]. Assim, as cidades visam proporcionar aos seus cidadãos e clientes os mecanismos para que estes adotem um estilo de vida mais saudável e ativo, enquanto promovem uma imagem compatível com as preocupações ambientais que fazem já parte do nosso quotidiano.

## Introdução

É desta forma que, a Ubiwhere começou com o desenvolvimento de sistemas de *bike-sharing*, contando com a sua vasta experiência na área, chegando a ser reconhecida pelo seu projeto BikeEmotion, ganhando diversos galardões nacionais e internacionais. Esse mérito foi recebido pelo carácter inovador e potencial de revolucionar a forma como os sistemas de *bike-sharing* são encarados atualmente.

Assim, a empresa pretende continuar a revolucionar este setor, integrando o seu sistema inovador, os seus sistemas de informação e aplicações móveis, com os sistemas de *bike-sharing* que utilizam bicicletas elétricas. Estas bicicletas possibilitam a incorporação de diversos sensores de recolha de sinais vitais e mobilidade.

O projeto BikeEmotion, referido acima, foi criado em 2011 para desenvolver um produto de *bike-sharing* e gestão do sistema com localização GPS, integrando um dispositivo de bloqueio nas bicicletas. A bicicleta pode ser desbloqueada por um cartão ou dispositivo móvel, segundo um registo e apenas permite bloquear e desbloquear a bicicleta em determinadas áreas. [Pon14]



Figura 1.1: Dispositivo de localização e de bloqueio das bicicletas no BikeEmotion.

## 1.2 Projeto e Objetivos

Verificando que os sistemas de *bike-sharing*, ainda apresentam vários problemas, nomeadamente em termos de redistribuição de bicicletas pela cidade, de segurança e de otimização de rotas, nesta dissertação pretende-se que, baseados na sensorização móvel, entendida como a recolha de dados sensoriais centradas nas pessoas recorrendo a dispositivos móveis, pretende-se desenvolver uma aplicação Android, chamada de SmartBikeEmotion, que seja capaz de recolher dados sensoriais, provenientes de sensores embebidos no *smartphone* ou sensores externos, como os *wearables*, servindo como um perfil biosensorial do utilizador, que servirá para alimentar um serviço de mapeamento de rotas que adapta a exigência do trajeto à condição física atual do utilizador ou mediante um objetivo de percurso que o utilizador tenha em mente. Assim pretende-se dissolver a problemática da otimização de rotas num sistema de *bike-sharing*, tornando assim a experiência de utilização da bicicleta mais confortável e agradável.

## Introdução

Tendo em mente estes conceitos, consegue-se claramente dividir o problema em vários objetivos principais:

1. Desenvolver uma *framework* de recolha dos dados sensoriais do utilizador, com base em fatores que resultem no perfil do utilizador.
2. Desenvolver um serviço de mapeamento que sugere rotas adaptadas à condição física do utilizador usando os dados recolhidos pela *framework*.
3. Prototipar o SmartBikeEmotion para o utilizador consultar o resultado obtido pelo serviço.

### 1.3 Estrutura da Dissertação

Para além da introdução, este documento é composto por mais 5 capítulos. No capítulo 2, é descrito um grande número de conceitos que servem de background, necessários para o desenvolvimento do projeto, nomeadamente, o conceito de *bike-sharing* e a sua evolução, o conceito de dispositivos *Wearable* e alguns exemplos que existem tendo como finalidade a recolha do comportamento corporal, os métodos que existem para cálculo do consumo de calorias usando dispositivos *Wearable* e as soluções disponíveis para mapeamento de rotas.

No capítulo 3 encontra-se a descrição da arquitetura do sistema desenvolvido.

No capítulo 4 são apresentadas as tecnologias usadas e descrita a implementação do projeto com base nessas tecnologias.

No capítulo 5 é colocado o sistema em situação de teste, criando três perfis de pessoas com o objetivo de obter o seu trajeto em três diferentes situações, colocando-as em três diferentes rotas.

No capítulo 6 encontram-se as principais conclusões retiradas com o desenvolvimento do projeto e algumas referências para trabalho futuro dada a continuidade do projeto.

## Introdução

## Capítulo 2

# Trabalho Relacionado

Neste capítulo, são descritos conceitos que servem de suporte, necessários ao desenvolvimento do projeto. Foi feita uma divisão em seis subcapítulos, onde primeiramente se descreve o conceito de *bike-sharing*, de que forma evoluiu até aos dias de hoje e quais as suas tendências. Descreve-se o conceito de dispositivos *Wearable* e são mostrados alguns exemplos de dispositivos que existem com a finalidade de recolha do comportamento corporal mais orientados ao ciclismo. São mostradas algumas aplicações e projetos com características semelhantes às do projeto que se desenvolveu. Apresentam-se métodos usados para mapeamento de rotas e estimativa de dispêndio de energia. Finalmente, é feito um resumo e são retiradas algumas conclusões que se pode retirar deste capítulo.

### 2.1 *Bike-sharing*

O *bike-sharing* ou os programas de bicicletas públicas, têm recebido uma enorme atenção com o passar dos anos devido ao aumento do uso de bicicletas, tentando conectá-las com outras redes de transportes, diminuindo os impactos ambientais dos transportes motorizados. O conceito surgiu por volta dos anos 60, em que o *bike-sharing* teve um crescimento lento até se desenvolverem melhores métodos de troca de bicicletas. Desse desenvolvimento nasceram os programas de *bike-sharing* que tiveram uma rápida expansão através da Europa e noutros continentes. [DeM09]

#### **História do *Bike-sharing***

Com o passar dos anos pode-se apontar quatro gerações de sistemas de *bike-sharing*. A primeira geração começou em 1965, em Amesterdão (Holanda) com a “*Witte Fietsen*” ou tradução Bicicletas Brancas. Eram bicicletas simples, pintadas de branco e providenciadas ao uso público. O sistema funcionava mais ou menos ao gosto do utilizador, que procurava uma bicicleta, percorria o caminho que pretendia e deixava-a num posto para depois ser usada por outro utilizador. O

## Trabalho Relacionado

programa colapsou devido ao uso inapropriado das bicicletas ou dos canais que eram destinados para elas.

Assim, em 1991 surge a segunda geração, nascida na Dinamarca. Estes programas eram marcados ainda, por pequenas estações e só em 1995 é que surgiu a primeira grande estação de bicicletas, em Copenhaga, chamadas as “*Bycyklen*” ou Bicicletas da Cidade. As bicicletas de Copenhaga trouxeram vários melhoramentos em relação às anteriores, desenhadas para utilizadores intensos, com placas de informação, localização específica das estações, funcionando como um sistema de aluguer com depósito de moedas. No entanto, as bicicletas continuavam a ser roubadas e desta feita nasceu uma nova geração de programas de *bike-sharing*, que melhorou as viagens dos clientes.

A terceira geração surge em 1996, com a “*Bikeabout*”, na Universidade de Portsmouth (Inglaterra), onde maioritariamente estudantes desbloqueavam a bicicleta com um cartão magnético para poder alugá-la. Isto levou a uma variedade de melhoramentos tecnológicos, incluindo bloqueio eletrónico, acesso com telemóveis e computadores de bordo. Desde então, houve vários grandes programas que foram criados ao longo do tempo, como “*Veló à la Carte*” em Rennes (França) ou “*Call a Bike*” em Munique (Alemanha). Os maiores programas de *bike-sharing* encontram-se em Paris (França), com o “*Vélib*” que conta com cerca de 23600 bicicletas em toda a cidade e subúrbios (dados de 2009). Fora da Europa, começou-se a espalhar este conceito de programas de partilha de bicicleta por volta de 2008, em países como o Brasil, China, Chile, Nova Zelândia, Coreia do Sul, Taiwan e Estados Unidos da América. Em 2009, contou-se já com 120 programas de *bike-sharing* por todo o mundo, estando este número a aumentar cada vez mais [DeM09]. Também Portugal integrou estes sistemas, querendo que se conhecesse o país e se fomentasse o uso deste veículo para tal. Existem vários programas de partilha da bicicletas para esses fins, de entre eles destacam-se os mais conhecidos como as “*BICas*” em Cascais, que conta com cerca de 20 bicicletas por posto, distribuídas ao longo da cidade [PT14], e as “*Bugas*” em Aveiro, que iniciou com 200 bicicletas, distribuídas também por estações de estacionamento construídas para o efeito [Reg05].

A quarta e quinta geração dos sistema de *bike-sharing*, que corresponde à atualidade e futuro, passa por diversos melhoramentos. Nomeadamente, na distribuição das bicicletas, podendo ser resolvido com algoritmos de distribuição ou motivação dos utilizadores para mover as bicicletas para áreas que haja um maior fluxo de pedidos de utilização e para áreas com menor número de bicicletas. Melhoramentos na facilidade de instalação, como a instalação dos parques é custoso em termos de tempo e dinheiro, devido a fatores como remoção do asfalto, que pode ser resolvido com utilização de menos material e material resistente, aproveitando as características que rodeia a estação. Otimização das rotas a efetuar, podendo intervir-se para recolher os locais favoritos e fornecer dados aos utilizadores sobre o consumo de energia durante a rota. Melhoramentos na assistência ao pedalar, especialmente quando o utilizador tem menor capacidade física para efetuar um percurso com um declive elevado. Entre outros melhoramentos que podem ser abordados como melhoramentos tecnológicos, eficiência, sustentabilidade e usabilidade dos sistemas e melhoramento nos modelos de negócio. [DeM09]

## 2.2 Sensores e Dispositivos *Wearable*

Durante muito tempo, o método utilizado para comunicar com uma máquina foi feita na sua maioria através de um rato e de um teclado. Aquilo que os investigadores foram reparando é que este tipo de comunicação não era intuitiva e natural para o utilizador, apesar de o ser humano ter uma grande capacidade de adaptação, também devido à evolução desses meios.

As novas propostas de interface com o utilizador estão orientadas para que o ser humano estabeleça uma comunicação de forma natural, sem contar com o esforço de aprendizagem de uma nova tecnologia. Assim surge o conceito de *Wearable Computing*, onde se integra o conceito de interação Homem-Máquina.

Fala-se de *Wearable Computing* para se referir a um computador que está integrado no espaço pessoal do utilizador, controlado pelo utilizador e em constante interação, procurando, antes de mais, ser ergonómica e completamente adaptada ao seu corpo. [Fle]

Existe um leque alargado de dispositivos em que o interesse é a monitorização dos dados enquanto se pratica ciclismo. Esses dispositivos aparecem sob forma de capacetes de medição de frequência cardíaca e guiadores inteligentes. Aparecem ainda sob forma de bandas de *fitness* para monitorizar outros dados ou em forma de relógios desportivos que apoiam a atividade de monitorização também na medição de frequência cardíaca, calorias gastas durante o treino, controlo das horas de sono, e outras métricas importantes.

De seguida, apresentam-se alguns exemplos de dispositivos *Wearable*, especialmente construídos para monitorizar dados durante a prática de ciclismo.

**LifeBeam Smart Heart Rate Helmet**<sup>1</sup> permite monitorizar a frequência cardíaca na prática do ciclismo, sem o uso de uma tira no peito e . Contem um sensor que deteta os leves contactos da pele da cabeça com o capacete de modo a detetar mudanças no fluxo sanguíneo. A unidade de processamento encontra-se na parte de trás do capacete que interpreta os dados e envia-os via *Bluetooth* para o *smartphone*. Não é possível obter uma biblioteca para acesso a dados do dispositivo, apesar de existirem várias aplicações que seja possível a conexão.

---

<sup>1</sup>LifeBeam Smart Heart Rate Helmet - <http://www.life-beam.com/product/lifebeam-smart-helmet-row/>

## Trabalho Relacionado



Figura 2.1: LifeBeam Smart Heart Rate Helmet

**Helios Smart Handlebars**<sup>2</sup>, pode transformar uma bicicleta numa bicicleta inteligente. Nas barras apresenta um farol dianteiro, um dispositivo GPS e LEDs nas pontas do guidador. O sinal dos LEDs usa o espectro ROYGBIV para comunicar a velocidade que se está a alcançar no momento. Este dispositivo é capaz de comunicar via *Bluetooth* e permite comunicar com o *smartphone*. Não é possível obter uma API para desenvolvimento de uma aplicação recebendo os dados que o dispositivo pode captar.



Figura 2.2: Helios Smart Handlebars

**Amiigo**<sup>3</sup> é composto por um clip para o sapato e um bracelete que é capaz de automaticamente monitorizar dados no uso da bicicleta, tais como duração do percurso, velocidade, repetições, intensidade das atividades físicas que pode reconhecer. É capaz de reconhecer outras atividades

<sup>2</sup>Helios Smart Handlebars - <http://www.ridehelios.com/>

<sup>3</sup>Amiigo - <https://amiigo.com/>

## Trabalho Relacionado

e capturar a frequência cardíaca, o nível de oxigênio no sangue, temperatura corporal, horário de sono, calorias queimadas, entre outros. Permite também sincronização via *Bluetooth Low Energy* e contém uma biblioteca aberta aos programadores.



Figura 2.3: Amiigo Fitness Bracelet

**Moov Fitness Band and Coach**<sup>4</sup>, é uma pulseira aplicável no tornozelo e que permite a análise da condição física que capture a amplitude do movimento, a eficiência da pedala, a cadência, velocidade, distância percorrida, calorias queimadas e fornece um *feedback* em tempo real sobre estas métricas. No entanto, não funciona sem um *smartphone* e dados como a distância percorrida, a velocidade, são recolhidos via GPS embebido no dispositivo móvel. No caso de se usar 2 dispositivos Moov, um em cada tornozelo, é possível retirar os dados de cada perna. Para enviar os dados para o dispositivos móvel usando a via *Bluetooth Low Energy*. Recentemente, os criadores do dispositivo lançaram uma biblioteca aberta aos programadores



Figura 2.4: Equipamento Moov

## 2.3 Aplicações e Projetos Relacionados

O aumento de utilizadores de bicicletas foi promovido também pela disponibilidade de dispositivos de *fitness*, recetores de GPS, *smartphones* para traçar as viagens de bicicleta e calcular

---

<sup>4</sup>Moov - <http://preorder.moov.cc/>

## Trabalho Relacionado

o seu desempenho, assim como as calorias gastas durante o trajeto a realizar. Há o particular interesse em aplicações que usem GPS para traçar rotas e visualizar o tempo que dispensou para a completar e comparar esforços. [ZCCT]

Apresenta-se, seguidamente, uma lista de aplicações e projetos relacionados com o projeto que se desenvolveu.

