



**José Alfredo
Silvestre Ferreira**

Plataforma de rastreabilidade de bicicletas



**José Alfredo
Silvestre Ferreira**

Plataforma de rastreabilidade de bicicletas

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica de José Paulo Oliveira Santos, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro e de Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho, Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

o júri

Presidente

Prof. Doutor Carlos Alberto Moura Relvas
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

Arguente

Mestre Miguel da Silva Oliveira
Assistente Convidado da Universidade de Aveiro

Orientador

Prof. Doutor José Paulo Oliveira Santos
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Dedico este campo a todos os que me apoiaram de alguma forma nesta fase da minha vida, que se conclui com a finalização do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica. Gostaria de expressar a minha gratidão a todos eles.

Gostaria de agradecer ao Professor José Paulo Oliveira Santos e à Professora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho pela disponibilidade, troca de conhecimentos, e pelo seguimento e orientação do meu trabalho ao longo do período de desenvolvimento da presente dissertação.

Agradeço à minha família por me possibilitar a oportunidade de seguir o meu percurso de formação académica na área por mim escolhida, e pelo seu apoio incansável ao longo de toda a minha existência. Aos meus amigos, que tiveram uma grande contribuição na persistência das minhas ambições, e na minha estabilidade emocional.

A todo o Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro pelas excelentes condições de ensino, e por todo o apoio fornecido que possibilitou o meu sucesso nesta importante etapa.

Por fim, gostaria de agradecer à Órbita Bicicletas Portuguesas, Lda, que doou à Universidade de Aveiro a bicicleta utilizada nos testes do sistema desenvolvido nesta dissertação.

Este trabalho insere-se no âmbito dos seguintes projetos: @CRUISE (PTDC/EMS-TRA/0383/2014), financiado no âmbito do Projeto 9471 – Reforçar a Investigação, o Desenvolvimento Tecnológico e a Inovação (Projeto 9471 – RIDTI) e participado pelo Fundo Comunitário Europeu FEDER; MobiWise (POCI-01-0145-FEDER-016426); DICA-VE (POCI-01-0145-FEDER-029463); Projeto Estratégico UID-EMS-00481-2013.

palavras-chave

GPS, rastreabilidade, GPRS, bicicleta, segurança, microcontrolador, plataforma laboratorial, sensores, *webpage*, servidor, base de dados.

resumo

O setor dos transportes tem um papel muito importante na sociedade. Associado ao seu elevado consumo energético, sendo o principal consumidor, está o aumento da poluição atmosférica. Os veículos motorizados são responsáveis por uma percentagem significativa de emissões poluentes, deteriorando a saúde pública da população. É fundamental fomentar meios alternativos, com menor pegada ecológica. O aumento da segurança, conveniência e conforto dado pela mobilidade ciclável, pode ser uma das respostas a este problema.

O uso de bicicletas pode ter um impacto importante na qualidade de vida das pessoas. Promove a atividade física, melhorando a saúde pública ao reduzir a incidência de algumas doenças, contribui para a diminuição de emissões poluentes e apresenta benefícios económicos e sociais.

Torna-se importante criar estratégias de promoção à mobilidade ciclável, atendendo a fatores que influenciam a sua utilização, como a rapidez das deslocações, a topografia das zonas cicláveis, o clima, o conforto, a segurança, a conveniência, entre outros.

O principal objetivo desta dissertação foi o desenvolvimento de uma plataforma de rastreabilidade para uma bicicleta que permitisse o aumento da segurança do veículo e do seu utilizador, bem como a recolha de dados relativos à utilização do veículo para posterior análise. Este sistema deve apresentar uma relação custo/benefício elevada e possibilitar a determinação em tempo real da posição geográfica, acelerações lineares e velocidades angulares do veículo, bem como as distâncias de ultrapassagem e temperatura ambiente. Uma interface com o utilizador deve ser desenvolvida, para possibilitar a consulta e análise dos dados recolhidos.

Para isso foi desenvolvido um sistema dividido em três partes: uma plataforma de sensores instalada na bicicleta, um servidor e uma interface. A plataforma de sensores é composta por vários componentes de *hardware*, cuja principal função é possibilitar a aquisição e envio dos dados pretendidos. Estes dados são recebidos, pré-processados e armazenados no servidor, com recurso a uma base de dados e outras ferramentas. Por fim, estes dados podem ser consultados e analisados através de um *browser*, bastando aceder à *webpage* desenvolvida para o efeito.

Após todo o sistema ter sido desenvolvido e instalado, procedeu-se aos testes experimentais do mesmo em quatro percursos diferentes. Obtiveram-se os dados referidos anteriormente para cada um dos percursos, e estes foram analisados e discutidos. Verificou-se a viabilidade e fiabilidade dos mesmos, justificaram-se eventuais erros e desvios e analisaram-se as suas potencialidades e aplicações.

keywords

GPS, traceability, bicycle, safety, microcontroller, laboratory platform, sensors, webpage, server, database.

abstract

Transport sector has a very important role in society. Associated with its high energy consumption (being the main consumer) is the increase of atmospheric pollution. Motor vehicles are responsible for a significant proportion of pollutants emissions, which depletes public health. Therefore, it is important to promote alternative transportation, with smaller ecological footprint. The increased safety, convenience and comfort given by cycling mobility may be one of the answers to this problem.

The use of bicycles can have a significant impact on people's quality of life. It promotes physical activity, improving public health by reducing the incidence of some diseases, contributes to the reduction of pollutants emissions and has economic and social benefits. It is important to create strategies to promote cycling mobility considering factors that influence its use such as the time of dislocation, topography of cycling areas, climate, comfort, safety, convenience, among others.

The main objective of this thesis is the development of a traceability platform for a bicycle that increases the safety of the vehicle and its user, as well as the collection of vehicle data for later analysis. This system must be cost effective and capable of collecting the real-time geographic position, linear accelerations and angular velocities of the vehicle, as well as the distances of surpassing and ambient temperature. A user interface should be developed to allow the query and analysis of the collected data.

For this, a system was developed in three parts: a platform of sensors installed in the bicycle, a server and an interface. The sensor platform consists of several hardware components, whose main function is to enable the acquisition and sending of the desired data. This data is received, preprocessed and stored on the server, using a database and other tools. Finally, these data can be consulted and analyzed through a browser, simply by accessing the webpage developed for this purpose.

After the whole system was developed and installed, the experimental tests were carried out on four different routes. The data was obtained for each of the routes was analyzed and discussed. Its feasibility and reliability were verified, possible errors and deviations were justified, and its potentialities and applications were analyzed.

Conteúdo

1. Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.1.1 Impactos do transporte rodoviário e motivação para a mobilidade ciclável	1
1.1.2 Sistemas de bikesharing e a relevância de rastreabilidade de bicicletas	7
1.2 Objetivos	11
1.3 Estrutura da dissertação	11
2. Estado da arte	13
3. Metodologia	23
4. Arquitetura da solução proposta	27
4.1 Funcionalidades da plataforma	27
4.2 Fatores limitantes	27
4.3 Modelo conceptual	28
5. Implementação da solução proposta	31
5.1 Hardware	33
5.1.1 Bicicleta	33
5.1.1.1 ESP8266	34
5.1.1.2 GPS-NEO-M8N	35
5.1.1.3 MPU-6050	37
5.1.1.4 SIM900	40
5.1.1.5 74HC08N	42
5.1.1.6 LV-MaxSonar-EZ1	42
5.1.1.7 Bateria e sistema de carregamento	44
5.1.1.8 AXA Duo Dynamo	45
5.1.2 Servidor	46
5.2 Software	46
5.2.1 Bicicleta	47
5.2.1.1 ESP8266	47
5.2.1.2 Módulo GNSS	49
5.2.1.3 MPU	51
5.2.1.4 Sensor de distância	52
5.2.1.5 Módulo GSM/GPRS	52
5.2.2 Servidor	54

5.2.2.1	Base de dados	54
5.2.2.2	Página web	58
5.3	Percursos	63
6.	Resultados e Discussão	69
6.1	Posicionamento geográfico	70
6.2	Aceleração linear	75
6.3	Velocidade Angular	83
6.4	Temperatura	90
6.5	Distância lateral de ultrapassagem	93
7.	Conclusões e Trabalhos futuros	99
7.1	Trabalhos futuros	101
	Referências bibliográficas	103
	Anexos	109
	Anexo A	111
	Anexo B	113

Lista de Figuras

1.1 - Consumo energético europeu, EU-28, 2015.....	1
1.2 - Emissões de gases de efeito de estufa por setor, EU-28, 2015.....	2
1.3 - Número de cidades com programas de <i>bikesharing</i> no mundo.....	8
1.4 - Fatores motivadores ao uso de programas de <i>bikesharing</i>	9
1.5 - Fatores desencorajadores ao <i>bikesharing</i>	10
1.6 - Diagrama de fluxo da estrutura da dissertação.....	12
2.1 - Conexões do chip.....	14
2.2 - Bicicleta instrumentada.....	15
2.3 - Protótipo de plataforma laboratorial de segurança para ciclistas.....	17
2.4 - Guiador Helios.....	19
2.5 - Sistema Lock8.....	20
3.1 - Fluxograma das tarefas efetuadas.....	25
3.2 - Cronograma das tarefas efetuadas.....	25
4.1 - Modelo conceptual da plataforma de rastreabilidade.....	29
5.1 - Arquitetura detalhada do sistema.....	31
5.2 - Sistema de rastreabilidade instalado na bicicleta.....	32
5.3 - ESP8266 NodeMCU Devkit.....	35
5.4 - Módulo GPS-NEO-M8N.....	35
5.5 - Acelerómetro capacitivo.....	38
5.6 - Forças não-inerciais num referencial em rotação.....	39
5.7 - Módulo MPU-6050.....	39
5.8 - SIM900 GPRS <i>shield</i>	40
5.9 - Arquitetura do sistema GSM.....	41
5.10 - 74HC08N AND gate.....	42
5.11 - Sensor LV-MaxSonar-EZ1.....	43
5.12 - Espectro eletromagnético da luz solar.....	44
5.13 - Placa DD05CVSA.....	44
5.14 - <i>Power Bank</i> utilizada.....	45
5.15 - Dínamo AXA Duo.....	45
5.16 - Computador utilizado para integrar o servidor.....	46
5.17 - Diagrama de fluxo do funcionamento geral do software.....	49
5.18 - Diagrama de fluxo da parte do programa respetiva ao módulo GSM/GPRS.....	53
5.19 - Tabela da base de dados.....	56
5.20 - Diagrama de fluxo da inserção de dados na base de dados.....	57
5.21 - Diagrama de fluxo da consulta de dados a partir do ficheiro PHP.....	58
5.22 - Menu inicial da <i>web page</i> visualizado num ecrã de 24”.....	59
5.23 - Menu inicial da <i>web page</i> visualizado num ecrã de 5,5”.....	59