**GreenBicycling** é uma aplicação desenvolvida para sistemas de *bike-sharing* focada em dois aspetos principais. Um deles é fornecer uma interface *user-friendly* aos utilizadores de modo a que consiga prever o número de bicicletas em qualquer estacionamento para alugar as bicicletas, assim como prever as suas tendências à chegada das bicicletas. Outro aspeto importante, é a medição quantitativa de calorias gastas durante a viagem, ajudando os utilizadores a acompanhar o seu desempenho ao nível da atividade física. [ZCT<sup>+</sup>]

**BikeNet** é um sistema distribuído, que tem como principais características a medição da performance do ciclista, fundindo diversos sensores físicos, recolhe e guarda informação sobre as métricas básicas do ciclista como: velocidade atual, velocidade média, distância percorrida, calorias gastas, frequência cardíaca, inclinação do terreno, entre outros. Outra característica importante é o mapeamento tendo em consideração o meio ambiente, fornecendo a orientação quantitativa aos ciclistas sobre a salubridade de uma determinada rota em termos de poluição, níveis de compostos que possam causar alergias, ruído e rugosidade do terreno. Um outro objetivo importante para o sistema é o compromisso de garantir uma melhor experiência na hora de realizar um passeio na bicicleta. [EML<sup>+</sup>]

**Biketastic** foi desenhado para enriquecer a experiência de uso da bicicleta e baseada no processo de partilha dos passeios a uma comunidade alargada. Requer que os utilizadores forneçam aspetos do terreno, recorrendo a sensores como o acelerómetro embebido no *smartphone*. Assim é possível obter informações sobre a rugosidade do terreno e nível de ruído usando o microfone. Este projeto tenta essencialmente refinar a informação básica sobre a rota, fazendo-o mais compreensível e eficiente de visualizar as alterações do terreno. [RSD<sup>+</sup>]

**Wahoo Fitness**<sup>5</sup>, esta é uma aplicação tanto para corrida, como para ciclismo e fitness. Com a aplicação é possível recorrer à combinação do dispositivo móvel com sensores *Wearable* da WahooFitness, desenvolvidos e comercializados pela própria companhia, sensores esses que acompanham a frequência cardíaca, velocidade, cadência para o caso do ciclismo e os dados de potência.

---

<sup>5</sup>Wahoo Fitness - <http://eu.wahoofitness.com/>

## Trabalho Relacionado



Figura 2.5: Exemplo de utilização do Wahoo Fitness

**Cyclemeter**<sup>6</sup> Esta aplicação é considerada das mais completas para os ciclistas, isto porque é possível acompanhar todas as estatísticas e personalizar vários alertas, que permite saber exatamente onde se encontra o utilizador durante um passeio. Permite que se partilhe os seus treinos *online*, assim como agendar treinos, notificar os amigos da localização atual. O Cyclemeter também foi construído como assistente ao treino, para ajudar o utilizador a preparar-se para qualquer tipo de corrida.

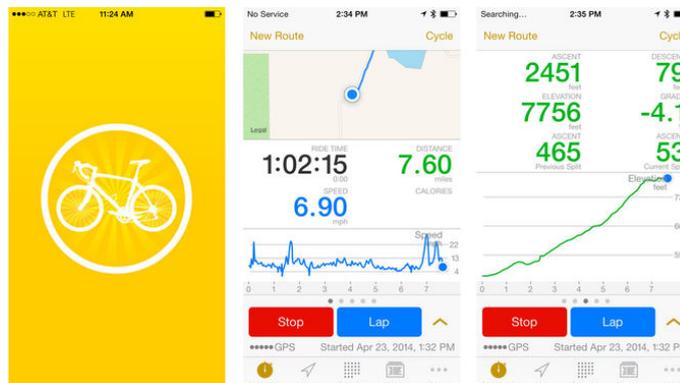


Figura 2.6: Exemplo de utilização do Cyclemeter

**MapMyRIDE Ciclismo**<sup>7</sup> do grupo de aplicações MapMyFitness [Map], é uma aplicação de controlo da atividade física. Esta aplicação permite usar o GPS embestado no *smartphone* e monitorizar as atividades de condição física. Tal como o Cyclemeter permite guardar os detalhes do treino como a duração, distância percorrida, velocidade, calorias queimadas, incorpora também um mapa interativo. Esta aplicação está melhor equipada para monitorização, mas não disponibiliza apenas os trajetos a efetuar, mas também disponibiliza dicas sobre nutrição, peso ideal, entre outros. Tem a capacidade de funcionar com qualquer sensor *Bluetooth*.

<sup>6</sup>Cyclemeter - <http://abvio.com/cyclemeter/>

<sup>7</sup>MapMyRide - <http://www.mapmyride.com/>

## Trabalho Relacionado

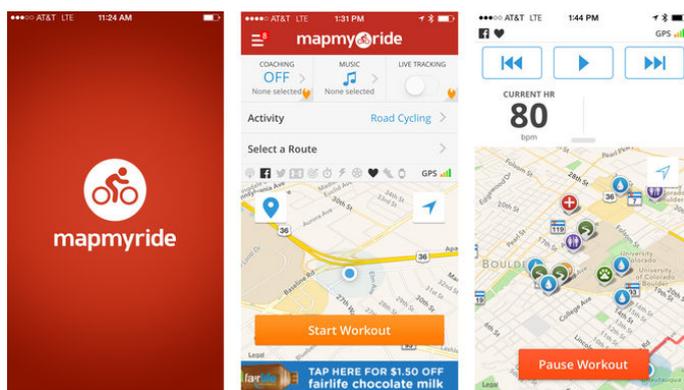


Figura 2.7: Exemplo de utilização do MapMyRIDE

Existem ainda centenas de aplicações para saúde e melhoramento de condição física. Estas aplicações fazem uso de dispositivos como GPS, acelerómetro para detetar os movimentos do utilizador. No geral, estas aplicações são inteligentes o suficiente para permitir traçar uma rota, controlar a música durante um atividade física, utilizar *geo-tag* nas fotografias ao longo do caminho e partilhar a performance das métricas com os amigos nas redes sociais. [GJ]

Na Tabela 2.1, é apresentada uma breve comparação de todas as aplicações descritas.

## 2.4 Soluções para Roteamento e Mapeamento

Usufruir da bicicleta, significa utilização de um meio de locomoção amigável tanto para o ambiente como para o exercício. Tal como qualquer outro tipo de meio de transporte, o objetivo da sua existência é capacidade que este permite aos utilizadores de mudar de um lugar para outro. O que mais influencia o caminho que se faz para chegar ao nosso destino é a qualidade dessa mesma rota, caracterizada por aspetos como a segurança, a eficiência ou o divertimento. Uma rota pouco segura pode ser vista como as ruas congestionadas e para evitar isso pode optar se por estradas estáveis e com pouco trânsito. Uma rota eficiente pode-se entender como a rota mais rápida entre dois pontos. Ou uma rota que traga mais entretenimento pode-se considerar aquela que passe por um maior número de pontos de interesse.

Existem vários serviços que suportam as necessidades dos ciclistas quanto ao planeamento da sua rota e análise de métricas produzidas durante o ciclismo. Esses serviços podem ser divididos em três tipos principais, que são *Logging*, *GeoWikis* e serviços de roteamento. [RSD<sup>+</sup>] Estes tipos de serviço são apresentados seguidamente.

### 2.4.1 *Logging*

Para as aplicações que utilizam este tipo de serviço, o objetivo principal centra-se na partilha de experiências entre pessoas numa comunidade. Permite aos utilizadores partilhar os detalhes do seu passeio para um *website* para visualização e análise dos dados. Normalmente, este serviço suporta

## Trabalho Relacionado

Aplicação	Informação	Sensores	Wearables	Mapa	Partilha
GreenBicycling	velocidade calorias distância	sim	não	sim	sim
BikeNet	velocidade atual velocidade média distancia calorias heart rate	sim	sim	sim	sim
Biketastic	rugosidade do piso calorias velocidade distância	sim	sim	sim	sim
Whahoo Fitness	frequência cardíaca velocidade cadência distância calorias	sim	sim produtos da marca	sim	sim
Cyclemeter	duração velocidade distância cadência potência frequência cardíaca calorias	sim	não especificado	sim	sim
MapMyRIDE	duração velocidade distância calorias	sim	não especificado	sim	sim

Tabela 2.1: Tabela comparativa das aplicações.

uma variedade de mecanismos para partilhar os dados dos dispositivos GPS e aplicações para dispositivos móveis. Uma vez que os dados são importados, são calculadas as estatísticas dessa experiência incluindo, calorias gastas, ritmo médio e velocidade. A maioria dessas aplicações têm históricos que acumulam as estatísticas providenciadas pelo serviço e promovem um conjunto de objetivos em termos de exercício físico. As aplicações que podem ser bons exemplos de utilização desse serviço é o Biketastic, BikeNet e o MapMyRide, que foram descritos no Capítulo 2.3.

### 2.4.2 GeoWikis

São projetos desenvolvidos maioritariamente por *crowdsourcing*, cujo o objetivo é enriquecer a informação disponível em mapas colaborativos. Geralmente, o *GeoWiki* serve de camada de visualização que redesenha o aspeto do mapa como o OpenStreetMap<sup>8</sup>. Normalmente, para ciclistas este serviço fornece várias informações como por exemplo, as condições da rua ou pontos

<sup>8</sup>OpenStreetMap - <http://www.openstreetmap.org/>

de interesse como, hospitais, postos da policia, comércios e parques de estacionamento ou parques recreativos.

Os melhores exemplos de *Geowikis* para ciclistas são o OpenCycleMap e o Cyclopath.

**OpenCycleMap**<sup>9</sup> é um *GeoWiki* para ciclistas baseado na informação proveniente do OpenStreetMap. Numa aproximação baixa do mapa consegue-se visualizar a rede nacional de ciclistas, mas numa maior aproximação do mapa o propósito é auxiliar os ciclistas a encontrar o caminho ótimo de um ponto inicial até ao destino, mostrando os pontos de interesse e parques de estacionamento para bicicletas.

**Cyclopath**<sup>10</sup> é um *GeoWiki* também para ciclistas, com o objetivo principal de partilhar informação entre ciclistas. Também tem disponível uma aplicação Android que pode ser usada durante o exercício ou durante um passeio, enquanto se está na bicicleta. A aplicação fornece principalmente as rotas cicláveis com base na distância ou no esforço produzido e grava as rotas usando o GPS o exercício.

### 2.4.3 Serviços de Roteamento

As ferramentas de roteamento são serviços que estimam a melhor rota a tomar dando um ponto inicial e o destino, tendo em atenção métricas que avaliam as condições do caminho. As métricas mais comuns utilizadas por estes serviços são as rotas mais curtas e mais rápidas entre dois pontos. O exemplo mais claro de uma aplicação que usufrui deste serviço é o GoogleMaps. No entanto, o OpenStreetMap também fornece serviços de roteamento.

**GoogleMaps**<sup>11</sup> é um serviço geral de mapas que também suporta mapas com vias cicláveis, no entanto, apenas contém informações das vias cicláveis nas cidades Norte Americanas. Permite aos utilizadores escolher se um ciclista pretende mover-se fora das autoestradas e portagens, fornecendo o caminho mais curto entre dois pontos do mapa.

## 2.5 Soluções para Estimativa do Gasto de Calorias

Há uma grande tendência para usar o ciclismo, com a finalidade de melhorar a forma física, principalmente na componente cardiovascular, resistência e força. O que se pode verificar é que sempre que se faz qualquer tipo de exercício, uma das métrica com maior interesse é o consumo de calorias numa determinada atividade física. A aproximação mais simples de obter as calorias gastas durante um percurso de bicicleta, é adaptar um medidor de potência que converte a potência dada à bicicleta para esta avançar (potência de pedalar) e converter essa força em calorias gastas. [ZCCT]

Existem ainda vários modelos de estimativa de dispêndio de calorias que foram desenvolvidos e são seguidamente descritos.

---

<sup>9</sup>OpenCycleMap - <http://www.opencyclemap.org/>.

<sup>10</sup>Cyclopath - <http://cyclopath.org/>

<sup>11</sup>GoogleMaps - <https://www.google.pt/maps/>

### 2.5.1 Pesquisa em Tabelas Padronizadas

Muitas instituições de desporto e saúde proporcionam tabelas com o gasto de calorias, que possibilita aos ciclistas estimar as calorias que gastaram após o exercício da sua atividade física. A Tabela 2.2 é construída com base na velocidade média, duração do exercício e peso corporal do ciclista.

	125 pound person	155 pound person	185 pound person
Physical Activity			
Bicycling: 12-13.9 mph	240	298	355
Bicycling: 14-15.9 mph	300	372	444
Bicycling: 16-19 mph	360	446	533
Bicycling: >20 mph	495	614	733

Tabela 2.2: Calorias queimadas por 30 minutos usando a bicicleta.

Segundo a Tabela 2.2, foi criada para se fazer uma interpolação linear do dispêndio de calorias, de acordo com o peso e atividade física do utilizador. A tabela foi retirada de “Harvard Health Publications” [Pub] e apenas são mostrados os dados relativos ao ciclismo. No entanto, existem outras tabelas padronizadas, em que a única diferença consta nos valores testados [oHS]. Este método, é utilizado por várias aplicações para *smartphone* de desporto e saúde, como por exemplo, o MapMyRIDE descrito no Capítulo 2.3. No geral, esta e outras aplicações, monitorizam o deslocamento do ciclista através do recetor GPS durante o percurso ou estimam o gasto de calorias inserindo manualmente a distância e a velocidade, depois do percurso que o utilizador efetuou. Este método tem tanto de complexo como de fiável, peca mais precisamente em situações em que o terreno tem elevações e o cálculo das calorias queimadas é subestimado ou, no caso do *downhill* em que há muitas descidas e o percurso é feito a uma velocidade elevada, o método exagera o cálculo das calorias queimadas.

### 2.5.2 Recolha de dados de Cadência e Velocidade

A recolha dos dados de cadência e velocidade, é ainda outro método de estimativa do dispêndio de calorias durante o ciclismo. Para medir a cadência, este método usa um sensor de cadência, que é a velocidade da pedalada medida em rotações por minuto (RPM). Para tal, alguns sensores são comercializados e podem comunicar via *Bluetooth* ou *ANT+ radios*. A aplicação Wahoo Fitness, mencionada no Capítulo 2.3, serve-se de um método semelhante para medir a cadência e a velocidade, usando também um sensor composto por dois dispositivos que conectam com a aplicação por *Bluetooth Low Energy*, pelo que um dos dispositivos é colocado no quadro da bicicleta e outro no pedal.

Segundo a Equação 2.1 baseada em [AH], fornecendo uma velocidade  $V$  e uma cadência  $S$ , o consumo de oxigénio  $VO_2$  em litros por minuto (l/min) é dado por:

$$VO_2 = 0,00494(0,261V^3) + 0,671mV)^{0,5899}S^{0,168} \quad (2.1)$$

## Trabalho Relacionado

Então, o modelo estima o consumo de oxigênio em função da velocidade relativa da bicicleta em quilômetros por hora (km/h) e a massa  $m$  combinada com a massa do ciclista e da bicicleta em quilogramas (kg). Sabendo que por cada litro de oxigênio se consumido, são queimadas aproximadamente 5 quilocalorias (kcal), para se saber as calorias queimadas, basta multiplicar o valor de  $VO_2$  pelo fator de 5.

Comparado com o método de Pesquisa em Tabelas Padronizadas, o método de estimativa de calorias gastas usando a recolha da dados de velocidade e cadência permite também contar as calorias quando o ciclista não está a pedalar, em que assim permite reduzir a estimativa em excesso das calorias queimadas durante uma descida. Por outro lado, este método tende a subestimar o gasto de calorias perante um terreno inclinado quando a frequência da pedalada e a velocidade da bicicleta é baixa.

### 2.5.3 Monitorização da Frequência Cardíaca

Os medidores de frequência cardíaca, normalmente aparecem sob forma de uma fita elástica que se coloca à volta do peito, este é o método mais popular e preciso de estimar as calorias queimadas durante um exercício físico. O que diferencia este modelo, é a possibilidade de obter os dados de frequência cardíaca e estimar as calorias gastas enquanto o ciclista executa o exercício, mas é ajustado segundo fatores como idade, género, massa corporal e o nível de condição física [KGN<sup>+</sup>]. Para além destes fatores de que depende o método, depende também e principalmente da frequência cardíaca e do consumo máximo de oxigênio  $VO_{2max}$ . Este último parâmetro é uma boa métrica para medir a condição aeróbica. Para medir  $VO_{2max}$  o ciclista necessita de executar um teste de *Cooper* ou um teste de performance, em que se pretende que durante o teste é necessário fazer o máximo de esforço possível durante um determinado período. Então  $VO_{2max}$  é estimado através de:

$$VO_{2max} = (d - 504.9)/44.73 \quad (2.2)$$

onde  $d$  é considerada a distância percorrida em metros (m).

As Tabelas 2.3 e 2.4 apresentadas a seguir, estão categorizadas as pontuações de  $VO_{2max}$  para adultos do sexo masculino e feminino para as várias idades.

Estas tabelas foram adaptas de [Top]. Para determinar as calorias gastas são usadas as Equações 2.3 e 2.4 que estão representadas a seguir [KGN<sup>+</sup>]:

$$C(homem) = \frac{[-95.7735 + (0.271 \times a) + (0.394 \times w) + (0.404 \times VO_{2max}) + (0.634 \times hr)] \times t}{4.184} \quad (2.3)$$

$$C(mulher) = \frac{[-59.3954 + (0.274 \times a) + (0.103 \times w) + (0.380 \times VO_{2max}) + (0.450 \times hr)] \times t}{4.184} \quad (2.4)$$

## Trabalho Relacionado

Rating	Ages (years)					
	18-25	26-35	36-45	46-55	56-65	65+
Exceclent	>60	>56	>51	>45	>41	>37
Good	52-60	49-56	43-51	39-45	36-41	33-37
Above Average	47-51	43-48	39-42	36-38	32-35	29-32
Average	42-46	40-42	35-38	32-35	30-31	26-28
Below Average	37-41	35-39	31-34	29-31	26-29	22-25
Poor	30-36	30-34	26-30	25-28	22-25	20-21
Very Poor	<30	<30	<26	<25	<22	<20

Tabela 2.3: Consumo máximo de oxigénio ( $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ ) . Normas para o sexo masculino.

Rating	Ages (years)					
	18-25	26-35	36-45	46-55	56-65	65+
Exceclent	>56	>52	>45	>40	>37	>32
Good	47-56	45-52	38-45	34-40	32-37	28-32
Above Average	42-46	39-44	34-37	31-33	28-31	25-27
Average	38-41	35-38	31-33	28-30	25-27	22-24
Below Average	33-37	31-34	27-30	25-27	22-24	19-21
Poor	28-32	26-30	22-26	20-24	18-21	17-18
Very Poor	<28	<26	<22	<20	<18	<17

Tabela 2.4: Consumo máximo de oxigénio ( $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ ) . Normas para sexo feminino.

Onde os parâmetros  $a$  corresponde à idade,  $w$  corresponde ao peso,  $VO_{2max}$  corresponde ao consumo máximo de oxigénio,  $hr$  corresponde à frequência cardíaca medida em BPM e  $t$  corresponde ao tempo gasto em atividade física.

A aproximação feita pelo medidor de frequência cardíaca permite aos ciclistas fazer uma contagem do dispêndio de calorías com maior credibilidade nos resultados e a um preço mais satisfatório. A desvantagem reside, no facto do uso de uma cinta no peito pode tornar se desconfortável. Outros tipos populares de medidores de frequência cardíaca requererem as duas mãos para tocar no dispositivo, impraticável e desconfortável para andar de bicicleta ao ar livre. No entanto, como já foi referido no Capítulo 2.2, existem hoje em dia outras formas de recolher a frequência cardíaca, como braceletes, capacetes ou *Wearables* que podem medir o eletrocardiograma, como o BITalino<sup>12</sup> ou VitalJacket<sup>13</sup>.

### 2.5.4 Medição de Potência

Os métodos de medição de frequência cardíaca estimam as calorías gastas durante o exercício físico, medindo diretamente as mudanças na fisiologia do ciclista. O método de medição de potência, por outro lado, aproveita a vantagem da quantidade de calorías queimadas ser linearmente relacionada com a quantidade total de trabalho que é necessário para mover a massa da massa do ciclista mais a massa da bicicleta.

<sup>12</sup>BITalino - <http://www.bitalino.com/>

<sup>13</sup>VitalJacket - <http://www.biodevices.pt/>

## Trabalho Relacionado

Descrevendo um pouco o funcionamento do modelo, segundo as leis da Mecânica, a potência  $P$  que um ciclista necessita de produzir para manter uma velocidade de deslocamento constante  $V_g$ , é igual a:

$$P = FV_g \quad (2.5)$$

em que  $F$  é a força gerada pelo ciclista, ao longo da direção do movimento. [Pra]

Baseado na Primeira Lei de Newton e a Terceira Lei do Movimento,  $F$  é igual ao total da resistência que depende de três valores:

$$F = F_r + F_g + F_a \quad (2.6)$$

onde  $F_r$  é a resistência do rolamento da bicicleta,  $F_g$  é o componente da gravidade ao longo da direção do movimento e  $F_a$  é a força da resistência da aerodinâmica. Essas forças são o resultado de:

$$F_r = mgC_r \quad (2.7)$$

$$F_g = mgs \quad (2.8)$$

$$F_a = \rho(T)C_aV_a^2 \quad (2.9)$$

Analisando cada uma das equações a equação 2.7 a força  $F_r$  é o produto combinado da massa do ciclista com a bicicleta  $m$ , a aceleração  $g$  que é a força da gravidade e  $C_r$  correspondente ao coeficiente de resistência ao rolamento dos pneus, rolamento, corrente e outros. A equação 2.8 representa a componente gravitacional da força durante a direção do movimento. O declive é dado pela variação da altitude dividida pela variação da distância, que pode ser representado por:  $\Delta h/\Delta d$ . A equação 2.9 é força da resistência da aerodinâmica  $F_a$  relativa à área frontal através da forma da bicicleta, do ciclista, da densidade e velocidade do ar, em que  $\rho(T)$  é a temperatura da densidade do ar,  $C_a$  é a constante de resistência da aerodinâmica e  $V_a$  é a velocidade produzida do ciclista com a resistência ou favorecimento da velocidade do vento.

Substituindo  $F$  na equação 2.5 com o resultado das equações 2.6, 2.7, 2.8, 2.9 fica-se com o seguinte resultado:

$$P = (mg \times (C_r + s) + \rho(T) \times C_aV_a^2) \times V_g \quad (2.10)$$

É possível estimar o número de calorias gastas por segundo, multiplicando  $P$  por eficiência mecânica do corpo humano enquanto pratica ciclismo. Essa eficiência pode ser consultada nas tabelas colocadas em Anexo A [Pra]. Estimar  $P$  requer medir o declive  $s$  da estrada com precisão e contando as variações das bicicletas e ciclistas, que se fazem denotar nas constantes  $C_a$  e  $C_r$ . [ZCCT]

## 2.6 Resumo e Conclusões

Os sistemas de *bike-sharing* têm recebido uma especial atenção, com o passar dos anos, tentando que a interação com os utilizadores seja cada vez mais segura e eficaz. O futuro dos programas de *bike-sharing* passa pelos melhoramentos tecnológicos e usabilidade, métodos de distribuição e instalação de estações, mesmo modelos de negócio e formas de interagir com a bicicleta ou programas de partilha de bicicletas.

Quanto aos dispositivos *Wearable*, existindo um leque enorme e a sua evolução continuada, estes podem-se revelar um grande auxílio na hora de recolher informação, para facilitar as atividades dos utilizadores. Durante as atividades físicas, nota-se que é importante a monitorização de todo o comportamento do nosso corpo. Isto é relevante, porque quanto mais controlo, disciplina e foco se tem na atividade física que se executa, mais eficaz é o resultado.

Outro assunto abordado neste capítulo foi os métodos existentes de estimativa do dispêndio de calorias. No final da análise, é possível retirar que um cálculo de calorias é dependente de várias métricas: Idade, Género, Peso, Tempo de treino, tipo e intensidade de treino, e dados mais específicos, retirados em tempo real, recolhidos utilizando sensores externos, tal como a frequência cardíaca ou a cadência.

Nos métodos de mapeamento, é possível concluir que a função de custo numa otimização de rotas, deve refletir as várias dimensões que definem a qualidade da rota. O que determina a qualidade da rota são características como a segurança, a eficiência e o divertimento.

No presente projeto, o que se pretende fazer é aproveitar métodos de mapeamento e cálculo de calorias para obter uma rota ótima segundo as necessidades do utilizador.

## Trabalho Relacionado

## Capítulo 3

# SmartBikeEmotion: Especificação do projeto

Neste capítulo, está presente a arquitetura do sistema do SmartBikeEmotion. A solução desenvolvida envolve três fases distintas. A primeira fase corresponde ao desenvolvimento de um núcleo que permite criar o emparelhamento dos sensores externos com o *smartphone*. A segunda fase corresponde à definição de objetivos predefinidos para uma utilização da bicicleta e posteriormente a devolução da rota mais adequada a esse objetivo. A terceira fase corresponde ao desenvolvimento das interfaces e de casos de uso. Primeiramente, apresenta-se uma descrição do problema, descreve-se a arquitetura do sistema, são apresentados os casos de uso desenvolvidos e detalhadas as tecnologias usadas.

### 3.1 Descrição do problema

No contexto desta dissertação, surge a necessidade de resolver alguns dos problemas em que os sistemas de *bike-sharing* se confrontam nos dias de hoje, maioritariamente dificuldades com que o *BikeEmotion* se deparou e que sente a necessidade de resolver.

Tendo ao dispor os sensores embutidos nos *smartphones* e sensores *Wearable*, o sistema que de *bike-sharing* em que este sistema irá ser integrado, dispõe todos os sensores externos embutidos na bicicleta, o que significa que o utilizador não precisará de "vestir" um sensor ou colocá-los em qualquer parte do corpo, facilitando a interação do sistema com o utilizador. Assim pretende-se desenvolver uma aplicação móvel cujo o objetivo principal, seja viajar de um ponto para outro querendo saber qual a rota que melhor se adequa a um objetivo que o utilizador pretende para o passeio. Assim, pretende-se que a problemática da otimização de rotas seja resolvida, com a finalidade de proporcionar uma melhor experiência ao utilizador.

## 3.2 Arquitetura do Sistema

Para superar a problemática apontada anteriormente, o sistema foi dividido em três componentes: a *Framework* de emparelhamento de sensores, o serviço de roteamento e a interface com o utilizador. A arquitetura da solução implementada, está representada na Figura 3.1.

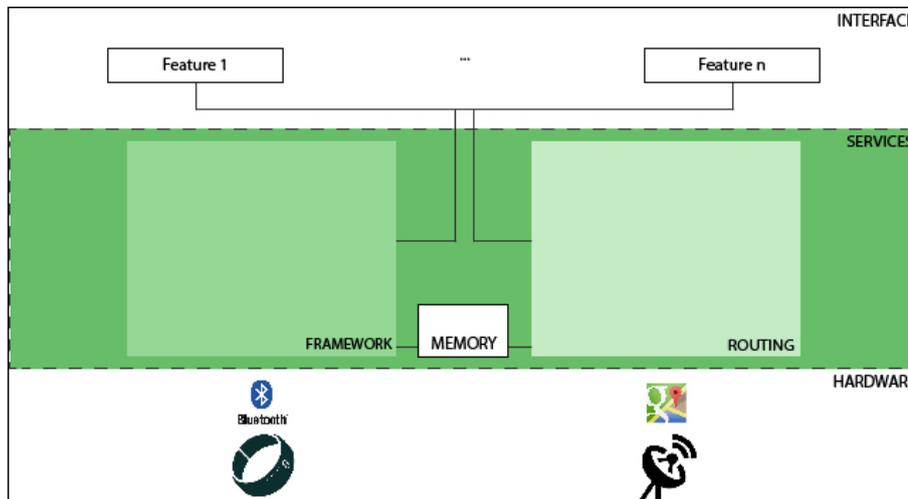


Figura 3.1: Arquitetura global da solução.

A *Framework* de emparelhamento de sensores foi criada para possibilitar a interação dos dispositivos externos com o dispositivo móvel. O serviço de roteamento é alimentado de duas formas, de um lado obtém as direções do servidor da API do Google Maps e do outro as características e dados do utilizador recolhidos pela *Framework*. A interface disponibiliza a informação de forma minimalista e compreensível ao utilizador para poder usufruir de uma experiência agradável durante seu passeio de bicicleta.

### 3.2.1 *Framework* de Sensores

Pretendendo-se obter um serviço independente para obter a informação sensorial do utilizador, em que é possível emparelhar vários sensores, foi criada uma *Framework*. A arquitetura está presente na Figura 3.2.

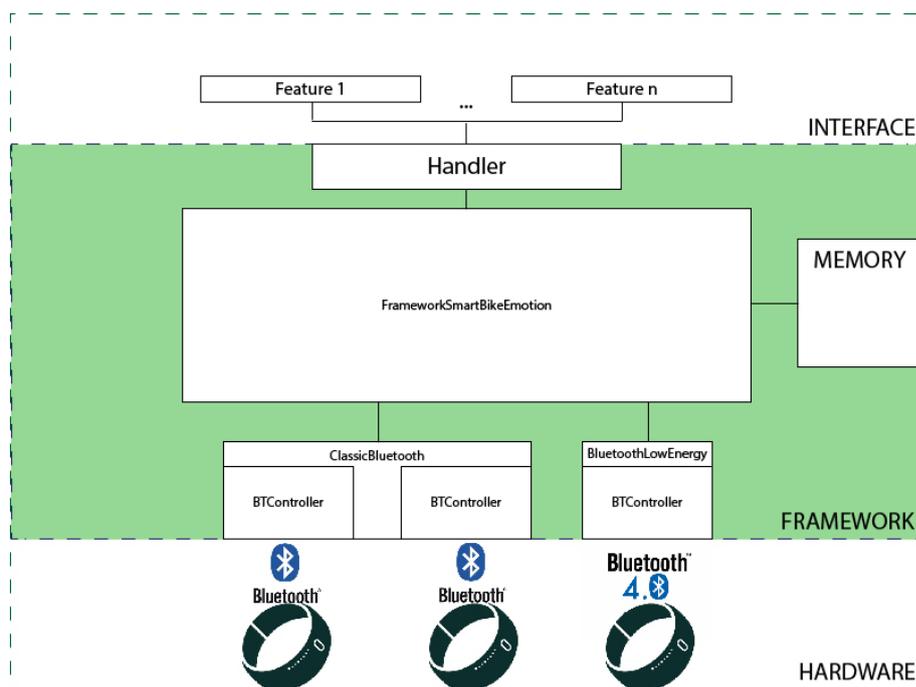


Figura 3.2: Arquitetura da framework de emparelhamento de sensores.