5.24 - Secção "Funcionalidades" da web page.	60
5.25 - Página web que dá acesso à tabela com os dados recolhidos.	61
5.26 - Gráfico de acelerações lineares.	62
5.27 - Mapa da página web.	63
5.28 - Percurso A - (a) Mapa do percurso; (b) Detalhe do percurso.	64
5.29 - Percurso B - (a) Mapa do percurso; (b) Detalhe do Percurso.	65
5.30 - Percurso C - (a) Mapa do percurso; (b) Detalhe do percurso.	66
5.31 - Percurso D - (a) Mapa do percurso; (b) Detalhe do percurso.	67
6.1 - Bicicleta com o sistema de rastreabilidade instalado.	69
6.2 - Percursos direto e indireto do sinal GPS.	71
6.3 - Comparação das posições recolhidas (à esquerda) com o Percurso A (à direita).	72
6.4 - Comparação das posições recolhidas (à esquerda) com o Percurso B (à direita).	73
6.5 - Comparação das posições recolhidas (à esquerda) com o Percurso C (à direita).	74
6.6 - Comparação das posições recolhidas (à esquerda) com o Percurso D (à direita).	74
6.7 - (a) Sistema de eixos dos acelerómetros da MPU; (b) Sinal das leituras de aceleração da MPU.	75
6.8 - Acelerações lineares registadas no Percurso A.	78
6.9 - Acelerações lineares registadas no Percurso B.	80
6.10 - Acelerações lineares registadas no Percurso C.	81
6.11 - Acelerações lineares registadas no Percurso D.	82
6.12 - Sistema de eixos dos giroscópios da MPU.	83
6.13 - Velocidades angulares registadas no Percurso A.	86
6.14 - Velocidades angulares registadas no Percurso B.	87
6.15 - Velocidades angulares registadas no Percurso C.	88
6.16 - Velocidades angulares registadas no Percurso D.	89
6.17 - Temperaturas registadas ao longo do Percurso A.	91
6.18 - Temperaturas registadas ao longo do Percurso B.	92
6.19 - Temperaturas registadas ao longo do Percurso C.	92
6.20 - Temperaturas registadas ao longo do Percurso D.	92
6.21 - Calibração do sensor de distância.	93
6.22 - Padrão do feixe de um transdutor com um diâmetro maior que o comprimento de onda.	95
A.1 - Esquema elétrico da plataforma.	112
B.1 - Top layer da PCB desenvolvida.	113
B.2 - Bottom layer da PCB desenvolvida.	114

Acrónimos

API	Application Programming Interface
DMP	Digital Processing Unit
GLONASS	Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
GNSS	Global navigation satellite system
GPIO	General-Purpose Input/Output
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile communications
I/O	Input/Output
I2C	Inter-Integrated Circuit
IP	Internet Protocol
LIDAR	Light Detection And Ranging
MEMS	Microelectromechanical systems
MPU	Motion Processing Unit
NMEA	National Marine Electronics Association
PCP	Printed Circuit Board
PHP	Hypertext Preprocessor
SIM	Subscriber Identity Module
TCP	Transmission Control Protocol
UART	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
URL	Uniform Resource Locator
UTF	Unicode Transformation Format

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento

1.1.1 Impactos do transporte rodoviário e motivação para a mobilidade ciclável

A mobilidade é fundamental para a maioria das atividades do quotidiano. Os transportes representam um setor muito importante na sociedade. É um dos principais responsáveis pelo aumento da poluição atmosférica e sonora, que está associado ao seu elevado consumo energético de fontes não renováveis. O consumo energético deste setor representava, em 2015, cerca de 33,1% do consumo energético europeu, sendo o seu principal responsável, como se pode verificar na Figura 1.1. É seguido pelo consumo doméstico (25,4%), e pelo sector da indústria (25,3%) (1).

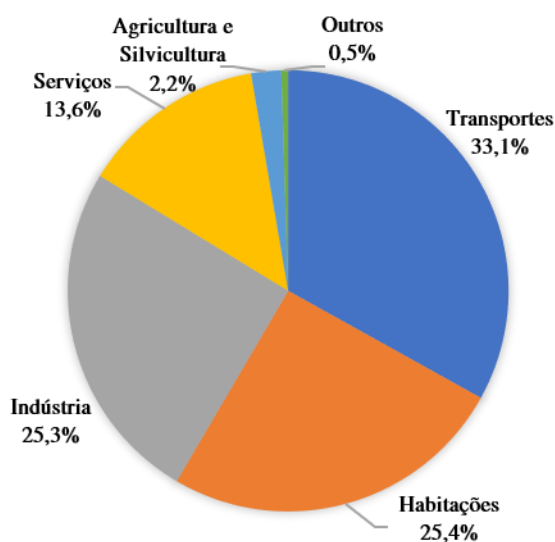


Figura 1.1 - Consumo energético europeu, EU-28, 2015 [adaptado de (1)].

Associado a este elevado consumo energético, estão as emissões de gases de efeito de estufa, fazendo deste setor o segundo maior responsável por estas emissões. Como se observar na Figura 1.2, em 2015 era causador de cerca de 23% das emissões de gases de efeito de estufa totais europeias (2).

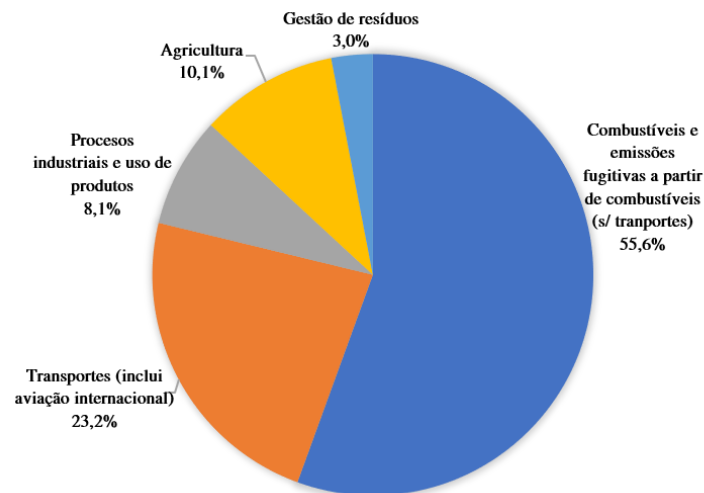


Figura 1.2 - Emissões de gases de efeito de estufa por setor, EU-28, 2015 [adaptado de (2)].

Dentro deste setor, o modo rodoviário é responsável por cerca de 73% das emissões de gases de efeito de estufa em 2015, seguido da aviação civil com 13,3%, e da navegação com 12,8% (3).

O automóvel é um dos meios de transportes menos eficientes, consumindo grandes quantidades de energia por passageiro para uma determinada distância, 2,37 MJ/Pas.km. Por outro lado, a bicicleta é o meio de transporte mais eficiente a nível energético, consumindo 0,06 MJ/Pass.km. 1 MJ é suficiente para um passageiro percorrer 17km (4).

Em Portugal, o automóvel é o meio de transporte mais utilizado para movimentos pendulares, contando com 62% da população em 2011. O transporte público mais utilizado é o autocarro, com uma utilização de 11,79% população Portuguesa em 2011. A bicicleta e motociclo são dos meios de transporte menos utilizados, com uma utilização de 1,71%, também em 2011 (5).

Segundo um estudo realizado em 2015, 74,1% dos portugueses referem que um dos seus três meios de transportes mais frequentes, como condutor, é o automóvel (não-elétrico ou híbrido), face aos 67,9% da média europeia. A bicicleta é o meio de transporte menos utilizado, apenas 6,8% dos

portugueses referiram como um dos seus três meios de transporte mais utilizados, em comparação com 21,9% a nível europeu (6).

Como foi referido anteriormente, os veículos motorizados são responsáveis por uma percentagem significativa das emissões poluentes, e problemas associados. Com vista a melhorar o bem-estar da sociedade, em particular a saúde pública, é importante fomentar meios de transporte alternativos, mais amigos do ambiente. Um aumento na segurança, convivência e conforto da mobilidade ciclável pode ser o caminho, juntamente com a diminuição da atratividade do uso de veículos motorizados (7).

Verifica-se que é nas cidades do litoral, e interior transmontano e alentejano que as pessoas tendem a andar mais a pé, sendo que no litoral a bicicleta e motociclo são mais utilizados. Nas cidades com menos habitantes (<10 000) há uma maior adesão ao modo pedonal, que pode ultrapassar os 50% do total de deslocações. Nas regiões do centro e sul, a bicicleta e o motociclo podem atingir os 10% do total de deslocações. O uso de transporte individual ronda entre 42% e 64%, sendo mais elevado na região centro (4). Nas cidades com uma população de 10 000 a 20 000 habitantes, mais de 14% das pessoas utilizam o modo pedonal, e até 25% da população utiliza a bicicleta ou motociclo. A utilização de transporte individual ultrapassa os 50% em várias cidades do centro do país (4). Por fim, nas cidades mais populosas (>20 000), o modo pedonal regista valores mais baixos, bem como a utilização de motociclos e bicicletas. Os valores do uso de transporte individual são muito elevados, atingindo os 65% (4).

O uso de bicicletas pode ser bastante vantajoso na vida das pessoas, na medida em que promove a prática de exercício físico. O aumento da atividade física reduz o risco de doenças cardiovasculares, psiquiátricas e respiratórias, diabetes, obesidade e alguns cancros. Por outro lado, a redução de gases poluentes reduz o número de fatalidades prematuras, contribuindo para o aumento da esperança média de vida saudável (7).

Um estudo realizado em 1986, demonstrou que um homem que tenha uma atividade física frequente tem um risco cerca de 28% menor de morte por qualquer causa, do que um homem com fraca atividade física. Este estudo demonstrou uma relação inversa entre a atividade física e a mortalidade, que deriva de uma influência positiva do exercício físico nas capacidades de sobrevivência dos indivíduos. Demonstrou-se que, em todas as idades, existe uma tendência intensa

para uma frequência de mortalidade menor à medida que a atividade física aumenta, principalmente devido a doenças cardiovasculares e respiratórias (8).

As pessoas que vivem em cidades menos compactas (com maior dispersão do uso de solo) têm tendência a ter menor atividade física e uma maior prevalência de hipertensão e obesidade, do que nas cidades mais compactas. Isto está associado à necessidade de realizar deslocamentos maiores levando a que se opte por utilizar veículos que não envolvam o esforço físico. Assim, é possível verificar que a forma das zonas urbanas pode ter um impacto significativo na saúde e nos comportamentos a ela associados (9).

Além disso, o aumento do uso de bicicletas, em detrimento da utilização de veículos motorizados, pode ser algo bastante importante para a redução da poluição atmosférica, melhorando a qualidade do ar e a saúde pública. Viagens curtas em veículos motorizados são mais poluentes por unidade de distância do que viagens longas, e estas podem ser facilmente substituídas por viagens de bicicleta ou a pé (10).

Além de benefícios ambientais e na saúde do uso de bicicletas, existem benefícios económicos. Para muitas pessoas, as suas maiores despesas provêm da aquisição e manutenção dos seus automóveis pessoais. O ciclismo é uma opção que pode melhorar a mobilidade das pessoas que não têm a possibilidade de adquirir e manter um automóvel ou, para as pessoas que possuam automóvel/eis, reduzir os gastos de manutenção. Numa perspetiva diferente, ao praticar exercício físico as pessoas melhoram o seu estado físico e psicológico, reduzindo as despesas de saúde e mortalidade. Adicionalmente, apostar no ciclismo pode também ser economicamente benéfico para o turismo nas cidades, já que as atividades ao ar livre são as mais populares para pessoas que se encontram de férias. Por outro lado, as empresas tendem a investir mais em locais com elevada qualidade de vida, visto que se torna mais fácil atrair trabalhadores exemplares nestes locais (10). Além disso, a bicicleta não requer uma aprendizagem especializada, sendo acessível a praticamente todas as camadas sociais (4).

Torna-se então importante promover e criar estratégias que incentivem o uso de bicicletas como meio de transporte, substituindo assim os veículos a motor. Existem vários fatores que influenciam o uso das bicicletas, como a rapidez das viagens, a topografia do local, o conforto, o clima, a segurança, a conveniência, entre outros. Segundo um estudo realizado em 2012 em Washington, as principais razões que incentivam a população a optar pela utilização de bicicletas são a facilidade e

rapidez no acesso ao destino, a capacidade de alcançar um maior número de destinos, o facto de se evitar o trânsito e de não se pagar estacionamento, e a facilidade e conveniência na sua utilização. A poupança nos custos pessoais de transporte mostrou-se outro fator significativo (11).