Esta *Framework* é implementada de forma muito genérica para possibilitar a implementação de novos sensores. É possível destacar três camadas na *Framework* utilizando uma abordagem *bottom-up*, observa-se uma camada mais próxima do dispositivo que vai implementar o protocolo de comunicação do *smartphone* com o sensor, essa comunicação é feita via Classic Bluetooth e Bluetooth Low Energy, havendo a necessidade de fazer a separação devido à diferença de interação dos protocolos. A camada seguinte é vista como o conjunto de ordens que o dispositivo pode receber para interagir com o utilizador. São destacadas as ordens de conexão e desconexão e mesmo ordens de início de leitura dos dados que os dispositivos podem fornecer. Finalmente, uma camada mais superior voltada para o utilizador, que corresponde ao fornecimento da informação recolhida ao utilizador através das várias funcionalidades.

### 3.2.2 Serviço de Roteamento

Quanto ao serviço de roteamento, pode ser visualizada a sua arquitetura na Figura 3.3.

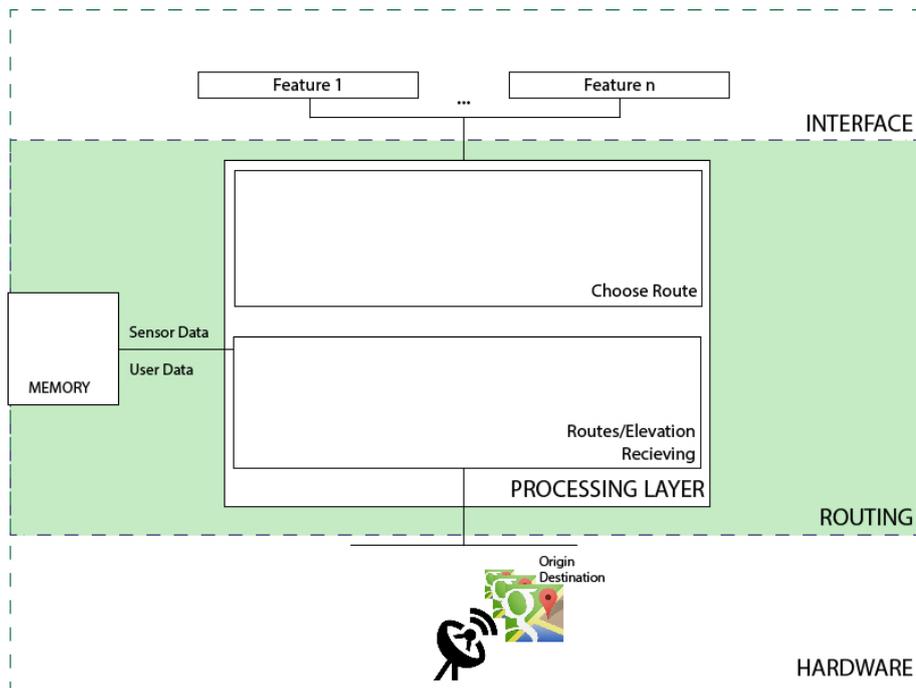


Figura 3.3: Arquitetura do módulo de cálculo das rotas.

Com este serviço pretende-se obter um conjunto de rotas alternativas desde um ponto inicial a um ponto final, bem como a variação da altitude durante o trajeto. As direções e a altitude é obtida através das API's disponíveis pela Google Maps. O serviço da Google Maps foi escolhido pelo facto de ter uma API bastante acessível e com uma documentação detalhada, mas também pela disponibilização de um serviço importante, designado por API Google Elevation responsável por fornecer a altitude do terreno. Uma vez que essas rotas e elevações são obtidas procede-se ao cálculo da exigência de cada uma das rotas. Assim que for processada a exigência da rota através do gasto de energia, é apresentado ao utilizador a rota que mais se adequa a ele e ao seu objetivo. Este aspeto é explicado com maior detalhe no Capítulo 4.2.2.

### 3.2.3 Caso de uso

O modelo de caso de uso ajuda a descrever os cenários em que o utilizador tem a possibilidade de interagir com o sistema. É mostrado seguidamente as funcionalidades que um utilizador pode realizar.

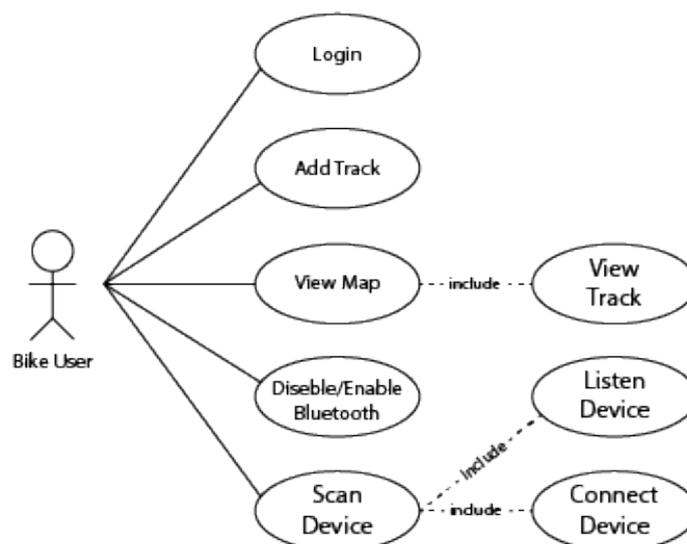


Figura 3.4: Modelo de casos de uso para utilizadores das bicicletas.

A aplicação SmartBikeEmotion está inserida num sistema de *bike-sharing*, com um conjunto de bicicletas para usufruto dos utilizadores e integra tarefas de gestão do sistema como bloqueio/desbloqueio da bicicleta, encontrar parques de estacionamento próximos da localização atual, entre outras funcionalidades. A integração com o sistema de *bike-sharing* não foi feita para esta dissertação, que foca apenas nos casos de uso mencionados no modelo da Figura 3.4. Portanto, estes casos de uso entram em prática no momento anterior ao utilizador inicia o seu passeio. O que significa que o serviço de roteamento em conjunto com a leitura dos dados vitais é feita em termos de estimativa. No Capítulo 4.3, está descrita a implementação das funcionalidades e apresentadas as suas interfaces.

### 3.3 Tecnologias usadas

Para resolver o problema, foi necessário recolher alguns dados importantes sobre o utilizador e sobre as rotas que este podia realizar.

Como já foi referido, uma métrica importante que é necessário conhecer sobre o utilizador durante uma atividade física é a frequência cardíaca, sendo necessário o uso de um dispositivo para fazer a sua recolha. O dispositivo usado foi o BITalino, uma placa onde é possível conectar vários sensores via *Bluetooth* e se pode consultar a sua descrição no Capítulo 3.3.1.

No caso do serviço de roteamento, optou-se pela utilização das API's gratuitas do Google Maps. Foram necessárias duas API's, API Google Directions<sup>1</sup> que é um serviço que calcula rotas entre locais e a API Google Elevation<sup>2</sup> que é um serviço que fornece dados sobre a elevação dos locais na superfície terrestre. Esses serviços estão descritos no Capítulo 3.3.2.

<sup>1</sup>Documentação Google Directions API - <https://developers.google.com/maps/documentation/directions/>

<sup>2</sup>Documentação Google Elevation API - <https://developers.google.com/maps/documentation/elevation/>

### 3.3.1 BITalino

A fim de recolher a reação do corpo, utilizou-se o **BITalino**, que se caracteriza como uma plataforma versátil para aquisição de biosinais. O BITalino é uma placa de *hardware* composta por um micro-controlador, um módulo de alimentação do sistema e controlo da carga da bateria e um módulo de transmissão de dados via *Bluetooth* na sua versão *Classic Bluetooth*.

A versão do BITalino usada na presente dissertação, foi o Plugged Kit<sup>3</sup> que prima, principalmente pela liberdade de escolha dos sensores que se pretende ligar e qual a arquitetura e combinação desses sensores.



Figura 3.5: BITalino Plugged Kit e os vários sensores.

Os sensores que estão disponíveis são, na sua maioria, para medição de sinais vitais. Nesse lote de sensores, está inserido um sensor de medição da atividade do coração (usando o conceito teórico da Eletrocardiografia (ECG)), um sensor de medição da atividade dos músculos (usando o conceito teórico da Eletromiografia (EMG)), um sensor de medição da atividade do sistema nervoso simpático (através do conceito da atividade Eletrodérmica ou (EDA)) e um medidor de movimento (com o conceito teórico da Acelerometria). Tem-se também disponível um sensor que indica a luz ambiente (LUX) e um LED que pode ser usado para dar *feedback* do comportamento da placa. [Gue]

---

<sup>3</sup>Plugged Kit - <http://www.bitalino.com/index.php/plugged-kit>



Figura 3.6: Sensores disponíveis do *kit*. Da esquerda para a direita de cima para baixo, EDA, LED, ECG, ACC, LUX e EMG.

Para a dissertação e dentro deste leque de sensores disponíveis, foi apenas utilizado o ECG, sendo necessário absorver o conceito teórico.

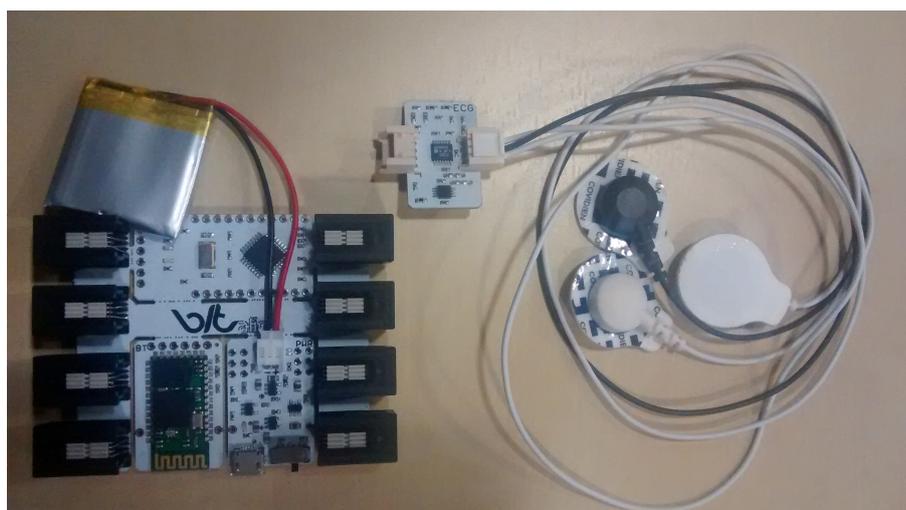


Figura 3.7: Sensor ECG conectado com os eléttodos e BITalino

### 3.3.1.1 Eletrocardiografia

Um eletrocardiograma é a captura da atividade elétrica do coração na forma de um gráfico durante um período de tempo. Essa captura é feita através de eléttodos colocados na superfície da pele, que detetam uma vibração e regista através de um dispositivo externo o comportamento do corpo. O gráfico por sua vez pode mostrar o batimento e o ritmo cardíaco. Pode também detetar a diminuição do fluxo sanguíneo ou presença de ataques cardíacos. Tem a vantagem de ser um teste não invasivo e versátil.

### 3.3.1.2 Aquisição do ECG

O ECG de rotina é composto por 12 derivações separadas (6 derivações dos membros e 6 derivações precordiais), sendo derivações eletrocardiográficas a união dos elétrodos que vão captando a atividade elétrica cardíaca. Para obtenção das derivações DI, DII e DIII (dos membros), colocam-se os elétrodos sobre ambos os braços e sobre a perna esquerda, formando assim um triângulo, denominado Triângulo de *Einthoven*, tal como está apresentado na Figura 3.8.

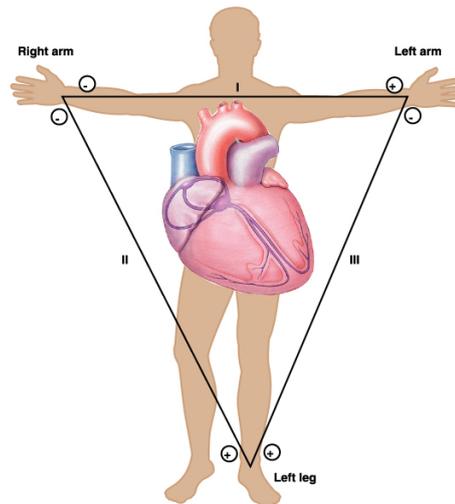


Figura 3.8: Triângulo de *Einthoven*

Estas derivações dizem-se bipolar, isto significa que o elétrodo positivo e o elétrodo negativo são colocados à mesma distância do coração. As derivações dos membros são adquiridas da seguinte forma:

$$DI = aVL - aVR \quad (3.1)$$

$$DII = aVF - aVR \quad (3.2)$$

$$DIII = aVF - aVL \quad (3.3)$$

As outras três derivações dos membros são unipolares aumentadas, entendidas como variações em que apenas um elétrodo (elétrodo positivo) faz o registo da atividade cardíaca, enquanto que o elétrodo negativo se encontra a uma grande distância do coração. Essas derivações são aVL, aVR e aVF. A derivação aVR utiliza o braço direito como ponto positivo e todos os outros como fio terra comum (ponto negativo). As outras duas variações obtêm-se de modo semelhante mas variando o ponto positivo, aVL tem o ponto positivo no braço esquerdo e aVF tem o ponto positivo no pé esquerdo.

As seis derivações apresentadas anteriormente, reúnem-se para formar seis linhas que se cruzam com precisão sobre o plano frontal do tórax. Cada derivação dos membros é registada com

um ângulo diferente, de modo que cada uma representa um registo diferente modificando-se ligeiramente quando se altera o ângulo de onde se testa a atividade.

As derivações precordiais ( $V_1$  a  $V_6$ ) encontram-se no tórax. Estas derivações projetam-se do nó AV em direção ao dorso que é ponto negativo de cada derivação torácica. As derivações  $V_1$  e  $V_2$  estão sobre o lado direito do coração, em vez de  $V_5$  e  $V_6$  que ficam sobre o lado esquerdo,  $V_3$  e  $V_4$  localizam-se sobre o peito no lado comum ao ventrículo direito e esquerdo.

O registo de  $V_1$  a  $V_6$  mostra uma mudança gradual em todas as ondas, por exemplo, normalmente o complexo QRS é negativo em  $V_1$  e positivo em  $V_6$ , isto significa que a onda de despolarização ventricular (representada pelo complexo QRS) está-se a deslocar em direção ao eletrodo positivo de  $V_6$ . [webb]

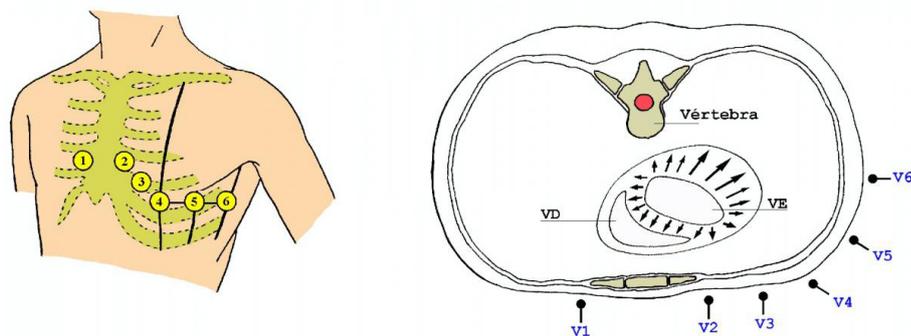


Figura 3.9: Plano Precordial

### 3.3.2 Serviço Google Maps

O Google Maps é um serviço de mapeamento que pode ser visualizado nos mais diversos dispositivos com uma interface simples e eficiente. Dependendo da localização, o utilizador pode ter uma vista básica ou personalizada e visualizar informações sobre empresas e locais, incluindo a sua localização, contactos e direções.

Na panóplia de funcionalidades destacam-se as seguintes:

1. Direções e rotas desde um ponto inicial até um destino em diferentes modos de viagem como de carro, a pé e de bicicleta, em que este último modo apenas está mais desenvolvidas nos EUA [weba].
2. Pesquisa de diferentes localizações, endereços, ruas e nomes geográficos.
3. Navegação à volta do mapa, aproximando e afastando o mapa numa localização.
4. Projeção 3D e visualização em modo *Street View*.
5. Fornece informação em termos de altitude numa localização.

O serviço disponibiliza imagens de alta resolução de locais visitados com maior frequência como cidades ou lugares famosos. Usa Javascript muito extensível e para transferência de dados pode disponibilizar objetos no formato JSON ou XML. [Kal]

O Google Maps dá a possibilidade de incluir mapas com todas as suas funcionalidades de navegação e manuseamento em *websites* e aplicações móveis, usando uma API aberta. Com o Google Maps Android API é possível adicionar mapas baseados no Google Maps. A API automaticamente dá acesso aos servidores do Google Maps, podendo transferir informações, mostrar mapas e responder a gestos. Para ser usada é necessário efetuar um pedido de chave única para cada projeto onde se pretenda utilizar. A documentação detalhada da API contém explicações muito simples e muitos exemplos de como usar a API<sup>4</sup>.

Para esta dissertação, utilizando as opções disponíveis pela Google, fez-se uso de duas API's que foram fundamentais para o serviço de mapeamento. São elas a Google Directions API e a Google Elevation API.

### 3.3.2.1 Google Directions API

O serviço da Google Directions API é direcionado para o cálculo de rotas, especificando as origens e os destinos quer como sequências de texto, quer como valores de latitude e longitude. Este serviço pode retornar rotas em diversas partes, usando um conjunto de pontos de referência. As rotas são exibidas como uma polilinha desenhando o percurso num mapa e também com diversas descrições textuais.

O acesso ao serviço é assíncrono, uma vez que a API precisa de aceder a um servidor externo, sendo necessário transmitir os dados a serem executados no fim do pedido. É também possível obter várias alternativas para alcançar o destino.

O pedido ao serviço Directions API é feito no seguinte formato:

---

<sup>1</sup> <https://maps.googleapis.com/maps/api/directions/output?parameters>

onde *output* pode ser um de dois valores:

1. *json* indicando o resultado no formato *JavaScript Object Notation (JSON)*.
2. *xml* indicando o resultado em XML.

onde *parameters* pode obter várias formas, sendo explicados seguidamente apenas valores que foram usados para a solução da dissertação. Todos os parâmetros contidos no pedido são separados pelo símbolo &.

Os parâmetros que devem fazer parte do pedido obrigatoriamente são:

1. *origin* descrição textual ou valor da latitude e longitude de onde se pretende iniciar o percurso.

---

<sup>4</sup> Documentação Google Maps Android API - <https://developers.google.com/maps/documentation/android/intro>

## SmartBikeEmotion: Especificação do projeto

2. **destination** descrição textual ou valor da latitude e longitude de qual o destino final do percurso.
3. **sensor** indica a solicitação de um sensor de localização externo. Valores possíveis *true* ou *false*.

Por opção, das alternativas oferecidas usou-se também:

1. **mode** especifica o modo de transporte a usar para calcular as direções. Valores possíveis: *driving*, *walking*, *bicycling* ou *transit*.
2. **alternatives** no caso de se tratar do valor *true*, significa que o serviço pode fornecer mais que um percurso alternativo na resposta.

Partindo de um pedido, a estrutura da resposta tem o seguinte aspeto:

```
1 {
2   "status" : "OK",
3   "routes" : [
4     {
5       "legs" : [
6         {
7           "distance" : {
8             "text" : "1,8 km",
9             "value" : 1764
10          },
11          "duration" : {
12            "text" : "21 min.",
13            "value" : 1259
14          },
15          "end_address" : "Rua do Batalhao de Cacadores 21, 3810-164 Aveiro,
16             Portugal",
17          "end_location" : {
18            "lat" : 40.6408235,
19            "lng" : -8.651832199999999
20          },
21          "start_address" : "Rua Cristovao de Pinho Queimado 8, 3800-905
22             Aveiro, Portugal",
23          "start_location" : {
24            "lat" : 40.6372995,
25            "lng" : -8.637200499999999
26          },
27          "steps" : [
28            {
29              "distance" : {
30                "text" : "0,3 km",
31                "value" : 292
32              },
33            }
34          ]
35        }
36      ]
37    }
38  ]
39 }
```

## SmartBikeEmotion: Especificação do projeto

```
31     "duration" : {
32         "text" : "3 min.",
33         "value" : 202
34     },
35     "end_location" : {
36         "lat" : 40.6389086,
37         "lng" : -8.639911099999999
38     },
39     "start_location" : {
40         "lat" : 40.6372995,
41         "lng" : -8.637200499999999
42     },
43     "html_instructions" : "...",
44     "polyline" : {
45         "points" : "c~_wFn}us@AB}@nBu@~A_@v@s@|AcAvB]j@UN"
46     },
47     "travel_mode" : "WALKING"
48 },
49     more steps (...)
50 ],
51     more legs (...)
52 }
53 ]
54 }
```

**status** contém o valor do resultado do pedido que é usado para conhecer a razão pelo qual o pedido falhou. Pode assumir os seguintes valores: OK, NOT\_FOUND, ZERO\_RESULTS, entre outros.

**routes** representa uma matriz de rotas da origem até ao destino.

Cada elemento **routes** é composto por diversos elementos, destacando o mais importante e usado no contexto desta dissertação:

**legs[]** contém a matriz de informações sobre uma rota entre os dois pontos fornecidos. No caso de se pretender várias alternativas para atingir o ponto final, vão aparecer mais **legs** disponíveis.

Cada elemento **leg** contém a especificação de um percurso e pode conter os campos a seguir descritos, destacando os mais importantes e usados no contexto desta dissertação:

**steps[]** contém uma matriz de etapas com informações sobre cada etapa.

**distance** indica o valor total da distância do início ao fim do percurso.

**duration** indica a duração total do percurso que depende do modo de transporte.

**start\_location** contém as coordenadas de latitude e longitude da origem do percurso.

**end\_location** contém as coordenadas de latitude e longitude do destino do percurso.

Cada elemento **step** descreve uma etapa do percurso a realizar. Estão seguidamente descritos os possíveis campos obtidos, destacando os mais importantes:

**distance** indica o valor total da distância do início da etapa até ao início da etapa seguinte.

**duration** indica a duração total da etapa.

**start\_location** contém as coordenadas de latitude e longitude do início da etapa.

**end\_location** contém as coordenadas de latitude e longitude do fim da etapa.

Existem mais campos que compõem a resposta a um pedido ao serviço Directions API.

### 3.3.2.2 Google Elevation API

O serviço Google Elevation API fornece dos dados relativos à elevação de um local na superfície terrestre. Os valores podem variar de valores negativos a valores positivos, sendo os negativos locais que se encontram abaixo da '*linha do mar*', e os valores positivos indicam que o local se encontra acima da '*linha do mar*'.

É possível obter as elevações dos locais da Terra de duas formas possíveis. Uma delas é fornecer uma localização ou fornecer uma série de pontos como se estivesse um caminho a conectá-los.

O pedido ao serviço Elevation API é feito no seguinte formato:

---

```
1 http://maps.googleapis.com/maps/api/elevation/output?parameters
```

---

onde **output** pode tomar um de dois valores:

1. **json** indicando o resultado no formato *JavaScript Object Notation (JSON)*.
2. **xml** indicando o resultado em XML.

onde **parameters** pode obter várias formas, sendo explicados seguidamente, apenas valores que foram usados para a solução da dissertação. Todos os parâmetros contidos no pedido são separados pelo símbolo &.

Os parâmetros que devem fazer parte do pedido obrigatoriamente são:

**sensor** que especifica se a localização é dada por alguma sensor externo, aceitando valores *true* ou *false*.

**locations** que define os locais a partir dos quais se pretende conhecer o valor da elevação. Esses dados são fornecidos por um par latitude e longitude. Para fornecer mais que um local, estes devem ser separados por |.

Efetuada um pedido ao serviço, o resultado é composto pelo seguinte formato:

---

```
1 {
2   "status" : "OK",
3   "results" : [
4     {
5       "elevation" : 436.7186279296875,
6       "location" : {
7         "lat" : 41.609849,
8         "lng" : -7.311662
9       },
10      "resolution" : 76.35161590576172
```

## SmartBikeEmotion: Especificação do projeto

```
11     },
12     {
13         "elevation" : 650,
14         "location" : {
15             "lat" : 41.6614808,
16             "lng" : -7.3210535
17         },
18         "resolution" : 76.35161590576172
19     }
20 ]
21 }
```

**status** contém o valor do resultado do pedido que é usado para conhecer a razão pelo qual o pedido falhou. Pode assumir os seguintes valores: OK, OVER\_QUERY\_LIMIT, REQUEST\_DENIED, entre outros.

O resultado contém também uma matriz **results** que fornece os seguintes campos:

**location** mostra os valores da posição para qual o valor da elevação é obtido. Os valores da posição estão presentes em latitude e longitude.

**elevation** que indica a elevação de uma posição em metros.

**resolution** é um valor que indica a distância máxima (metros) entre pontos de dados a partir dos quais a elevação é interpolada. Isto significa que quanto menor for o valor da interpolação, mais precisa é a elevação do local.

# Capítulo 4

## Implementação

Após se ter detalhado a arquitetura e as tecnologias usadas, segue-se o capítulo que apresenta a descrição pormenorizada do desenvolvimento da solução. Essa descrição e a implementação da solução serve-se de conceitos e métodos descritos também no capítulo do trabalho relacionado.

### 4.1 *Framework* de Sensores

#### 4.1.1 Framework

A *Framework* de Sensores apresenta uma forma confortável de ter vários sensores emparelhados. Para tal, implementou-se a classe mãe da interface, BluetoothFramework. Esta classe contém as operações comuns que permitem gerir a conexão, sendo elas apresentadas no seguinte código:

```
1 public class BluetoothFramework {  
2     boolean isBluetoothSupported();  
3     boolean connect (String address, boolean isBLEConnect);  
4     void disconnect (boolean isBLEConnect);  
5     void startListen (boolean ble);  
6     void stopListen (boolean ble);  
7     void initBluetoothAdapterClassic ();  
8     void bindServiceBLE ();  
9     void unBindServiceBLE ();  
10 }
```

*isBluetoothSupported()* função que devolve um booleano que verifica se o dispositivo móvel suporta *Bluetooth*.

*connect()* função que conecta o dispositivo móvel a um sensor externo, dando o endereço do sensor.

*disconnect()* função que desconecta um sensor do dispositivo.

## Implementação

*startListen()* ao chamar esta função, é possível começar-se a receber os dados de um dispositivo.

*stopListen()* função que termina a transferência de dados.

*initBluetoothAdapterClassic()* função que inicializa o serviço para o Bluetooth Classic.

*bindServiceBLE()* função que inicializa o serviço para o BLE.

*unBindServiceBLE()* função que termina o serviço para o BLE.

Os sensores externos utilizam diversas tecnologias para comunicação, nomeadamente a tecnologia Bluetooth, que existem em diferentes plataformas, denominado o Classic Bluetooth e BLE. É neste contexto, que surge a necessidade de criar dois serviços, uma para os dispositivos que se conectem por Classic Bluetooth e outra para dispositivos que se conectem por BLE, usando como suporte a API Android Bluetooth<sup>1</sup>.

Inicialmente, o utilizador precisa de especificar qual é o canal de comunicação que pretende usar. Esta escolha vai depender da tecnologia que o sensor utiliza para o emparelhamento. A comunicação pode ser estabelecida de duas formas: uma delas é fazer uma procura na rede de área local do *smartphone*, em busca de dispositivos que se conectem via Bluetooth, outra das opções é utilizar uma conexão prévia, em que os dados do sensor ficam guardados e torna-se mais cómodo o emparelhamento com um sensor de uso mais frequente.

Uma vez estabelecida a ligação, é necessário criar um *BTController*. Este é um controlador específico para cada sensor, isto porque a maioria dos dispositivos têm um protocolo próprio de troca de informação. Este controlador deve existir independentemente do tipo de Bluetooth que se esteja a utilizar. Uma vez que o *smartphone* obtenha informação dos sensores, esta deve ser apresentada ao utilizador, os dados são passados para a UI através de um *Handler*.