Os declives acentuados, o clima desfavorável e a grande distância de percurso são fatores dissuasivos à utilização de bicicletas. No entanto, segundo estudos americanos a maioria das viagens utilitárias são de distâncias inferiores a 4,8 km (10), sendo que os ciclistas aceitam percorrer distâncias máximas de 15 km (12). Devido ao trânsito considerável nas zonas urbanas e suburbanas (velocidades dos veículos a motor elevadas, tráfego elevado, falta de ciclovias, bermas reduzidas e poluição associada), muitas pessoas que poderiam usar a bicicleta como o seu meio de transporte não o fazem, pois consideram que o risco associado à sua segurança e saúde é muito elevado. Como foi referido anteriormente os fatores ambientais, como temperaturas elevadas, humidade elevada e chuva, constituem uma barreira à utilização de bicicletas. A falta de locais para estacionar e trancar as bicicletas de maneira a assegurar a sua segurança, mostra-se também outro fator que desencoraja as a pessoas à sua utilização. Associado a este facto, o roubo de bicicletas ou de alguns dos seus componentes é também um obstáculo considerável (10).

Num estudo realizado no Brasil, demonstrou-se que a segurança (dos ciclistas, infraestruturas para bicicletas e estacionamentos para bicicletas) são uma grande preocupação da população quando se refere ao uso de bicicletas. Outro fator importante é o conforto, e nele estão englobadas a rapidez das deslocações, o conforto da própria bicicleta, o esforço físico, o conforto térmico e a distância das deslocações. Verificou-se que a preocupação com o conforto está associada à falta de empatia com o ciclismo (13).

De modo a promover a utilização das bicicletas é essencial adotar medidas de modo a melhorar a conveniência, a segurança, o conforto e o apoio aos ciclistas. É importante garantir a continuidade das ciclovias, a acessibilidade às mesmas, maximizar o número de destinos possíveis, e minimizar a distância dos percursos. Por outro lado, o controlo de tráfego e velocidades praticadas por outros veículos é também importante. O interesse paisagístico pelo percurso e a aceitação social são também dois fatores determinantes, tornando importantes o investimento em espaços verdes e locais paisagisticamente mais agradáveis, e a educação da população para a utilização de modos de transporte sustentáveis. A criação de locais para o estacionamento de bicicletas de fácil acesso, é essencial à promoção do uso de bicicletas (12). Outra medida de promoção relevante, é a articulação

entre a rede de transportes públicos e utilização de bicicletas, criando postos de estacionamento junto aos locais de acesso à rede de transportes públicos (4).

Aveiro é uma das cidades nacionais com melhores condições para a utilização de bicicletas. Além de apresentar uma topologia favorável (o seu relevo é bastante plano), concentra os serviços e equipamentos numa área relativamente pequena. Por outro lado, é a cidade portuguesa pioneira no desenvolvimento de um projeto de bicicletas partilhadas, o projeto BUGA, e apresenta uma grande preocupação na promoção de modos de transporte suaves (14).

Pelo facto de a bicicleta ter uma forte implantação na região de Aveiro, no uso pessoal e indústria, e com vista a promover a ligação empresarial, às autarquias e a outras entidades, a Universidade de Aveiro criou a Plataforma Tecnológica da Bicicleta e Mobilidade Suave. Tem como objetivo o fluxo de conhecimentos e tecnologia sobre a bicicleta e outros modos de mobilidade suave, e promover a aderência ao uso de bicicletas, estimulando a sua indústria. Apoia projetos como o “Compromisso Pela Bicicleta”, “UA Bike Lab”, “Bike Data” e “Portugal Bike Value” (15).

O projeto “Compromisso Pela Bicicleta” tem como principal objetivo fomentar a utilização de bicicletas, melhorando a qualidade de vida da sociedade e defende uma economia mais sustentável e saudável. Promove estratégias para reduzir o número de deslocações em veículo individual, substituindo-as por deslocações em bicicleta, melhorando a saúde da população e reduzindo a dependência de combustíveis fósseis. Procura-se também incentivar a aquisição de bicicletas, estimulando a economia nacional. Para alcançar estes objetivos, com a ajuda da Plataforma Tecnológica da Bicicleta e Mobilidade Suave da Universidade de Aveiro, lançaram-se vários desafios anuais às autarquias e comunidades intermunicipais, bem como a várias entidades, que visam estimular as diferentes organizações a incentivar o uso regular da bicicleta (16).

O projeto “UA Cycling Lab” procura criar um “Concurso de Ideias para a Promoção da Mobilidade em Bicicleta na Região de Aveiro”, formando um laboratório interdisciplinar para a cocriação de outros projetos que fomentem a mobilidade em bicicleta na região de Aveiro. Um deles é o projeto da Universidade de Aveiro “UAUBike” que se encontra inserido no projeto “U-Bike Portugal”, que foca o ciclismo e a promoção de estratégias de mobilidade sustentáveis, com baixas emissões de poluentes, nas instituições de ensino superior portuguesas. O projeto “UAUBike” abrange os três *campi* da Universidade de Aveiro. Resulta do culminar de várias atividades no âmbito da mobilidade em bicicleta realizadas na Universidade de Aveiro. Efetuou-se a aquisição de 97

bicicletas elétricas e 142 convencionais destinadas a serem utilizadas pelos estudantes dos vários campi da Universidade de Aveiro, promovendo hábitos de ciclismo e mobilidade sustentável. Este projeto visa ainda, a criação de infraestruturas de apoio ao ciclismo na universidade, como estacionamento seguros para bicicletas e o desenvolvimento de produtos e serviços relacionados com a mobilidade em bicicleta e com os próprios ciclistas (17).

Como fruto de ideais de sustentabilidade e ecologia de alguns cidadãos, e com o movimento “Aveiro em Transição” cujo objetivo é construir uma comunidade resiliente, solidária e feliz, surgiu o projeto “Ciclaveiro”. O objetivo deste projeto é também, promover o uso da bicicleta no quotidiano, principalmente em movimentos pendulares. Para isso, suporta e trabalha noutros projetos que desenvolvem condições para que a utilização de bicicletas seja mais segura, fácil e cómoda. A sua motivação é o bem-estar da comunidade, a poupança de recursos, a sustentabilidade e a criação de uma cidade amiga do ambiente e das bicicletas (18).

1.1.2 Sistemas de bikesharing e a relevância de rastreabilidade de bicicletas

O conceito de *bikesharing* surgiu em 1965 em Amesterdão, com a introdução das White Bikes. Bicicletas normais foram pintadas de branco e foram disponibilizadas ao público, sendo deixadas destrancadas no exterior. Os utilizadores podiam usufruir das mesmas até aos seus destinos, deixando-as para outros utilizadores. No entanto, as bicicletas acabaram por ser vandalizadas e atiradas para os canais da cidade. Esta foi a primeira geração dos programas de *bikesharing*, caracterizada por não envolver quaisquer medidas de segurança ou pagamento (19). A segunda geração foi marcada pelo lançamento do projeto Bycyklen em Copenhaga no ano 1995. Foi o primeiro a implementar estações de ancoragem e o sistema de colocação de moeda. Estas medidas foram vantajosas no problema do roubo de bicicletas, no entanto este continuou a ser um problema visto que os utilizadores permaneciam anónimos e não existia limite temporal de utilização (20). Os problemas experienciados nas primeiras duas gerações de *bikesharing* levaram ao surgimento da terceira, caracterizada pela existência de estações de ancoragem próprias, bem como pelo pagamento e tecnologias de rastreamento. Inclui ainda outras tecnologias, como métodos de *check in* e *check out*. Apesar das bicicletas desta geração serem mais dispendiosas, permitem uma melhor gestão dos programas de *bikesharing* e desencorajam os seus furtos, por ser possível identificar o responsável (21). As características da quarta geração ainda não são bem claras, mas poderá passar por integrar

novas tecnologias como sistemas sem estação de ancoragem, assistência ao esforço físico, uso de *smartcards* e aplicações para *smartphones*, etc. (22)

Durante os últimos anos, os programas de *bikesharing* sofreram um enorme crescimento e, atualmente, existem mais de 1 500 programas no mundo, envolvendo mais de 12 milhões de bicicletas disponíveis para uso público (23). Como se pode verificar na Figura 1.3, o número de cidades com programas de *bikesharing* cresceu de uma forma praticamente exponencial entre 2001 e 2014, sendo a China a líder em número de bicicletas, contando com mais de 750 000 em 2014 (24).

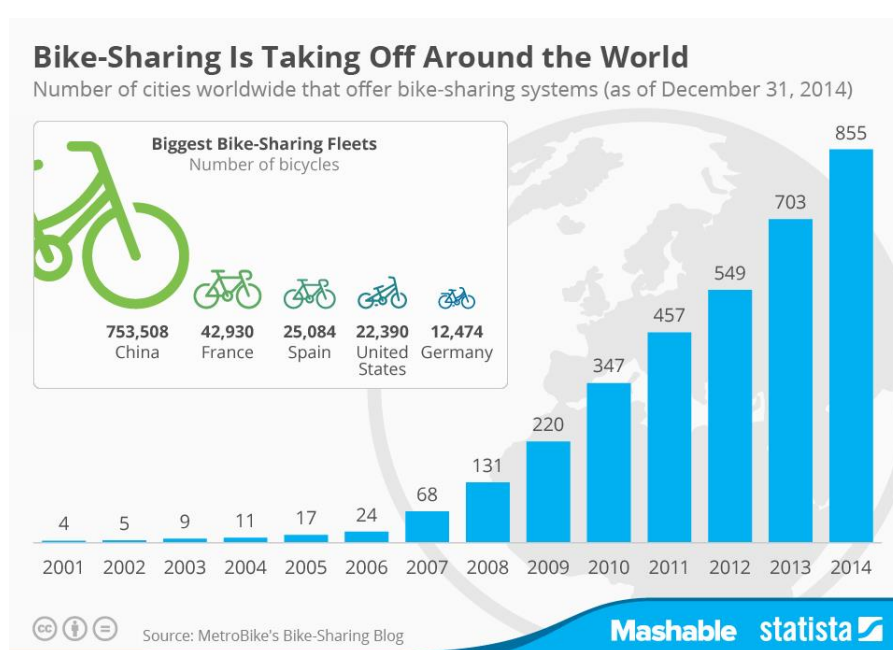


Figura 1.3 - Número de cidades com programas de *bikesharing* no mundo (24).

O serviço gratuito BUGA foi criado nos finais da década de 90, expandindo a oferta de serviços da cidade de Aveiro. Trouxe grande mérito à cidade pela sua originalidade e inspiração nos estilos de vida nórdicos. Consiste no aluguer gratuito de bicicletas por parte de indivíduos maiores de 16 anos, tendo como motivação a contribuição para comportamentos ecológicos, sustentáveis e de poupança. A utilização do serviço foi limitada à zona central da cidade de Aveiro, usando para isso sinalização vertical. Foi fruto de esforços da câmara Municipal de Aveiro, que em 1999 iniciou a revitalização e idealização de uma cidade ciclável, com amplas vias próprias para bicicletas. A primeira ciclovia foi criada na Av. Lourenço Peixinho. Entretanto, mais pistas para bicicletas foram construídas. A apresentação ao público do inédito serviço de *Bikesharing* aconteceu a 11 de julho de

1999, no entanto a fase experimental ao público só se iniciou a 17 de outubro de 1999, com 4 estações. Inicialmente o aluguer era efetuado pela introdução de uma moeda como caução. Um sistema de localização GPS foi aplicado para evitar possíveis furtos. No entanto, devido aos sucessivos furtos de peças, danificação dos veículos e falta de devolução nas estações adequados ao efeito, a maioria das BUGAs foram recolhidas para um armazém, e as restantes foram colocadas na loja BUGA, junto ao Fórum Aveiro. O serviço tornou-se menos cómodo e conveniente, em virtude de se tornar mais seguro e rígido. A partir desse momento, o sistema de aluguer passou a ser efetuado com a entrega de um documento de identificação como caução. O serviço afastou-se do objetivo inicial, de se tornar uma solução de transporte diário para a população Aveirense, e tornou-se maioritariamente turístico. Ao longo dos anos, tornou-se evidente que a maior fragilidade deste serviço é a falta de civismo por parte dos utilizadores que furtavam e danificavam seriamente as bicicletas. Como consequência, o serviço tem vindo a ser marginalizado pela população Aveirense, incluindo os estudantes da cidade (25).