### 4.1.2 BITalino e ECG

No contexto do BITalino e como já foi referido, a maioria dos sensores têm a sua própria biblioteca para estabelecer a comunicação com o telefone e proceder à transferência de dados. No *BTController* para o BITalino usou-se a API<sup>2</sup> disponibilizada pela própria entidade criadora. O processo de recolha de dados começa com a indicação do *MAC Address* do BITalino, indicando também as portas que devem estar “à escuta”. Nesta solução, traduz-se no seguinte:

```
1 mBITalino = new BitalinoController(mDevice, new int[]{0}, mHandler);
```

O que significa que, o objeto *mBITalino* está inicializado com a classe *BitalinoController* com os parâmetros *mDevice*, que vai ter o *MAC Address* do produto, *int[]0* que é um *array* que correspondem às portas que estão “à escuta” e no caso vai estar a porta 0 (onde está conectado o sensor ECG) e finalmente um *mHandler*, que é um canal para enviar os dados tratados ao utilizador. Após executar o *mBITalino*, é criado e executado o *BluetoothSocket*:

<sup>1</sup> Documentação Bluetooth - <http://developer.android.com/guide/topics/connectivity/bluetooth.html>

<sup>2</sup> Documentação do BITalino - <http://www.bitalino.com/index.php/development/apis>

## Implementação

```
1 mSocket =  
2     mDevice.createRfcommSocketToServiceRecord(FrameworkConstants.UUID_DEVICE);  
3 socket.connect();  
4 mInputSocket = mSocket.getInputStream();  
5 mOutputSocket = mSocket.getOutputStream();
```

e são lidos os dados a 1000 Hertz (Hz) com 100 *samples* de leitura.

```
1 mBitalino = new BITalinoDevice(1000, mPort);  
2 mBitalino.open(mInputSocket, mOutputSocket);  
3 mBitalino.start();  
4 int numberOfSamplesToRead = 100;  
5 frames = mBitalino.read(numberOfSamplesToRead);
```

Uma vez que já é conhecida a porta que vai receber os dados do dispositivo, é necessário colocar o ECG no utilizador. Este é um dado importante, como já foi explicado no Capítulo 3.3.1.2. O modo de aquisição do sinal ECG é diferente dependendo do sítio do corpo onde estão colocados os elétrodos. Para o desenvolvimento da dissertação, os elétrodos foram colocados um na mão esquerda e dois na mão direita, que corresponde a (*DI*) conforme explicado no Capítulo 3.3.1.2, baseando nas escolhas de [Gue].

O ECG vem no formato de um sinal/onda em que os valores variam de 0 a 3 milivoltes (mV), sendo necessário fazer processamento desse sinal, com a finalidade de obter o batimento cardíaco. Para isso, foi usada uma biblioteca da *iHealth Labs* que recebe o sinal e extrai os batimentos cardíacos por minuto (BPM). Está descrito de seguida o processo resumido da atuação dessa biblioteca:

```
1 ECG ecg = new ECG();  
2 for (int i = 0; i < 4; i++) {  
3     ecg.pushbulk(dataQueues[i].queue);  
4     ecg.DetectPeak();  
5     dataQueues[i].Clear();  
6     hR.CalcHR_ECG(ecg);  
7     ecg.ResetNewPeaks();  
8 }  
9 int hravg = hR.HRV;
```

Assim que os elétrodos iniciam a sua recolha dos batimentos, durante 4 segundos são guardados esses dados numa *queue*. Nessa estrutura são detetados os picos R do sinal, aplicando inicialmente filtros para eliminação de ruído no sinal. Após serem detetados os picos R, é feita uma contagem do número de picos que existem nesse espaço de tempo, calculando depois o batimento cardíaco atual.

## 4.2 Serviço de Roteamento

O serviço de mapeamento é necessário para encontrar a rota que se adeque ao utilizador e à sua performance física, pelo que o utilizador deve fornecer um objetivo que pretende atingir no fim da utilização da bicicleta.

### 4.2.1 Nível de treino do utilizador

Primeiramente, determinou-se a zona de treino do utilizador. Para tal, existe a fórmula de *Karvonen* [SK]. A zona de treino é baseada na variação de valores do nível de intensidade do exercício, que corresponde a uma percentagem do HR Máximo (HRmax). Existem seis zonas de treino usadas por este método, que está representado na Tabela 4.1, sendo esta tabela adaptada de [SK]

<b>Training Zone</b>	<b>Intensity (%)</b>
<b>Recovery</b>	< 65% HRmax
<b>Aerobic</b>	65%-75% HRmax
<b>Extensive Endurance</b>	75%-80% HRmax
<b>Intensive Endurance</b>	80%-85% HRmax
<b>Anaerobic Threshold</b>	85%-90% HRmax
<b>Maximum aerobic</b>	> 90% HRmax

Tabela 4.1: Zonas de treino.

Para calcular o limite mínimo e o limite máximo da zona de treino, seguiu-se os seguintes passos:

1. Sabe-se o HR atual (HRA), captado pelo BITalino.
2. Estimar o HRmax para cada indivíduo seguindo a expressão:

$$(a) HRmax(masculino) = 220 - idade;$$

$$(b) HRmax(feminino) = 260 - idade;$$

3. Estimar a HR restante (HRR):

$$(a) HRR = HRmax - HRA;$$

4. Estimar o limite mínimo e o máximo do HR atual (THRmin e THRmax):

$$(a) THRmin = (HRR * LowerIntensity\%) + HRA;$$

$$(b) THRmax = (HRR * UpperIntensity\%) + HRA;$$

#### 4.2.2 Pedido de dados da Rota e Estimativa da Energia Necessária

Neste passo, é necessário fornecer a geolocalização do ponto de partida e do ponto de chegada. É inicializado o mapa e é feito o pedido à API Google Directions descrito no Capítulo 3.3.2.1, em que neste pedido obtém-se um conjunto de rotas possíveis para atingir o destino. Uma vez que as rotas estão divididas em *steps*, é feito um pedido a cada *step*, pretendendo obter-se a altitude do local em que o *step* inicia e do local em que o *step* que termina, usando a API Google Elevation descrita na secção 3.3.2.2.

Em cada *step* é também guardada a distância desde o ponto inicial ao ponto final. Para tal, usou-se da fórmula de *Haversine*, seguindo os seguintes passos:

1. Estimar a diferença de latitudes e longitudes dos dois pontos, em radianos:

$$(a) \ dLat = latFinal - latInicial;$$

$$(b) \ dLon = lngFinal - lngInicial;$$

2. Usando a fórmula de *Haversine* calcula-se a distância dando o raio da Terra ( $R = 6371$  km), obtendo assim a distância em metros:

$$(a) \ a = \sin\left(\frac{dLat}{2}\right)^2 + \cos(latFinal) \times \cos(latInicial) \times \sin\left(\frac{dLon}{2}\right)^2$$

$$(b) \ c = 2 \times \text{atan2}(\sqrt{a}, \sqrt{1-a})$$

$$(c) \ distancia = R \times c$$

Como já é possível obter as direções e a variação de altitude até ao destino, é necessário cruzar os dados para se saber qual o gasto de energia que é necessário para completar o percurso. Para cada *step* e a sua correspondente altitude é calculada a potência, aproveitando o método especificada no Capítulo 2.5.4. Ignorando-se a resistência da aerodinâmica, a fórmula fica com a seguinte alteração:

$$potencia = [m \times g \times (0.005 + s)] \times v \tag{4.1}$$

Onde  $m$  é a massa combinada do ciclista com a bicicleta em quilogramas,  $g$  é a força gravitacional da terra ( $g = 9.81$  kg/s),  $s$  é o declive em metros e  $v$  a velocidade em metros por segundo. A resistência da aerodinâmica foi ignorada por não se saber a velocidade do vento, o que significa que essa componente seria 0.

Por sua vez, o declive é calculado da seguinte forma:

1.  $sub = E_f - E_i$

2.  $dis = distanciaentre dois pontos$

3.  $s = \arctan\left(\frac{sub}{dis}\right)$

## Implementação

Onde  $E_f$  indica a altitude final do segmento,  $E_i$  indica a altitude inicial do segmento,  $sub$  indica o cálculo da subida,  $dis$  indica a distância e  $s$  é o declive em metros. Após ser calculada a potência média necessária para cumprir a tarefa até ao final, o valor obtido é convertido para calorias multiplicando a potência média pelo fator 0.25, obtendo *powercaloric*.

Anteriormente, já se tinha calculado os limites da zona de treino do utilizador e obteve-se as calorias gastas sabendo o HR máximo e mínimo dentro da zona de treino ( $THR_{max}$  e  $THR_{min}$ ). Para determinar as calorias queimadas seguem-se as equações [KGN<sup>+</sup>], que são adaptadas das equações explicas no Capítulo 2.5.3:

$$C(homem) = [-55.0969 + (0.2017 \times a) + (0.1988 \times w) + (0.6309 \times hr)] \times 60 \times \frac{t}{4.184} \quad (4.2)$$

$$C(mulher) = [-20.4022 + (0.074 \times a) - (0.1263 \times w) + (0.4472 \times hr)] \times 60 \times \frac{t}{4.184} \quad (4.3)$$

Onde  $a$  corresponde à idade,  $w$  corresponde ao peso em quilogramas,  $hr$  corresponde à frequência cardíaca em BPM e  $t$  corresponde ao tempo de duração do exercício em horas.

Assim, deverá obter-se dois valores, as calorias quando o  $hr$  é  $THR_{max}$  e quando  $hr$  é  $THR_{min}$ . Por fim, se o *powercaloric* estiver entre o intervalo de valores  $THR_{max}$  e  $THR_{min}$  ou próximo desses valores significa que se encontrou a rota ideal para o utilizador cumprir. No caso de existirem mais que uma rota possível, o critério de escolha será a rota tiver um maior gasto de calorias.

### 4.3 Desenvolvimento das interfaces

Os métodos anteriores foram desenvolvidos sob uma interface, pelo que necessitam da entrada de dados por parte do utilizador. Seguidamente, é apresentado um fluxo das funcionalidades que o utilizador pode efetuar, baseado no caso de uso apresentado no Capítulo 3.2.3 e onde os métodos desenvolvidos são aplicados.

Inicialmente, o utilizador deve deparar-se com um formulário de autenticação, para que o sistema seja capaz de conhecer o utilizador.

## Implementação



Figura 4.1: Esboço para o formulário de autenticação.

Seguidamente, o utilizador deve fornecer os dados necessários para alimentar o método do cálculo de calorias, assim como qual o seu local de destino e objetivo que pretende atingir.

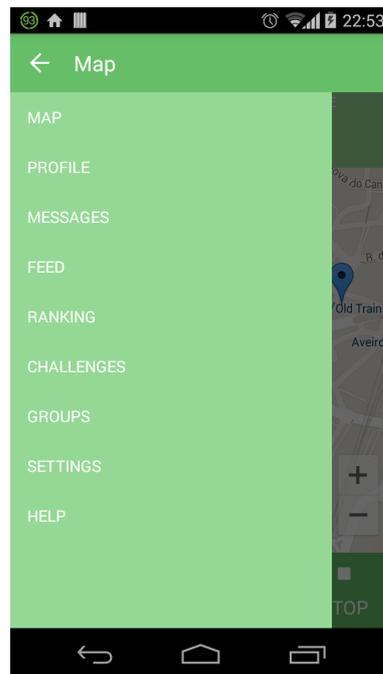
## Implementação

The screenshot shows a mobile application interface for tracking. The screen is titled "Tracking" and has a green header. Below the header, there are two sections: "ABOUT YOU" and "ABOUT TRACK". The "ABOUT YOU" section contains four input fields: "age (years)", "weight (kg)", "heart rate (bpm)", and "Choose your gender". The "ABOUT TRACK" section contains two input fields: "address" and "Choose your training". A green "TRACK" button is located at the bottom right of the form. The bottom of the screen shows the Android navigation bar with back, home, and recent apps icons.

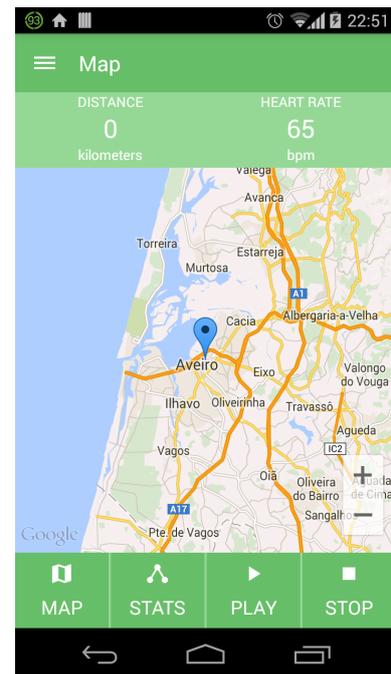
Figura 4.2: Esboço com os dados que irão ser necessários para o cálculo de uma rota.

Após fornecer esses dados, é possível navegar pelas funcionalidades da aplicação através de um menu lateral. Selecionando no menu a opção "MAP", o utilizador é apresentado com o mapa com uma aproximação na marca que mostra a localização atual.

## Implementação



(a) Esboço do menu para navegar nas opções da aplicação.



(b) Esboço do mapa com a marca na posição atual.

Figura 4.3: Fluxo de navegação entre ecrãs de menu e do mapa.

Clicando no botão "MAP", é possível executar o método de cálculo da rota ideal para o utilizador, considerando a sua posição atual até ao destino mencionado previamente.

## Implementação

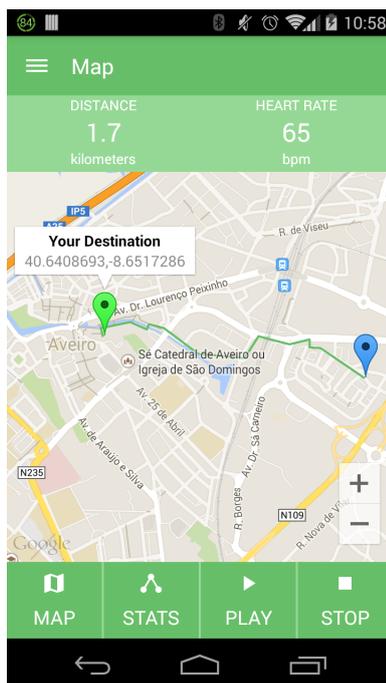
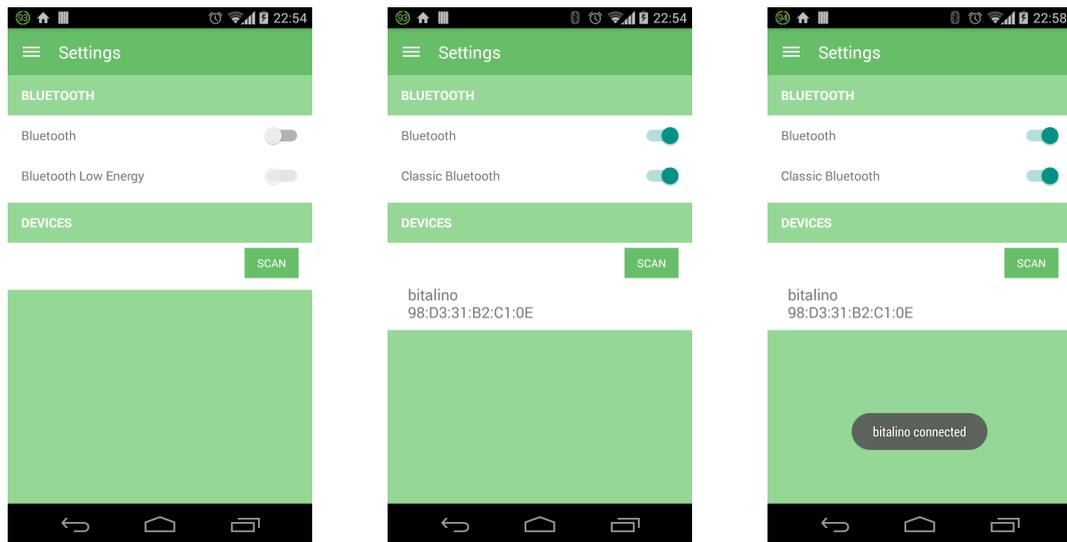


Figura 4.4: Esboço que apresenta a rota ideal para o utilizador.