Segundo Fishman et al., a principal motivação para utilizar programas de *bikesharing* é a sua conveniência, aproximando-se da existência de estação de ancoragem próximas do local de trabalho dos inquiridos (26).

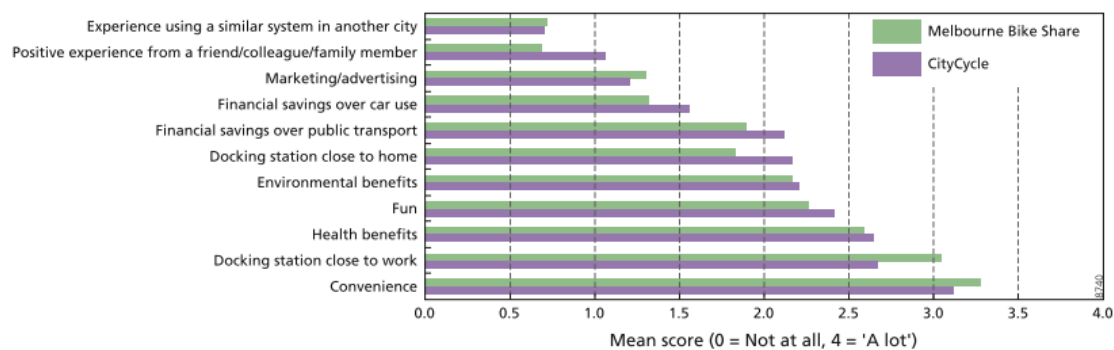


Figura 1.4 - Fatores motivadores ao uso de programas de *bikesharing* (26).

A poupança de dinheiro é também um fator motivador dos membros de *bikesharing*, embora não seja o mais significativo, como podemos verificar na Figura 1.4. Segundo um estudo realizado em Washington, os membros de programas de partilha de bicicletas poupam uma média de \$631 por ano em custos de mobilidade. A maioria dos utilizadores, cerca de 65%, usam estes programas para deslocações pendulares. Consideram que a utilização de bicicletas torna mais fácil e rápido chegar

aos seus destinos e possibilita o acesso a um número maior de destinos. Cerca de 69% dos utilizadores, juntaram-se ao programa por considerarem uma forma de mobilidade divertida. Cerca de 71% dos inquiridos referiram que utilizaram o programa para aceder a outros meios de transporte ocasionalmente (27).

Um programa de bikesharing, chamado CityCycle, foi implementado em Brisbane, na Austrália, em 2010. Num inquérito realizado em 2012 de um estudo de Fishman et al., uma das questões apresentadas foi “Se estivesses a considerar juntares-te ao CityCycle, em quanto estes fatores te desencorajariam?”, e os inquiridos deviam responder com uma pontuação de 0 (não, de todo) a 4 (muito). Os fatores apresentados no inquérito, bem como a média da pontuação associada a cada um deles, podem ser encontrados na Figura 1.5.

E. Fishman et al. / Journal of Transport Geography 41 (2014) 325–337

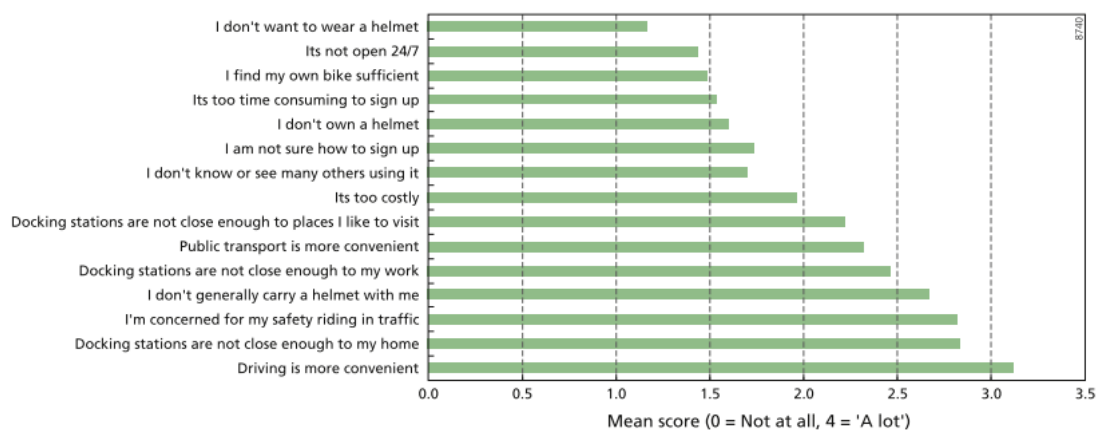


Figura 1.5 - Fatores desencorajadores ao bikesharing (26).

O facto de conduzir um veículo privado ser mais conveniente foi o fator que se mostrou mais desencorajador em relação ao uso do programa de bikesharing CityCycle. A distância das estações de ancoragem até às habitações dos inquiridos, bem como a preocupação pela segurança dos mesmos revelaram-se também como fatores desencorajadores (26).

Em locais em que o uso de capacete é obrigatório, como em Brisbane, esta obrigação está implicada num menor uso dos programas de bikesharing, pois reduz a espontaneidade associada ao uso dos programas de partilha de bicicletas. Adicionalmente, existe uma certa relutância em partilhar capacetes por razões de higiene (28).

1.2 Objetivos

O objetivo fulcral da presente dissertação é o desenvolvimento de uma plataforma laboratorial que permita a rastreabilidade de uma bicicleta, de maneira a melhorar a segurança do próprio veículo e do seu utilizador, bem como possibilitar a recolha de dados relativamente à mobilidade ciclável para posterior análise. Esta plataforma deve ter uma relação de custo/benefício elevada, de maneira a realizar um aproveitamento eficiente dos recursos disponíveis.

Tenciona-se desenvolver um sistema que permita determinar os trajetos percorridos, a posição (inclinação) da bicicleta e o tipo de condução de um utilizador relativamente a outros, bem como detetar eventuais acidentes e analisar as distâncias médias de ultrapassagem dos outros veículos. Algumas destas informações poderão ser verificadas em tempo real, através de uma interface com o utilizador.

Para alcançar as informações anteriormente descritas, o sistema permite a aquisição, em tempo real, das coordenadas geográficas da bicicleta, das acelerações lineares e velocidades angulares praticadas, da temperatura ambiente e da distância de ultrapassagem por parte de outros veículos. Estes dados deverão ser enviados em tempo real para uma base de dados remota que permite o tratamento dos mesmos e a atualização da interface com o utilizador.

1.3 Estrutura da dissertação

Como se pode verificar na Figura 1.6, a presente dissertação foi organizada em 7 capítulos e vários subcapítulos, de maneira a facilitar o acesso à informação pretendida pelo leitor.

No primeiro capítulo, são apresentados o enquadramento e os objetivos desta dissertação, bem como a estrutura da dissertação. Foi feita uma análise sobre os impactos do transporte rodoviário, a motivação para a mobilidade ciclável e sistemas de *bikesharing*.

No segundo capítulo apresenta-se a revisão bibliográfica, que permite uma familiarização com o tema da presente dissertação. Analisaram-se várias soluções de rastreabilidade e de bicicletas instrumentadas, permitindo a escolha das estratégias a adotar para atingir os objetivos definidos.

No terceiro capítulo, descreve-se a metodologia utilizada na presente dissertação. Dá-se a conhecer, de forma geral, todo o processo de desenvolvimento desta dissertação.

No quarto capítulo, expõe-se a arquitetura solução proposta, mostrando-se as funcionalidades pretendidas para o sistema, os seus fatores limitantes e o modelo conceptual da plataforma de rastreabilidade de bicicletas.

Segue-se o quinto capítulo, onde se exhibe e detalha a arquitetura do sistema e o desenvolvimento e escolhas de *hardware* e *software*. São ainda descritas as interligações e interações entre os vários componentes do sistema, e os percursos escolhidos para o teste do sistema.

No sexto capítulo, mostram-se os resultados obtidos nos vários testes efetuados para a plataforma de rastreabilidade de bicicletas. Efetua-se a sua análise e discussão, explicando os dados adquiridos e dando a conhecer a sua utilidade.

Por fim, no sétimo capítulo apresentam-se as conclusões alcançadas com a elaboração da presente dissertação, bem como sugestões para trabalhos futuros que levem em conta esta dissertação.

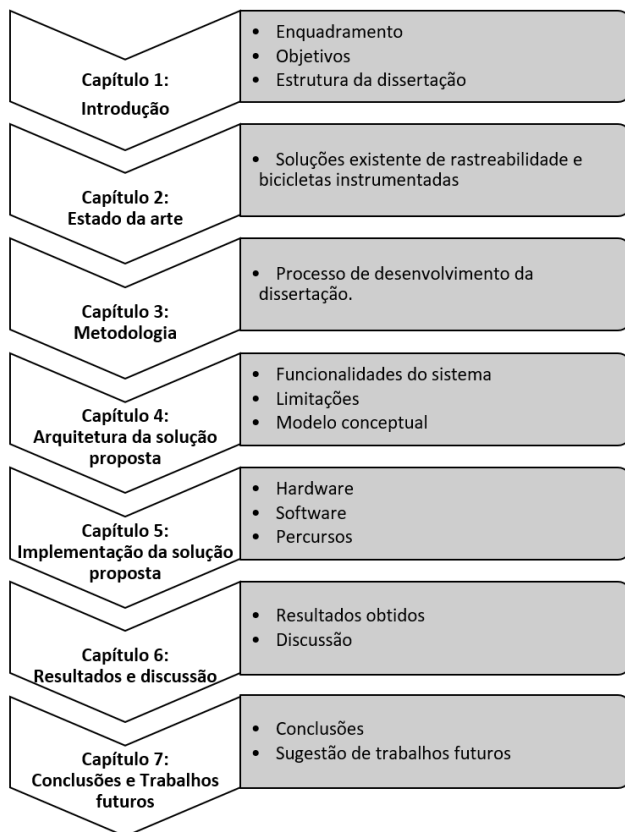


Figura 1.6 - Diagrama de fluxo da estrutura da dissertação.

Capítulo 2

Estado da arte

As bicicletas têm evoluído ao longo dos anos, tanto a nível estrutural com a introdução de novos materiais, como nos sistemas que nelas se integram. Esta evolução deve-se à competitividade existente nos dias de hoje e, portanto, da necessidade das empresas destacarem os seus produtos pela existência de algumas características que os diferenciam. De maneira a promover esta modernização, são efetuadas algumas pesquisas com recurso a bicicletas instrumentadas, de modo a identificar pontos de melhoria e diferenciação. Nelas são aplicados sensores e outros sistemas de forma a possibilitar a recolha dos dados pretendidos durante a utilização da bicicleta. Por outro lado, estes sistemas e sensores, tornam possível a rastreabilidade das bicicletas, promovendo a segurança e a investigação acerca de problemas relacionados com a mobilidade ciclável.

Para controlar os acidentes e roubos, Tanwar e Chaudhary criaram um sistema para instrumentar motos. Este engloba um *chip* programável no sistema de arranque da moto, que pode controlar a velocidade do veículo, autenticar o utilizador com uma chave, ligar/desligar o motor e localizar o veículo com recurso a GPS. Na Figura 2.1, podem-se analisar as conexões do *chip* deste sistema. Cada veículo possui uma identificação única, alojada no *chip*. É possível verificar a localização da moto e pará-la remotamente em caso de roubo. Caso o chip seja retirado do veículo, a conexão com a bateria do veículo e com o servidor é perdida, e é impossível ligar o veículo. A velocidade do motociclo pode ser controlada pelo *chip*, impedindo que o utilizador exceda um determinado limite e, portanto, funciona como uma medida de segurança com o intuito de reduzir a probabilidade de acidente rodoviário. No servidor é determinada a localização da moto, proveniente do GPS, e é calculada a velocidade. Consoante a mesma, são enviados comandos para o *chip* de modo a controlar a velocidade do veículo. Consoante a identificação do veículo, registada no *chip*, é ainda feita a autenticação do utilizador no servidor (29).

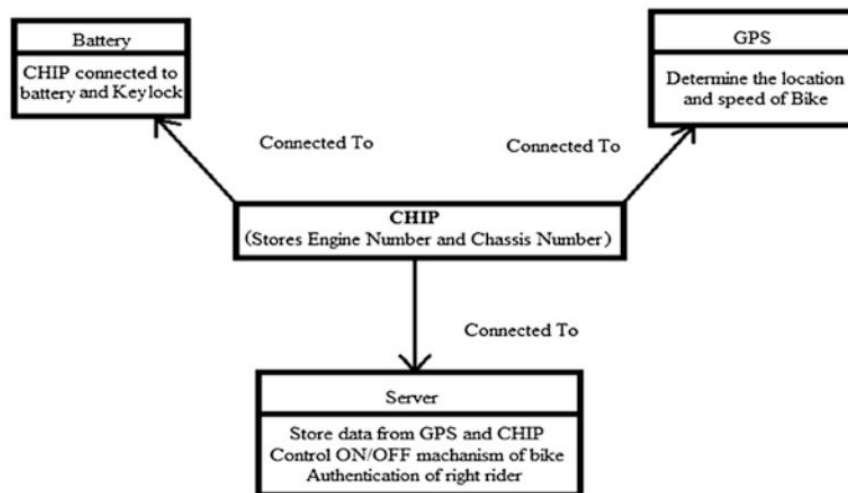


Figura 2.1 - Conexões do chip (29).

O utilizador tem três oportunidades para inserir a chave de acesso ao veículo. Se o número de tentativas for excedido, o sistema de bloqueio do *chip* é ativado pelo servidor. Para voltar a ser possível inserir a chave, o utilizador tem de contactar o servidor e autenticar-se com os identificadores do veículo (número do motor e chassis). (29)

A bicicleta é vista como um meio de transporte relativamente pouco seguro, e o aumento de acidentes rodoviários com ciclistas comprova-o. Com vista a atenuar este problema e melhorar a segurança dos ciclistas, e com especial foco nos acidentes com veículos pesados, foi desenvolvida uma solução tecnológica na Universidade de Londres, chamada Cyclist 360° Alert (30). Esta requer tanto a localização precisa e rastreamento em tempo real das bicicletas, como dos veículos motorizados, para que seja possível realizar a representação gráfica a 360°. Para esse efeito, mostrou-se que GPS e outras tecnologias não seriam adequadas, devido ao tamanho bastante reduzido de uma bicicleta, e porque a solução Cyclist 360° Alert requer uma precisão relativamente elevada para representar a posição relativa entre veículos. Visto que uma tecnologia isolada não satisfaria as necessidades do projeto, optou-se por um sistema de localização híbrido. A bicicleta deveria então ser equipada com *chips* de acelerómetro e giroscópio do tipo MEMS, um sensor de efeito de Hall e um Wi-Fi iTag. Ao longo da estrada teriam de existir estações de Wi-Fi. O Wi-Fi iTag efetua medições do movimento da bicicleta e envia os dados para o servidor via Wi-Fi, onde pelo menos três recetores recebem o sinal. Os dados são tratados no servidor, definindo a trajetória da bicicleta.

As coordenadas dessa trajetória são, posteriormente, enviadas para uma unidade de display no veículo motorizado, via Wi-Fi. Esses dados são depois tratados e representados graficamente no *display* do veículo, mostrando com precisão a localização dos ciclistas e evitando possíveis colisões (30).

Angel-Domenech et al, utilizaram uma bicicleta instrumentada com GPS, câmaras de filmar, sensores de distância e microfones (Figura 2.2) para analisar todos os incidentes com veículos e peões, na cidade de Valência em Espanha. Os parâmetros analisados foram o tempo até à colisão, a velocidade de conflito, o tempo pós-conflito e a percepção de risco subjetiva. Este estudo analisou 650 conflitos, 70% dos quais com peões, em 6 ciclovias diferentes. Mostrou-se que é possível detetar e analisar conflitos de uma bicicleta instrumentada em movimento, e assim permitir investigações nesta área em diferentes locais (31).



Figura 2.2 - Bicicleta instrumentada (31).

Num estudo realizado em Turim, em Itália, equipou-se uma bicicleta com sistema Raspberry conectado a câmaras de filmar, GPS, um scâner laser, um sistema de qualidade do ar e uma plataforma inercial. O sistema foi implementado e posteriormente testado na cidade, com vista a recolher informações sobre parâmetros de qualidade do ar, aquisição de imagem e dados geoespaciais da área urbana. Este protótipo permitiu analisar a geometria 3D da cidade usando mobilidade ciclável e sensores de preços acessíveis (32).

Um estudo realizado por Kai-Hsiang Chuang et al, procurou investigar como é que variados fatores influenciam as decisões dos motoristas acerca da distância inicial de ultrapassagem, e o

comportamento dos ciclistas, enquanto são ultrapassados. Para isso, foi usada uma bicicleta instrumentada com um sistema de posicionamento global, uma unidade que inclui acelerómetros, giroscópios e bússola, dois sensores de distância (um apontado para o lado direito e outro para o lado esquerdo, ambos para medir distâncias de passagem), uma câmara, um potenciómetro (para registar o ângulo do guiador da bicicleta) e interruptores de proximidade (permitem determinar a velocidade da bicicleta, através da velocidade angular da roda traseira). Trinta e quatro universitários participantes utilizaram a bicicleta instrumentada em trânsito real, e foram registadas 1380 ultrapassagens pelo lado esquerdo. Os fatores estudados foram separados nas seguintes categorias: veículo motorizado (tempo de ultrapassagem e tipo de veículo motorizado); estrada (qualidade do piso, existência de separador central e existência de separação para trânsito lento); utilizador da bicicleta (género, valor médio e variância do ângulo do guiador, valor médio e variância da velocidade, valor médio e variância da distância de ultrapassagem). Demonstrou-se que estes fatores estudados influenciam as decisões de distância de ultrapassagem por parte dos motoristas, a posição dos ciclistas, o ângulo do guiador da bicicleta e os comportamentos de controlo de velocidade por parte do utilizador da bicicleta (33).

Noutro estudo, desenvolveu-se um sistema de baixo custo e de reduzidas dimensões e peso, para uma bicicleta. Este permite detetar e rastrear veículos que seguem a mesma. Para isso, foi instalado um sensor de feixe laser numa plataforma rotacional ativamente controlada, de maneira a focar o veículo pretendido. O sensor mede distâncias até 35 m, no entanto tem um único feixe laser e baixa frequência de aquisição de dados, levantando desafios nas medições de posição e orientação do alvo. Para rastrear o alvo com eficácia, foi desenvolvido um algoritmo que determina a orientação correta para o sensor, em tempo real (34).

Na Universidade de Aveiro, foi criado um protótipo com vista a monitorizar os percursos cicláveis da cidade. Para a interface do utilizador com o sistema, utilizou-se também uma aplicação Android. Uma bicicleta foi equipada com um microcontrolador que comunicava com a aplicação Android por *bluetooth*, enviando os dados recolhidos por um módulo GPS e um módulo acelerómetro e giroscópio. Foi possível obter perfis de velocidade e altitude, perfis de acelerações lineares a nível tridimensional e ângulos de rotação no plano. Assim, compararam-se diversos percursos na cidade de Aveiro a nível de tempo de viagem, número de paragens, variações de altitude e valores de

aceleração, permitindo-se assim concluir qual o melhor trajeto e mais seguro entre dois pontos da cidade (35).

Também na Universidade de Aveiro foi desenvolvida uma plataforma laboratorial de bicicletas, de maneira a auxiliar os ciclistas nas suas deslocações, que se pode observar na Figura 2.3. Com um sensor de distância, mediram-se as distâncias de ultrapassagem de outros veículos, alertando o ciclista na sua aproximação. O alerta era feito com recurso a uma aplicação Android que monitorizava os valores de distância recolhidos. O sistema foi implementado e testado na cidade de Aveiro, e beneficiou-se deste modelo para investigar as distâncias de ultrapassagem praticadas. A bicicleta foi instrumentada com um sensor de distância (testaram-se dois), uma câmara de filmar, um módulo GPS, um módulo acelerómetro e giroscópio e um Arduino que comunicava por bluetooth com a aplicação Android de um Smartphone (36).



Figura 2.3 - Protótipo de plataforma laboratorial de segurança para ciclistas (36).

No sistema COBI.bike criou-se uma forma para integrar os *smartphones* nas bicicletas, melhorando a segurança, a conveniências e também a atratividade pelo ciclismo. Inclui um encaixe para o telemóvel que permite carregar a bateria do telemóvel, uma aplicação para o *smartphone* que inclui um sistema de navegação utilizando o GPS do dispositivo, um sistema de iluminação sensível à luz ambiente e um sistema de segurança. Um altifalante à prova de água atua como buzina, mas também como alarme em caso de roubo. Este sistema utiliza um acelerómetro para identificar roubos

em curso, ativando um alarme sonoro e luminoso. O alarme é desativado quando o utilizador se aproxima com o telemóvel (37).

A bicicleta Vanhawks Valour incorpora tecnologia integrada para favorecer a segurança pessoal. É possível conectar o *smartphone* à bicicleta para obter direções. Consequentemente, LED's colocados no guidador acendem quando é necessário virar, indicando a direção. Encontra-se também no guidador um sistema de *feedback* por vibração que serve para alertar o ciclista caso sejam detetados veículos ou outros objetos próximos, no ângulo morto do ciclista. A deteção dos veículos e outros objetos, é feita com recurso a sensores de distância por ultrassons. Em caso de roubo, a bicicleta pode ser localizada quando outra Valour. Aliando a conectividade Wi-fi Direct do sistema integrado das bicicletas com o sistema de localização GPS do *smartphone* do utilizador da outra bicicleta, é enviada uma mensagem para o proprietário da bicicleta roubada (38).

Com vista a tornar possível o rastreamento de uma bicicleta vulgar, foi criado o dispositivo BikeSpike. Este sistema, depois de colocado no veículo, localiza-o e envia os dados para um dispositivo como um *smartphone* ou computador. Se a bicicleta for roubada, é enviada a sua localização através de um email. Este dispositivo inclui ainda um acelerómetro que permite detetar acidentes. Envia, posteriormente, a informação da ocorrência de acidente e localização para contactos previamente definidos pelo utilizador. O sistema permite, ainda, delimitar uma “zona segura” e alertar o proprietário caso a bicicleta saia dessa zona (39).

Os dispositivos para bicicleta Spybike são providos de tecnologia de rastreamento. São produtos desenhados para aparentarem como componentes de bicicletas standard, no entanto têm integrados sistemas de rastreamento GPS, permitindo a localização da bicicleta. Estes dispositivos utilizam tecnologia GPS e GSM para localizar a bicicleta e enviar a sua localização por mensagem de texto ou email para o utilizador. O sistema deve ser ativado pelo utilizador quando estaciona a bicicleta. No entanto, o mesmo pode ser ativado remotamente por mensagem de texto ou email. Se a bicicleta for movida do local, uma mensagem de texto é enviada para o proprietário. Entretanto, o proprietário pode rastrear a bicicleta online, ou num *smartphone* usando o sistema de rastreamento em tempo real da Spybike. O sistema inclui um cartão SIM pré-pago, que possibilita a comunicação através de GSM, e requer um carregamento mensal (40).