É possível também, fazer a leitura dos dados que os sensores da bicicleta recolhem. Primeiramente é necessário ativar o Bluetooth, procurar pelos dispositivos que se encontram na proximidade e selecionar os dispositivos que se pretende conectar.

## Implementação



(a) Esboço do menu de opções.

(b) Esboço da ativação do Bluetooth e procura de dispositivos na proximidade.

(c) Esboço para conectar um dispositivo ao telefone.

Figura 4.5: Fluxo de navegação entre ecrãs de ativação do Bluetooth e conexão com um dispositivo.

Esta ligação produz um efeito diferente no cálculo das rotas, porque em vez de usar os dados inseridos pelo utilizador utiliza dados mais reais e lidos pelos sensores. Neste caso, foi utilizado o BITalino conectado com o sensor ECG e clicando em "PLAY" na Figura 4.4, é possível ser feita a leitura da frequência cardíaca, durante um determinado período de tempo. Essa mudança pode ser visualizada na Figura 4.6.

## Implementação

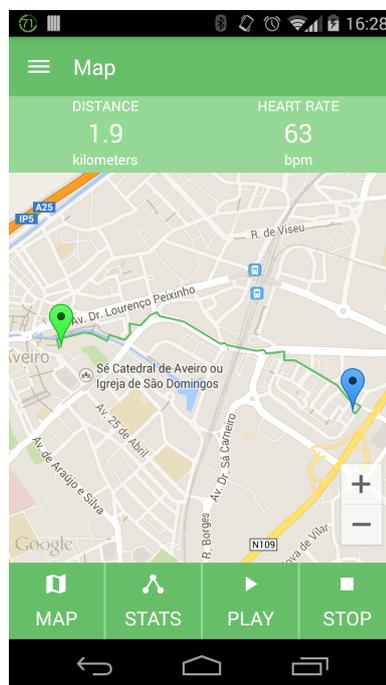


Figura 4.6: Esboço que apresenta a mudança de valores na frequência cardíaca e afetação do percurso a realizar.

## Capítulo 5

# Resultados

Neste capítulo, foram criados cenários de teste do sistema desenvolvido. Depois de analisar os dados obtidos, é possível verificar a eficiência do sistema e perceber quais os melhoramentos a efetuar para obter uma solução mais fiável. Entre os testes, são apresentados alguns comentários acerca do seu resultado.

Inicialmente, criaram-se três perfis de pessoas, baseado na escolha das características de cada perfil em termos da preparação física, que pode ser entendida através dos parâmetros do HR (num estado de repouso) e da idade.

Na Tabela 5.1 estão apresentadas as características de cada um dos perfis.

<b>Perfil</b>	<b>Pessoa1</b>	<b>Pessoa2</b>	<b>Pessoa3</b>
<b>Género</b>	masculino	masculino	feminino
<b>Idade</b>	23	65	35
<b>Peso</b>	70	100	55
<b>HR</b>	61	76	72

Tabela 5.1: Características dos perfis testados.

Verificando que a Pessoa1 é homem com uma preparação física razoável, a Pessoa2 é homem com uma preparação física má e a Pessoa3 é mulher com uma preparação física boa. A escolha dos dados teve como base [webc]. Assim, colocou-se estes perfis em três rotas de exigência variável e para três objetivos de treino, afim de estimar o consumo de energia para cumprir o treino em confronto com a exigência da rota. Como o peso da bicicleta também influencia o consumo de energia, para todos os testes considerou-se que a bicicleta pesa 11 kg.

As rotas em que as pessoas foram colocadas, estão abaixo descritas:

### **Zona de Aveiro**

#### **Partida:**

*Rua Cristóvão de Pinho Queimado, 3800-012, Aveiro, Portugal*

Localização: 40.638088,-8.635194

## Resultados

Altitude: 23.62 metros

### **Chegada:**

*Fórum Aveiro, Rua do Batalhão de Caçadores, 3810-064, Aveiro, Portugal*

Localização: 40.640869,-8.651729

Altitude: 6.97 metros

### **Zona do Porto**

#### **Partida:**

*Praça Mouzinho de Albuquerque (Rotunda da Boavista), 4100-359, Porto, Portugal*

Localização: 41.157974,-8.629112

Altitude: 88.62 metros

#### **Chegada:**

*Praça Gonçalves Zarco, 4100-274, Porto, Portugal*

Localização: 41.1676754,-8.6887613

Altitude: 8.29 metros

### **Zona de Valpaços**

#### **Partida:**

*Largo do Jardim, 5430-469, Valpaços, Portugal*

Localização: 41.609849,-7.311662

Altitude: 436.71 metros

#### **Chegada:**

*Rua Dona Amélia Castelo, 5430-651, Vilarandelo, Portugal*

Localização: 41.6614808,-7.3210535

Altitude: 650 metros

Cada perfil, é então posto à prova para completar os seguintes objetivos, conforme a Tabela 4.1:

**Training Recovery:** Que é considerado um treino de recuperação, um treino que não pretende um esforço em demasia, podendo ser útil para momentos de apreciação da paisagem. Colocando o parâmetro da velocidade média em 4.47 *m/s* (metros por segundo).

**Training extensive endurance:** Este treino reverte mais para melhoramento da resistência, em velocidade constante e a um ritmo médio, sendo essa velocidade em média 6.21 *m/s*.

**Training anaerobic threshold:** Considerado um treino profundamente mais exigente a uma velocidade constante e bastante elevada, assumindo o parâmetro da velocidade média como 8.49 *m/s*.

## Resultados

Numa determinada instância, os limites que o HR pode atingir são estabelecidos dependendo das características de cada perfil. Assim, pode-se obter os limites para a **Pessoa1**, considerando o HR em 61 BPM, dados presentes na Tabela 5.2.

<b>Training</b>	<b>Limite Máximo</b>	<b>Limite Mínimo</b>
<b>Recovery</b>	149	61
<b>Extensive Endurance</b>	169	163
<b>Anaerobic Threshold</b>	183	176

Tabela 5.2: Limite máximo e mínimo do HR em cada treino para a Pessoa1.

Para a **Pessoa2**, considerando o HR em 76 BPM, resulta a Tabela 5.3.

<b>Training</b>	<b>Limite Máximo</b>	<b>Limite Mínimo</b>
<b>Recovery</b>	127	76
<b>Extensive Endurance</b>	139	135
<b>Anaerobic Threshold</b>	147	143

Tabela 5.3: Limite máximo e mínimo do HR em cada treino para a Pessoa2.

Para a **Pessoa3**, considerando o HR em 72 BPM, resulta a Tabela 5.4.

<b>Training</b>	<b>Limite Máximo</b>	<b>Limite Mínimo</b>
<b>Recovery</b>	149	72
<b>Extensive Endurance</b>	167	161
<b>Anaerobic Threshold</b>	179	173

Tabela 5.4: Limite máximo e mínimo do HR em cada treino para a Pessoa3.

## 5.1 Primeiro Percurso

Para o primeiro percurso, a solução executa o seguinte pedido à API Google Directions:

```
https://maps.googleapis.com/maps/api/directions/json?origin=40.638088,-8.635194&destination=40.640869,-8.651729&sensor=false&alternatives=true&mode=walking
```

que devolve um objeto em JSON, em que é extraída informação suficiente para obter o mapa apresentado na Figura 5.1, em que as marcas que se apresentam, a verde é o ponto de partida e a amarelo é o ponto de chegada.

## Resultados



Figura 5.1: Mapa da zona de Aveiro.

Nas Tabelas 5.5, 5.6, 5.7, estão presentes os resultados obtidos após o sistema ter terminado o processamento. Cada uma das tabelas é referente a cada um dos perfis a testar. A coluna *THRmax* refere-se ao limite máximo de calorias dado o HR máximo. A coluna *THRmin* refere-se ao limite mínimo de calorias dado o HR mínimo. As cores correspondem às rotas exibidas no mapa, sendo os seus valores a energia dispensada para terminar o percurso.

Treino	THRmax	THRmin	Azul	Vermelho	Amarelo	
<b>Recovery</b>	424.91	-371.26	313.55	428.01	357.37	Azul e Vermelho
<b>Extensive Endurance</b>	605.86	551.57	435.83	594.93	496.73	Vermelho
<b>Anaerobic Threshold</b>	732.52	669.19	595.49	812.86	678.69	Amarelo

Tabela 5.5: Resultados obtidos para a Pessoa1, no primeiro percurso.

Treino	THRmax	THRmin	Azul	Vermelho	Amarelo	
<b>Recovery</b>	261.82	-199.59	429.68	586.53	489.72	Nenhum
<b>Extensive Endurance</b>	370.39	334.20	597.25	815.27	854.85	Nenhum
<b>Anaerobic Threshold</b>	442.77	406.58	816.04	1113.92	1168.00	Nenhum

Tabela 5.6: Resultados obtidos para a Pessoa2, no primeiro percurso.

## Resultados

Treino	THRmax	THRmin	Azul	Vermelho	Amarelo	
Recovery	600.49	106.69	255.49	348.75	365.68	Todas
Extensive Endurance	715.92	677.45	355.12	265.28	404.75	Nenhum
Anaerobic Threshold	792.87	754.40	485.21	362.46	553.01	Nenhum

Tabela 5.7: Resultados obtidos para a Pessoa3, no primeiro percurso.

Analisando os dados das tabelas, consegue-se retirar que os perfis com uma preparação física razoável ou mais são capazes de realizar esta rota num treino de recuperação. No verso da moeda, tendo uma preparação física muito limitada consegue-se verificar que o utilizador pode contar que a tarefa seja árdua para terminar o percurso porque o sistema não devolveu qualquer alternativa.

## 5.2 Segundo Percurso

Da mesma forma que o percurso anterior, é executado um pedido à API Google Directions:

```
https://maps.googleapis.com/maps/api/directions/json?origin=40.638088,-8.635194&destination=40.640869,-8.651729&sensor=false&alternatives=true&mode=walking
```

devolvendo um objeto em JSON, que permite obter o mapa apresentado na Figura 5.2, em que as marcas que se apresentam, a verde é o ponto de partida e a amarelo é o ponto de chegada.

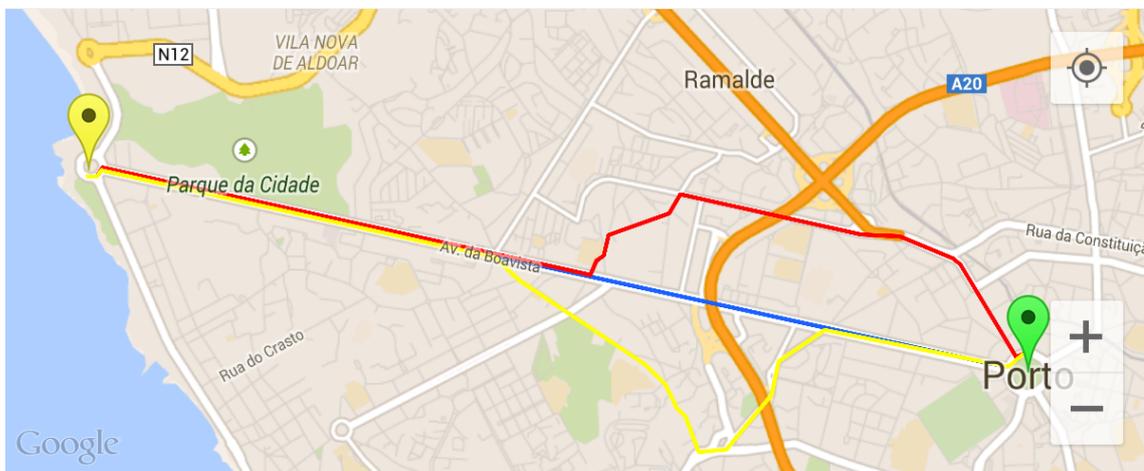


Figura 5.2: Mapa da zona do Porto.

Nas Tabelas 5.8, 5.9, 5.10, estão presentes os resultados obtidos após o sistema ter terminado o processamento. Tal como o percurso anterior, as colunas têm o mesmo significado.

## Resultados

Treino	THRmax	THRmin	Azul	Vermelho	Amarelo	
Recovery	424.91	-371.26	4.44	92.37	70.67	Todas
Extensive Endurance	605.86	551.57	6.17	128.39	98.23	Nenhum
Anaerobic Threshold	732.52	669.19	8.43	175.42	134.21	Nenhum

Tabela 5.8: Resultados obtidos para a Pessoa1, para o segundo percurso.

Treino	THRmax	THRmin	Azul	Vermelho	Amarelo	
Recovery	261.82	-199.59	6.08	126.58	96.84	Todas
Extensive Endurance	370.39	334.20	8.46	175.94	134.61	Nenhum
Anaerobic Threshold	442.77	406.58	11.56	240.39	183.92	Nenhum

Tabela 5.9: Resultados obtidos para a Pessoa2, para o segundo percurso.

Treino	THRmax	THRmin	Azul	Vermelho	Amarelo	
Recovery	600.49	106.69	3.62	75.26	57.58	Nenhum
Extensive Endurance	715.92	677.45	5.03	104.61	80.04	Nenhum
Anaerobic Threshold	792.87	754.40	6.87	142.93	109.35	Nenhum

Tabela 5.10: Resultados obtidos para a Pessoa3, para o segundo percurso.

Para esta rota, é possível reparar que apenas executando um treino Recovery é que é possível obter resultados. Isto significa que a rota é demasiado exigente, em que apenas a um ritmo lento é que é possível concretizá-la.

### 5.3 Terceiro Percurso

Após efetuar o pedido à API Google Directions, são devolvidos os percursos apresentados na Figura 5.3, em que as marcas que se apresentam, a verde é o ponto de partida e a amarelo é o ponto de chegada.

<https://maps.googleapis.com/maps/api/directions/json?origin=41.609849,-7.311662&destination=41.6614808,-7.3210535&sensor=false&alternatives=true&mode=walking>

## Resultados

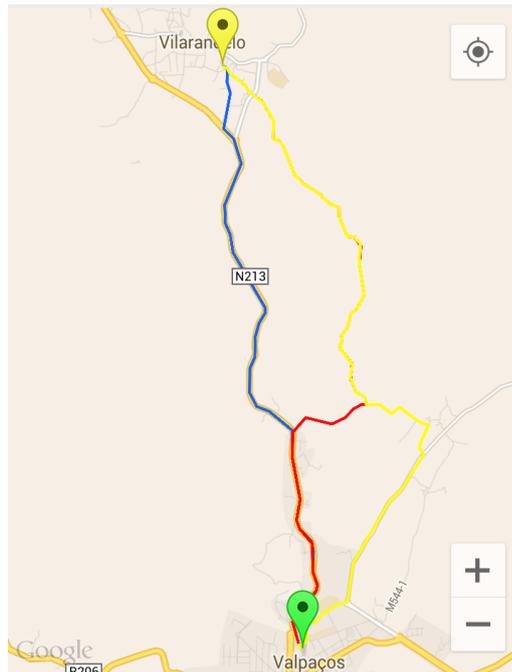


Figura 5.3: Mapa da zona de Valpaços.

As Tabelas 5.11, 5.12, 5.13, mostram os resultados obtidos para a cada um dos perfis testados com as condições que o mapa da Figura 5.3.

Training	THRmax	THRmin	Alt1	Alt2	Alt3	
<b>Recovery</b>	424.91	-371.26	827.89	761.02	847.53	Nenhum
<b>Extensive Endurance</b>	605.86	551.57	1150.75	1057.81	1178.05	Nenhum
<b>Anaerobic Threshold</b>	732.52	669.19	1572.29	1445.30	1609.59	Nenhum

Tabela 5.11: Resultados obtidos para a Pessoa1, para o terceiro percurso.

Training	THRmax	THRmin	Alt1	Alt2	Alt3	
<b>Recovery</b>	261.82	-199.59	1134.51	1042.88	1161.43	Nenhum
<b>Extensive Endurance</b>	370.39	334.20	1576.95	1449.59	1614.37	Nenhum
<b>Anaerobic Threshold</b>	442.77	406.58	2154.61	1980.59	2205.74	Nenhum

Tabela 5.12: Resultados obtidos para a Pessoa2, para o terceiro percurso.

## Resultados

<b>Training</b>	<b>THRmax</b>	<b>THRmin</b>	<b>Alt1</b>	<b>Alt2</b>	<b>Alt3</b>	
<b>Recovery</b>	600.49	106.69	674.57	620.09	690.58	Nenhum
<b>Extensive Endurance</b>	715.92	677.45	937.65	861.92	959.90	Nenhum
<b>Anaerobic Threshold</b>	792.88	754.40	1281.12	1177.65	1311.52	Nenhum

Tabela 5.13: Resultados obtidos para a Pessoa3, para o terceiro percurso.

Tal como se pode reparar nos testes para este percurso, nenhum dos perfis testados teria a capacidade de o completar. A energia necessária para completar o percurso é muito superior àquela que os utilizadores são capazes de dispensar.

Durante os testes efetuados, pôde-se concluir que a percentagem de respostas com sucesso era bastante baixo. Isto deve-se ao limite de uso estabelecido pela API Google Elevation, pelo que todas as respostas de insucesso referiam o erro 'OVER\_QUERY\_LIMIT', que indica que se excedeu a cota disponível. Para se voltar a testar o sistema, uma grande dificuldade sentida foram os tempos de espera incertos entre testes para obter resultados com sucesso. No entanto, os tempos de resposta para cada tentativa eram aceitáveis, apesar de este ponto ser bastante dependente do serviço da internet no local.

## Capítulo 6

# Conclusões e Trabalho Futuro

### 6.1 Conclusões

Com o avançar dos anos, assiste-se cada vez mais ao investimento das cidades em redes rodoviárias para ciclistas. Esta crescente dá-se, sobretudo, devido à preocupação da preservação do meio ambiente e também com a necessidade das pessoas em optar por um estilo de vida saudável. É desta forma, que surge o conceito de *bike-sharing*, que pretende que sejam construídos parques de estacionamento para bicicletas, bicicletas essas que se destinam ao usufruto da comunidade, criando um sistema de partilha e troca de bicicletas através dos inúmeros métodos de negócio.

Em crescente também está o conceito de *Wearable Computing*, que nos últimos anos tem vindo a aparecer no quotidiano das pessoas e com novas invenções todos os dias. Os sensores *Wearable* estão presentes em todas as áreas, nomeadamente, na área do desporto e da saúde.

Visto que o *bike-sharing* se encontra em constantes avanços tecnológicos e ainda existem determinadas lacunas, o objetivo principal desta dissertação foi resolver esses problemas, combinando o potencial que a sensorização móvel e sensores *Wearable* são capazes de trazer com a partilha de bicicletas. Construiu-se um sistema composto por três partes, uma delas é uma *Framework* de recolha de dados vitais do utilizador, um serviço de roteamento e a apresentação dos dados ao utilizador por intermédio da interface. Para o desenvolvimento da *Framework* usou-se o BITalino, uma placa que potência a conexão com vários sensores ao mesmo tempo.

No que toca ao serviço de roteamento, as API's Google têm o ponto positivo de estarem bem documentadas, o que facilitou o desenvolvimento do serviço. No entanto, a qualidade de resposta dos servidores limitaram a obtenção de resultados. Como as versões usadas das API's foram todas gratuitas, os limites de uso para essas versões dificultavam a receção de resultados, sendo necessárias otimizações e tempos de espera bastante elevados entre testes.

De modo a testar a solução obtida, criaram-se três perfis de pessoas com características diferentes e diferentes tipos de preparação física. Para cada um dos perfis foi estimada a potência necessária para completar um percurso tendo como objetivo um determinado tipo de treino. O

mesmo teste foi executado para três rotas com exigências diferentes. Os resultados permitiram concluir que o algoritmo necessitaria de uma intervenção para as rotas com uma elevação bastante exigente. Também foi possível concluir que a limitação de resultados obtidos pelas API's Google, torna impossível obter sempre uma rota.

### 6.2 Trabalho Futuro

Existem vários procedimentos a melhorar de forma a obter uma solução mais próxima da ótima, que seria uma solução que em qualquer circunstância fosse possível obter uma rota. Como já foi apresentado anteriormente, as limitações apresentadas pelas API's Google poderiam ser ultrapassadas se se usassem essas API's como complemento a outro serviço de roteamento. Por exemplo, usar como serviço principal o OpenStreetMap ou OpenCycleMap e haver uma correlação dos dados com as API's Google. Esta alteração, levaria à modificação do processo de execução dos cálculos das potências e calorias. Seguindo a complementação da aplicação e o refinamento dos resultados do serviço, é importante colocar mais rotas sob teste e com ciclistas reais.

Um dos objetivos da dissertação seria desenvolver a interface da aplicação SmartBikeEmotion mas este objetivo não foi totalmente concluído. Portanto, uma intervenção que o projeto levaria, seria na interface com o utilizador, sendo necessário apresentar a solução desenvolvida de forma clara, minimalista e eficaz, recorrendo a regras de HCI. Neste ponto, entra também a integração com o sistema de *bike-sharing*, onde é possível o serviço de autenticação estar funcional, o reconhecimento do utilizador, bloqueio/desbloqueio da bicicleta, gravar as atividades efetuadas, procurar parques de estacionamento, entre outras funcionalidades possíveis.

Este projeto pretende caminhar para a atualização das necessidades do ciclista em tempo-real, o que leva à adição de mais sensores para recolher uma quantidade maior de dados, de forma a que os seus resultados sejam obtidos de um modo mais confortável para o utilizador e que isso se possa refletir no dia-a-dia.

# Referências

- [AH] MUHAMMAD H. AL-HABOUBI. Modelling energy expenditure during cycling. 42(3):416–427.
- [DeM09] Paul DeMaio. Bike-sharing: History, impacts, models of provision, and future. *Journal of Public Transportation*, 12(4):41–56, 2009.
- [EML<sup>+</sup>] Shane B. Eisenman, Emiliano Miluzzo, Nicholas D. Lane, Ronald A. Peterson, Gahng-Seop Ahn e Andrew T. Campbell. BikeNet: A mobile sensing system for cyclist experience mapping. 6(1):6:1–6:39.
- [Fle] Fabiola Fleitas. Wearable computing. URL: [http://jeuazarru.com/wp-content/uploads/2014/10/wearable\\_computing.pdf](http://jeuazarru.com/wp-content/uploads/2014/10/wearable_computing.pdf).
- [GJ] N. Gupta e S. Jilla. Digital fitness connector: Smart wearable system. In *2011 First International Conference on Informatics and Computational Intelligence (ICI)*, pages 118–121.
- [Gue] José Guerreiro. A biosignal embedded system for physiological computing. URL: <http://repositorio.ipl.pt/handle/10400.21/3293>.
- [Kal] Rushikesh Kale. Development of an interactive, hands-on learning experience of the google maps API. URL: <http://scholarworks.uno.edu/td/1199>.
- [KGN<sup>+</sup>] LR Keytel, JH Goedecke, TD Noakes, H Hiiloskorpi, R Laukkanen, L van der Merwe e EV Lambert. Prediction of energy expenditure from heart rate monitoring during submaximal exercise. 23(3):289–297.
- [Map] MapMyFitness. URL: <http://www.mapmyfitness.com/>.
- [oHS] State of Wisconsin Department of Health e Family Services. Calories burned per hour. URL: <http://www.dhs.wisconsin.gov/publications/P4/p40109.pdf>.
- [Pon14] Ponto.C. What is it?, 2014. URL: <http://bikeemotion.com/#whatisit>.
- [Pra] Pietro E. di Prampero. Cycling on earth, in space, on the moon. 82(5):345–360.
- [PT14] Lisboando PT. Bicas: passear de bicicleta em cascais, 2014. URL: <http://pt.lisboando.com/passeios/bicas-passear-de-bicicleta-em-cascais/>.
- [Pub] Harvard Health Publications. Calories burned in 30 minutes for people of three different weights. URL: <http://www.health.harvard.edu/newsweek/Calories-burned-in-30-minutes-of-leisure-and-routine-activities.htm>.

## REFERÊNCIAS

- [Reg05] RegiaoCentro.net. Vai uma volta de buga?, 2005. URL: <http://www.regiaocentro.net/lugares/aveiro/buga.html>.
- [RSD<sup>+</sup>] Sasank Reddy, Katie Shilton, Gleb Denisov, Christian Cenizal, Deborah Estrin e Mani Srivastava. Biketastic: Sensing and mapping for better biking. pages 1817–1820. URL: <http://doi.acm.org/10.1145/1753326.1753598>.
- [SK] L. Sornanathan e I. Khalil. Fitness monitoring system based on heart rate and SpO2 level. In *2010 10th IEEE International Conference on Information Technology and Applications in Biomedicine (ITAB)*, pages 1–5.
- [Top] Topendsports. Vo2 max norms. URL: <http://www.topendsports.com/testing/norms/vo2max.htm>.
- [weba] Biking directions added to google maps. URL: <http://googleblog.blogspot.pt/2010/03/biking-directions-added-to-google-maps.html>.
- [webb] Ecg precordial leads.. URL: <http://www.cixip.com/index.php/page/content/id/192>.
- [webc] Resting heart rate table. URL: <http://www.topendsports.com/testing/heart-rate-resting-chart.htm#>.
- [ZCCT] Andong Zhan, Marcus Chang, Yin Chen e Andreas Terzis. Accurate caloric expenditure of bicyclists using cellphones. In *Proceedings of the 10th ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems, SenSys '12*, page 71–84. ACM.
- [ZCT<sup>+</sup>] Yifan Zhao, Longbiao Chen, Chao Teng, Shijian Li e Gang Pan. GreenBicycling: A smartphone-based public bicycle sharing system for healthy life. In *Green Computing and Communications (GreenCom), 2013 IEEE and Internet of Things (iThings/CPS-Com), IEEE International Conference on and IEEE Cyber, Physical and Social Computing*, pages 1335–1340.

# Anexo A

## Anexo

**Table 2** Overall mechanical power ( $P_c$ , W) and its relative utilisation against rolling or air resistance (%) are reported at the indicated speeds for a recreational bicycle (trunk leaning forward), for a standard racing bicycle (subject's trunk in dropped posture) on a smooth flat road, and for an aerodynamic bicycle with the subject in dropped posture on a linoleum track, in the absence of wind, at sea level, and at an air temperature of 20 °C. The constant  $a$  was assumed to be: 5.8, 2.8 and 1.1, respectively, and the constant  $b$  was assumed to be: 0.271, 0.193 and 0.155, respectively (see Tables 3 and 4)

Speed km · h <sup>-1</sup> (m · s <sup>-1</sup> )	Posture on bicycle								
	Recreational, leaning forward			Racing, standard			Racing, aerodynamic		
	$P_c$ (W)	Rolling (%)	Air (%)	$P_c$ (W)	Rolling (%)	Air (%)	$P_c$ (W)	Rolling (%)	Air (%)
10 (2.78)	22.0	73.2	26.8	11.9	65.3	34.7	6.4	47.7	52.3
15 (4.17)	43.8	55.2	44.8	25.6	45.6	54.4	15.8	29.0	71.0
20 (5.55)	78.7	40.9	59.1	48.6	32.0	68.0	32.7	18.7	81.3
25 (6.94)	131.0	30.7	69.3	84.1	23.1	76.9	59.5	12.8	87.2
30 (8.33)	205.2	23.6	76.7	135.0	17.3	82.7	98.9	9.3	90.7
35 (9.72)	305.4	18.5	81.5	204.6	13.3	86.7	153.1	7.0	93.0
40 (11.11)	436.2	14.7	85.3	295.8	10.5	89.5	224.8	5.4	94.6
45 (12.50)	601.8	12.0	88.0	411.9	8.5	91.5	316.5	4.3	95.7
50 (13.89)	806.5	10.0	90.0	553.9	7.0	93.0	430.5	3.5	96.5
55 (15.28)	1054.8	8.4	91.6	730.9	5.8	94.2	569.5	2.9	97.1

**Table 3** Rolling coefficient ( $a \cdot M^{-1} \cdot g^{-1}$ ) and rolling resistance ( $a$ ) for an overall moving mass ( $M = \text{cyclist} + \text{bike}$ ) of 85 kg for different types of tyres on concrete or asphalt roads ( $g = 9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ). Wheel diameter, together with tyre width (of the tyre contact patch) and inflation pressure (1 MPa = 9.87 atm = 7501 mmHg), are also indicated. Energy expenditure against the rolling resistance, per unit of distance, can be obtained easily by dividing the rolling coefficient by the overall efficiency of cycling ( $\cong 0.25$ , see “The efficiency of cycling”) and multiplying it by  $M \cdot g$ . A to C, knobby (mountain bike type) or standard road tyres with tube; D, road tubular tyres (180 g); E, road tubular tyres (160 g); F, track tubular tyres (80 g). On linoleum or wooden tracks, the rolling coefficient is reduced to about 60% of the present values; on rough surfaces it can be much larger. Data from Capelli et al. (1993), di Prampero et al. (1979), Kyle (1986, 1988, 1989), Olds et al. (1993, 1995), and Pugh (1974)

Type of tyre	Tyre characteristics		Wheel diameter (cm)	Rolling coefficient $a \cdot M^{-1} \cdot g^{-1}$	Rolling resistance for $M = 85 \text{ kg}$ : $a \cdot (\text{J} \cdot \text{m}^{-1})$
	Width (cm)	Pressure (MPa)			
A knobby	5.7	0.32	50.8	0.017	14.2
B knobby	5.7	0.32	68.6	0.013	10.8
C road, standard	4.5	0.46	68.6	0.007	5.8
D road, tubular	3.2	0.85	50.8	0.0045	3.8
E road, tubular	1.8	0.85	68.6	0.0034	2.8
F track, tubular	1.8	0.85	68.6	0.0021	1.8