Os Helios Bars (Figura 2.4) são guidadores completos para bicicleta. Estes são instrumentados com iluminação consoante a proximidade do utilizador, luzes de desvio, rastreamento GPS, velocímetro

e sistema de navegação. Utiliza também um sistema GSM, permitindo que o utilizador envie uma SMS de solicitação de localização para a bicicleta, e receba a resposta vinda do veículo com a sua localização. O módulo de GPS e GSM contém baterias de reserva que podem durar até 15 dias permitindo que, mesmo que a bicicleta seja roubada e as baterias principais sejam retiradas, seja possível rastrear a bicicleta. O velocímetro utiliza as funções de GPS do telemóvel do utilizador para determinar a velocidade a que o veículo se desloca, mudando a cor dos LED's do guiador consoante a velocidade (41).

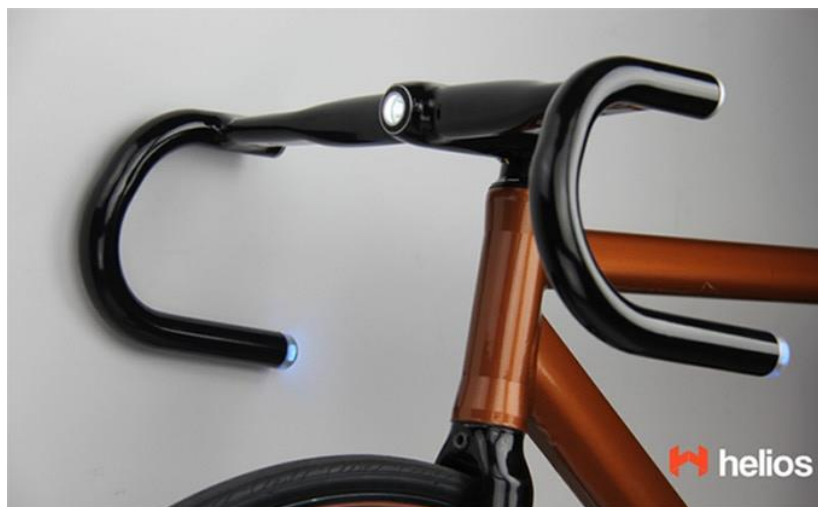


Figura 2.4 - Guiador Helios (41).

De maneira a resolver o inconveniente de ser necessária uma chave física para destrancar um cadeado, o engenheiro Mehrdad Majzoobi criou o cadeado para bicicletas BitLock, um cadeado que é controlado usando uma aplicação para *smartphone*. Quando o telemóvel se aproxima do cadeado, este destranca automaticamente. Pelo contrário, quando se afasta, o cadeado tranca e bloqueia a bicicleta. Para isso, é utilizada uma conexão *bluetooth* entre o cadeado e o telemóvel. O ato de trancar ou destrancar pode também ser controlado manualmente, usando a app no telemóvel. Este dispositivo tem também integrado um módulo de GPS, permitindo localizar a bicicleta através da app. Permite ainda criar grupos de pessoas que podem ter acesso à bicicleta, também através da aplicação (42).

Outro sistema semelhante ao anterior, que se pode observar na Figura 2.5, é o Lock8. Tal como no cadeado BitLock, também não é necessária uma chave, bastando usar um *smartphone* como e-key para desbloquear este *smart bike lock*. Também tem integrados chips de GPS e GSM, possibilitando a sua localização e conexão à internet. É possível rastrear a bicicleta que integra este sistema em

tempo real, utilizando para isso a app desenvolvida para o dispositivo Lock8. De maneira a desencorajar e evitar roubos, o Lock8 tem vários sistemas de segurança, além de ser possível rastrear a sua localização. Contém um *smart cable*, que possibilita o envio de uma notificação caso o mesmo seja cortado. Além disso, o dispositivo é provido de um acelerómetro que deteta perturbações na bicicleta. Por fim, tem ainda um sensor de temperatura que deteta temperatura anormais, evitando que o cadeado possa ser fragilizado por um congelamento ou com uma tocha. O Lock8 permite ao utilizador partilhar e-keys com outras pessoas e arrendar a bicicleta. As baterias deste sistema são recarregadas quando a bicicleta é utilizada (43).



Figura 2.5 - Sistema Lock8 (43).

Na Tabela 2.1 podem-se verificar os custos mínimos de aquisição das várias soluções comerciais. Este preço exclui taxas de transporte, e considera o kit mais básico nos casos em que existem vários.

Tabela 2.1 - Preço mínimo de aquisição aproximado dos sistemas apresentados

<i>Produto</i>	<i>Preço de aquisição</i>
<i>COBI.bike</i>	250€
<i>Vanhawks Valour</i>	770€
<i>SPYBIKE</i>	105€
<i>Helios Bars</i>	240€
<i>BITLOCK</i>	70€
<i>LOCK8</i>	90€ (já não se encontra no mercado)
<i>BIKESPIKE</i>	110€

Capítulo 3

Metodologia

Neste capítulo, apresenta-se a metodologia utilizada para o desenvolvimento desta dissertação. Ao longo da sua elaboração, foram feitas várias escolhas em resposta a vários desafios, tanto ao nível de *hardware*, como de *software* e organização de tarefas, entre outros. Procura-se então dar a conhecer, de forma cronológica, as tarefas efetuadas ao longo do desenvolvimento desta dissertação. Na Figura 3.1, encontra-se um fluxograma simplificado das mesmas.

Numa primeira fase, efetuou-se um enquadramento desta dissertação de maneira a entender melhor o problema proposto e a sua importância na nossa sociedade. Esta tarefa encontra-se no primeiro capítulo. Torna-se evidente a importância da rastreabilidade de bicicletas para o aumento da segurança das mesmas e, também, dos seus utilizadores. A presente dissertação procura dar resposta a este problema com o desenvolvimento de um sistema de rastreabilidade que minimize incidentes relacionados com a segurança, e permita a compreensão dos mesmos.

De seguida, efetuou-se uma revisão bibliográfica de maneira a compreender os sistemas atuais de bicicletas instrumentadas e a sua utilidade. Esta fase da dissertação encontra-se no segundo capítulo. Verificou-se que as bicicletas podem ser instrumentadas com variados tipos de sensores e sistemas, com vista a resolver variados problemas. No entanto, notou-se que no âmbito da rastreabilidade, a utilização de GPS é essencial de forma a localizar a bicicleta em tempo real. A par do mesmo, percebeu-se que é também importante a utilização de uma unidade de processamento de movimento, com acelerómetros e giroscópios, de maneira a monitorizar a dinâmica do veículo. Considerou-se também importante a utilização de um sensor de distância para analisar o comportamento dos outros utilizadores das vias rodoviárias perante o ciclismo.

Após ter conhecimento das soluções existentes, e tendo em conta o enquadramento desta dissertação e seus objetivos, procedeu-se ao planeamento do sistema a desenvolver, definindo-se as funcionalidades do sistema pretendidas e elaborando um modelo de conceito para o sistema. De seguida, analisaram-se as vantagens e as desvantagens da implementação das funcionalidades pretendidas na plataforma de rastreabilidade de bicicletas, de forma a compreender e criar estratégias para minimizar o efeito das suas limitações.

Posto isto, foi efetuada a seleção e/ou desenvolvimento do *hardware* e *software*. Inicialmente, foi desenvolvida a base de dados para possibilitar a verificação dos resultados de futuros testes. Estudaram-se então estratégias e métodos para a programação adequada do microcontrolador, de modo a possibilitar o controlo correto dos seus periféricos. Para isso, foram desenvolvidos vários programas que controlavam apenas uma parte dos periféricos existentes, facilitando os seus testes e *debug*. Assim que se desenvolveram os programas de controlo para todos os periféricos, estes foram fundidos e organizados num só programa capaz de controlar todos os periféricos através do microcontrolador. O circuito com os componentes principais da plataforma foi montado numa *breadboard* e efetuaram-se testes para a deteção de *bugs* no código e problemas de *hardware*. Foram testados vários periféricos e selecionaram-se os que melhores resultados apresentavam.

Com esta etapa concluída, o circuito desenvolvido foi montado numa *perfboard* de forma a tornar a plataforma mais compacta e robusta. De seguida, começou-se a desenvolver o sistema de alimentação da plataforma instalada na bicicleta. Foi então montado o circuito desenvolvido para o efeito numa *perfboard*. Por fim, todo o sistema a instalar na bicicleta foi montado num recipiente que foi, por sua vez, instalado na bicicleta de teste.

Seguidamente, desenvolveu-se a interface do sistema com o utilizador. Após o aprofundamento de conhecimentos acerca de várias linguagens *web*, foi construída uma *web page* focada, essencialmente, no aspeto e facilidade de navegação da página.

Posto isto, definiram-se os percursos e iniciaram-se os testes da plataforma de rastreabilidade de bicicletas no exterior. Os dados foram recolhidos e guardados para 4 percursos diferentes. De seguida, efetuou-se o tratamento e a discussão dos mesmos.

Por fim, foram consideradas e analisadas as conclusões retiradas de todo o processo de desenvolvimento desta dissertação e concluiu-se a redação do documento.

Na Figura 3.2, encontra-se o cronograma das tarefas efetuadas ao longo do desenvolvimento desta dissertação.

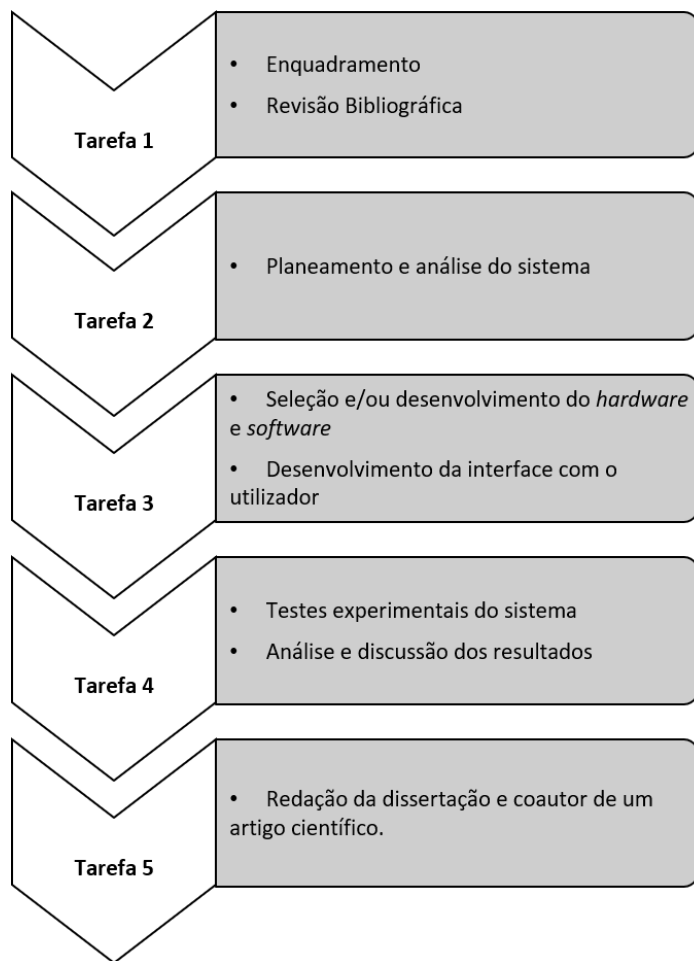


Figura 3.1 - Fluxograma das tarefas efetuadas.

Tarefa	1º Semestre	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro
1	■	■	■						
2			■	■					
3				■	■	■			
4						■	■		
5	■	■	■					■	■

Figura 3.2 - Cronograma das tarefas efetuadas.

Capítulo 4

Arquitetura da solução proposta

Neste capítulo, apresenta-se um estudo das necessidades e limitações da plataforma de rastreabilidade para bicicletas. Após esta verificação, apresenta-se um modelo conceptual para a solução proposta, numa perspetiva abrangente e generalizada.

4.1 Funcionalidades da plataforma

Como foi referido anteriormente, esta plataforma destina-se à rastreabilidade de uma bicicleta. Deverá efetuar a aquisição de dados em tempo real e enviá-los para uma base de dados remota, sendo posteriormente possível visualizar e analisar os mesmos através de uma interface.

O sistema deverá então ser capaz de satisfazer as seguintes funcionalidades:

- Aquisição de dados relativamente ao posicionamento geográfico da bicicleta;
- Aquisição de dados acerca das acelerações lineares e velocidades angulares desenvolvidas no veículo, e temperatura ambiente;
- Aquisição de dados sobre distâncias de ultrapassagem em relação a outros veículos;
- Envio dos dados recolhidos para uma base de dados remota;
- Possibilidade de consulta e análise das informações acumuladas na base de dados através de uma interface.

4.2 Fatores limitantes

Pelo facto desta plataforma ser implementada numa bicicleta, a sua portabilidade é crucial. No entanto, esta sua característica assim como outros fatores, levantam algumas limitações no projeto deste sistema. São elas:

- Dimensões reduzidas;
- Alimentação a partir de uma fonte portátil;
- Consumo energético limitado;
- Comunicação *wireless*;
- Robustez, autodeteção de erros e autorrecuperação;
- Minimização de custos.

Estes fatores limitantes devem, no entanto, ser ultrapassados e resolvidos. As estratégias para o fazer serão apresentadas no Capítulo 5.

4.3 Modelo conceptual

As soluções apresentadas no segundo capítulo não satisfazem individualmente todas as funcionalidades pretendidas para a plataforma de rastreabilidade. Por outro lado, as soluções comerciais apresentadas apresentam ainda um grande inconveniente, o seu custo.

Nesse sentido, desenvolveu-se um produto de modo a satisfazer todos os objetivos definidos para presente dissertação. Para isso, este foi dividido em três partes:

- Módulo instalado na bicicleta: destina-se à aquisição de dados e ao envio dos mesmos para o servidor que incorpora a base de dados.
- Servidor: incorpora a base de dados que se destina à acumulação dos dados recolhidos pela bicicleta, e contém os ficheiros destinados à *webpage* reservada para consulta e análise dos dados.
- Interface: trata-se de um dispositivo que permita o acesso à internet e que permita a utilização de um browser, de modo a possibilitar a navegação na *webpage* desenvolvida. A interface do sistema, propriamente dita, não foi desenvolvida no âmbito desta dissertação, mas sim uma *webpage* que pode ser acedida por um desses dispositivos.

O sistema desenvolvido é, portanto, composto por uma componente portátil, instalada na bicicleta, e por uma componente estática, composta pelo servidor.

Na Figura 4.1, podem-se verificar os fluxos de informação útil ao utilizador entre cada parte do sistema desenvolvido. Através da internet, os dados recolhidos na bicicleta são enviados para o servidor, mais especificamente, para a base de dados. Esta armazena os dados recebidos e mantém-

nos disponíveis. Quando o utilizador acede à página *web*, através de um *browser*, a base de dados é consultada e os dados são enviados e expostos na interface para com o utilizador.

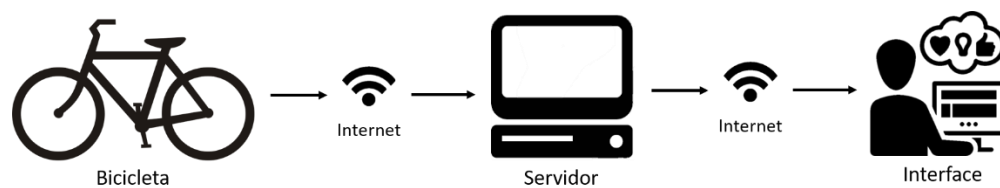


Figura 4.1 - Modelo conceptual da plataforma de rastreabilidade.

Capítulo 5

Implementação da solução proposta

No presente capítulo, pretende-se apresentar e detalhar o desenvolvimento e escolhas de *hardware* e *software*, bem como a estrutura aprofundada do sistema. Explicar-se-ão os fluxos de dados ao longo da plataforma, as funções e funcionamento dos componentes de *hardware* do sistema e o *software* desenvolvido para o correto funcionamento de toda a plataforma. Por fim, serão detalhados os percursos escolhidos para os testes do sistema.

Na Figura 5.1, pode-se examinar a arquitetura detalhada da plataforma de rastreabilidade desenvolvida, bem como os seus fluxos de informação.

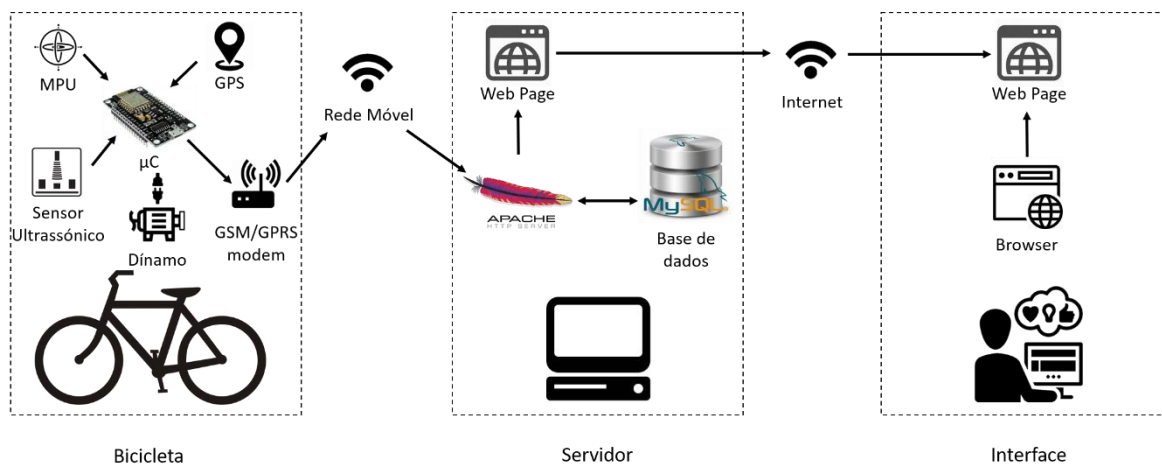


Figura 5.1 - Arquitetura detalhada do sistema.

Como referido anteriormente, o sistema está organizado em três partes. O módulo instalado na bicicleta é composto por um microcontrolador que recebe os dados provenientes do módulo de GPS, da unidade de processamento de movimento (MPU) e do sensor de distância. Após realizar um

pré-processamento dos mesmos, envia-os para o módulo GSM/GPRS, que é responsável pelo envio dos dados para o servidor, através de uma rede móvel.

Na Figura 5.2, pode-se ver a caixa com o sistema de rastreabilidade desenvolvido e utilizado para os testes efetuados na presente dissertação. Como se pode verificar, é composto por várias componentes de *hardware* e ligações elétricas. Foram utilizadas *perboards* para facilitar as ligações e tornar o sistema mais compacto. No entanto, foi posteriormente desenvolvida uma placa de circuito impresso de forma a evitar as ligações com fios elétricos, tornando o sistema mais robusto e compacto. A PCB desenvolvida pode-se verificar no Anexo B.

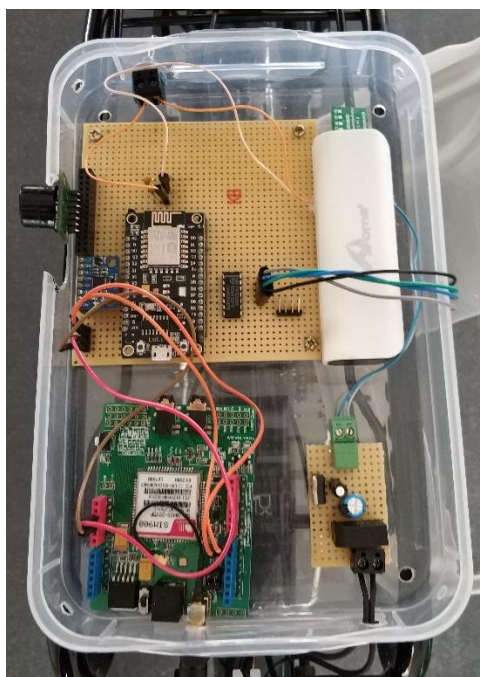


Figura 5.2 - Sistema de rastreabilidade instalado na bicileta

No servidor, encontram-se a base de dados e a *webpage*, e é através do *software* APACHE. Os dados recebidos pelo servidor são guardados na base de dados. Sempre que o servidor recebe pedidos de consulta, os dados são organizados numa *webpage* de maneira a permitir a sua consulta e análise, através de uma interface com o utilizador. Como foi referido, esta interface trata-se de qualquer dispositivo com conexão à internet e possibilidade de utilização de um *browser*.

5.1 Hardware

O *hardware* desta plataforma é o conjunto de todos os componentes que a compõem e que possibilitam as várias funcionalidades da mesma.

O *hardware* utilizado no desenvolvimento desta dissertação encontra-se dividido em duas partes: o sistema instalado na bicicleta e o servidor. Quanto ao *hardware* utilizado para a interface com o cliente (por exemplo um *smartphone*), não é necessária a utilização de um dispositivo específico. Como foi referido anteriormente, apenas é necessária a utilização de um dispositivo com ligação à internet, que permita a utilização de um *browser*. Por haver vastas possibilidades para o *hardware* utilizado na interface com o cliente, este não será abordado em detalhe na presente dissertação.

5.1.1 Bicicleta

Nesta secção, apresentam-se os componentes que compõem o sistema destinado à instalação na bicicleta, explorando algumas das suas principais características. Esta parte da plataforma de rastreabilidade de bicicletas, é composta por um microcontrolador (ESP8266), pelos periféricos (módulo GPS, módulo GSM/GPRS, unidade de processamento de movimento, sensor de distância) e sistema de alimentação.

Na Tabela 5.1 pode-se verificar a lista de componentes instalados na bicicleta, bem como a margem de custo estimada por unidade para cada um deles, excluindo taxas de transporte.

A principal preocupação que levou à seleção dos mesmos, paralelamente ao seu desempenho eficaz no sistema, foi o preço de cada um deles. Como foi referido no primeiro capítulo, um dos grandes objetivos no desenvolvimento desta plataforma, é uma relação custo/benefício elevada.

O esquema elétrico do sistema pode ser consultado na Anexo A, onde se encontram representados todos os componentes de *hardware* utilizados na bicicleta, e as respetivas ligações elétricas. Para tornar o sistema mais robusto e compacto, foi desenvolvida uma PCB que acomoda o microcontrolador e todos os seus periféricos. Além permitir reduzir as dimensões do sistema, torna as ligações elétricas mais fiáveis. A PCB desenvolvida pode ser verificada no Anexo B, onde se encontram representadas as suas camadas.

Tabela 5.1 - Lista de componentes.

<i>Numeração</i>	<i>Componente</i>	<i>Preço</i>
1	ESP8266 NodeMCU WiFi Devkit	2,50 - 5€
2	Módulo GPS-NEO-M8N	10 - 15€
3	Módulo MPU 6050	1 - 2,50€
4	Módulo SIM900	10 - 15€
5	74HC08N	0,05 – 0,20€
6	LV-MaxSonar-EZ1	15 - 25€
7	Bateria e sistema de carregamento	6 - 8€
8	AXA Duo Dynamo	7 - 8€
<i>Total</i>		51,55€ - 78,70€

5.1.1.1 ESP8266

O ESP8266 é um microcontrolador desenvolvido pela Espressif Systems. Um microcontrolador é um circuito integrado, capaz de armazenar e processar instruções a partir do *software* desenvolvido e nele compilado. É um componente essencial neste sistema, pois permite a gestão dos periféricos utilizados na bicicleta, possibilitando a fluência de dados ao longo do sistema (44).

A placa ESP8266 NodeMCU WiFi Devkit, representada na Figura 5.3, foi utilizada para armazenar e executar o programa desenvolvido no *software* Arduino (IDE), de modo a possibilitar o funcionamento de todo o sistema de rastreabilidade (44).

Principais especificações técnicas (44):

- Diferença de Potencial: 3.3V;
- Wifi Direct (P2P), soft-AP;
- Protocolo TCP/IP integrado;
- Memória Flash: 16MB;
- Processador: Tensilica L106 32-bit, 80~160MHz;
- RAM: 32kB + 80kB;
- 17 GPIO's.



Figura 5.3 - ESP8266 NodeMCU Devkit.

5.1.1.2 GPS-NEO-M8N

O módulo de GNSS (sistema de navegação global por satélite) utilizado no sistema foi o GPS-NEO-M8N da U-Blox, integrado na placa GY-GPSV3-NEO. Este dispositivo possibilita a obtenção das coordenadas de localização do veículo em tempo real. Apresenta um baixo consumo energético, pode ser alimentado com tensões entre 2.7V e 3.6V e apresenta correntes médias na ordem dos 30 mA, podendo atingir um máximo de 67mA. Devido a um regulador de tensão existente na placa GY-GPSV3-NEO que se pode observar na Figura 5.4, o módulo pode ser alimentado com tensão entre os 3V e 5V. Esta apresenta dimensões reduzidas (25x35mm [placa] + 25x25mm [antena]), algo bastante vantajoso para a instalação do sistema na bicicleta. O dispositivo GPS-NEO-M8N permite várias interfaces de comunicação. No entanto, a placa que o integra neste caso utiliza uma interface UART (45).

Este dispositivo está preparado para receber sinais de múltiplos sistemas GNSS, como GPS/QZSS, GLONASS e BeiDou. Pode também receber sinais do sistema de satélites da União Europeia, Galileo, após uma atualização de *firmware*. Por defeito, o recetor deste dispositivo está configurado para a receção de sinais de GPS e GLONASS (45).

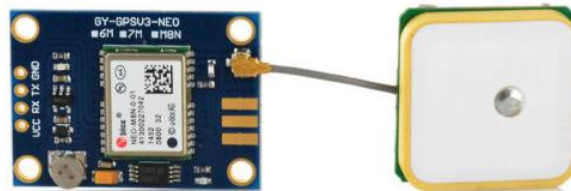


Figura 5.4 - Módulo GPS-NEO-M8N.

O sistema GPS é uma utilidade pertencente aos Estados Unidos da América que fornece serviços de posição, navegação e tempo. Consiste em três segmentos:

- O segmento do espaço: engloba 24 satélites operacionais que transmitem sinais unidirecionalmente que fornecem a posição, data e hora do satélite;
- O segmento de controlo: consiste em estações que monitorizam e controlam os satélites;
- O segmento do utilizador: consiste em equipamentos de receção GPS, que recebem os sinais provenientes dos satélites e os usam para efetuar os cálculos de posição tridimensional (46).

O sistema GLONASS é um sistema GNSS russo, semelhante ao sistema GPS. Segue a mesma organização em três segmentos, e o segmento do espaço contém também 24 satélites (47).

O sistema de navegação global por satélite Europeu Galileo é também similar aos sistemas GPS e GLONASS. No entanto, segundo a Agência Europeia de Sistemas de Navegação Global por Satélite, o sistema beneficia de uma precisão acrescida e de serviços de resposta a emergências. Atualmente, este programa contém 22 satélites em órbita. No entanto, prevê-se que a constelação esteja completa no ano 2020 com 30 satélites. Este sistema fornece uma alternativa civil aos programas não civis GPS e GLONASS (48).

O módulo GNSS utilizado no sistema de rastreabilidade de bicicletas desenvolvido, usa o protocolo de dados NMEA 0183 para a troca de dados com outros dispositivos (45). A norma NMEA 0183, desenvolvida pela *National Marine Electronics Association*, é destinada à definição de interfaces elétricas e protocolos de dados para comunicações entre instrumentação marinha. Define um formato normalizado para as mensagens trocadas entre dispositivos de navegação, evitando problemas de compatibilidade (49). Atualmente, o protocolo de dados NMEA é um padrão para o formato das mensagens de dados da maioria dos fabricantes de dispositivos GNSS. Assim torna-se possível a utilização de diferentes componentes de *hardware* e *software*, evitando problemas de compatibilidade (50). Neste protocolo, os dados são transmitidos na forma de frases, compostas apenas por caracteres ASCII. Todas as frases se iniciam pelo símbolo “\$” e terminam com os caracteres <CR><LF> (*carriage return e line feed*). Existem três tipos de frases (49):

- Frases de locutor: as duas letras seguintes ao carácter “\$” identificam o locutor. Os três caracteres seguintes são os indentificadores da frase, e são seguidos de vários campos de dados separados por vírgulas. A frase termina com o caractere “*”, seguido de um *checksum* opcional e dos caracteres *carriage return e line feed*.

- Frases de proprietário: permite que os fabricantes definam formatos próprios. Estas frases iniciam-se com os caracteres “\$P”.
- Frases de consulta: Serve para um dispositivo de escuta solicitar uma frase específica de um dispositivo locutor. Neste caso, o quinto caracter é sempre “Q”, definindo que a mensagem é do tipo *query*.

5.1.1.3 MPU-6050

O dispositivo MPU-6050 consiste numa unidade de processamento de movimento (MPU) que tem integradas uma unidade de giroscópios MEMS capacitivo, uma unidade de acelerómetros MEMS capacitivo (ambas com três eixos) e um DMP (Digital Motion Processor). O DMP adquire os dados provenientes dos acelerómetros, giroscópios e de um sensor opcional adicional (como, por exemplo, um magnetómetro de três eixos), e processa a informação com recurso a algoritmos de processamento de movimento. O MPU-6050 tem ainda um sensor de temperatura (51).

Permite a aquisição de dados acerca das acelerações lineares e velocidades angulares nos três eixos, bem como da temperatura. O dispositivo possibilita a seleção da escala para os giroscópios (± 250 , ± 500 , ± 1000 e $\pm 2000^\circ/\text{s}$) e acelerómetros ($\pm 2\text{g}$, $\pm 4\text{g}$, $\pm 8\text{g}$, e $\pm 16\text{g}$). Apresenta ainda conversores AD de 16 bits que digitalizam os outputs analógicos dos acelerómetros e giroscópios. A interface deste dispositivo é feita com recurso ao protocolo de comunicação I2C (51).

A unidade de acelerómetros usa massas de prova separadas para cada eixo. As acelerações induzem deslocamentos nessas massas, que são detetados por sensores capacitivos. As tensões de saída destes sensores dependem do valor dos deslocamentos (51).

Um acelerómetro trata-se de um transdutor que “transforma” aceleração em sinais elétricos. A estrutura mecânica básica é composta por uma massa, um amortecedor com uma constante de amortecimento b e uma mola com uma constante elástica k . Quando existe uma aceleração com uma componente segundo o eixo do acelerómetro, a massa m move-se em relação à sua posição zero com um deslocamento x . Sabendo a primeira e segunda derivada do deslocamento x , é possível calcular a aceleração através da seguinte equação (52).

$$\ddot{x}(t) + \frac{b}{m} \dot{x}(t) + \frac{k}{m} x(t) = a(t) \quad (5.1)$$

Os acelerómetros MEMS capacitivos contém dois eléctrodos fixos e uma massa móvel. Como se verifica na Figura 5.5, entre os eléctrodos e a massa móvel formam-se dois condensadores variáveis, C_1 e C_2 .

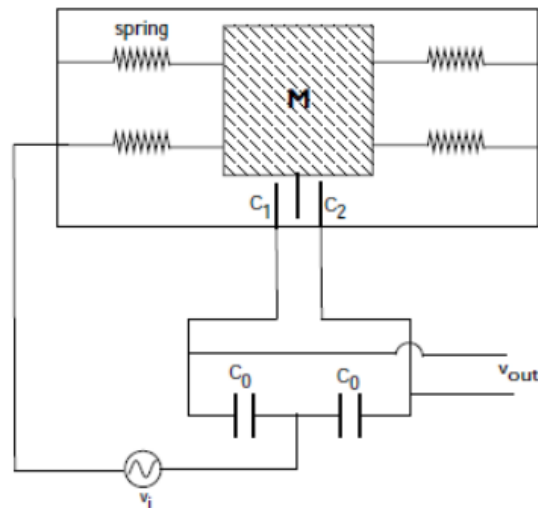


Figura 5.5 - Acelerómetro capacitivo (53).

A capacidade de cada condensador, C_1 e C_2 , é dependente da posição da massa móvel, permitindo o cálculo a posição da massa móvel em função das diferenças de potencial do circuito de leitura, V_{in} e V_{out} . Em função da posição da massa, a aceleração é calculada (53).

As vantagens deste tipo de acelerómetros em relação a outros tipos (sensores eletromecânicos, sensores piezorresistivos, sensores piezoelétricos, entre outros), passam pela utilização de *output* digital, robustez, precisão e excelente relação preço/desempenho (54).

A unidade de giroscópios consiste em três giroscópios MEMS, que detetam a rotação em torno dos três eixos. Quando há uma rotação em torno de qualquer eixo, o Efeito de Coriolis causa uma vibração que é detetada por um sensor capacitivo. O sinal detetado é amplificado, desmodulado e filtrado produzindo uma diferença de potencial de saída proporcional à velocidade angular (51).

A maioria dos giroscópios MEMS utilizam o Efeito de Coriolis, que se baseia na transferência energética entre um movimento oscilatório de uma massa e a rotação de todo o sistema. Como se representa na Figura 5.6, se um objeto de massa m se move numa plataforma com uma velocidade \vec{v} , em relação a um referencial fixo, e esta plataforma gira com uma velocidade angular $\vec{\omega}$, o objeto experienciará uma força de Coriolis (55).

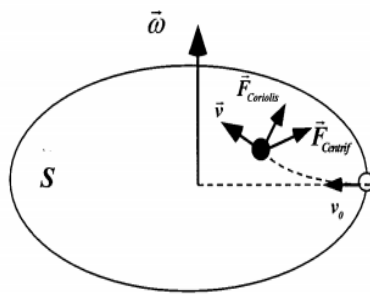


Figura 5.6 - Forças não-inerciais num referencial em rotação (56).

A força centrífuga é perpendicular ao eixo de rotação e é dirigida, radialmente, para o exterior da plataforma. A força de Coriolis é perpendicular à velocidade \vec{v} e ao eixo de rotação, e é dada pela seguinte equação (56).

$$\vec{F}_{Coriolis} = -2m\vec{\omega} \times \vec{v} \quad (5.2)$$

Esta força é responsável por uma deflexão na trajetória da massa. Tipicamente nos giroscópios MEMS, uma massa de prova, suspensa por um conjunto de filamentos elásticos, é excitada por uma força externa (electroestática ou eletromagnética) induzindo uma oscilação na frequência de ressonância (de forma a maximizar o ganho e, portanto, a sensibilidade). Quando é realizada uma rotação do sistema, a massa sofre uma força de Coriolis, induzindo um deslocamento que pode ser detetado por um sensor capacitivo. Este deslocamento é usado para o cálculo da velocidade de rotação (55).

Como foi referido, o Processador Digital de Movimento integrado na MPU-6050 é responsável pelo processamento dos dados recolhidos pelos acelerómetros e giroscópios, utilizando algoritmos de processamento de movimento. Os dados processados são armazenados nos registos de memória do DMP, que podem ser lidos através do protocolo de comunicação I2C (51).

Na Figura 5.7, pode-se observar o módulo MPU-6050 utilizado.



Figura 5.7 – Módulo MPU-6050.

5.1.1.4 SIM900

O circuito integrado SIM900 é um modem GSM/GPRS que permite a comunicação entre equipamentos distantes uns dos outros, através de rede móvel. Para ser possível estabelecer ligação com a rede móvel, é necessário um cartão SIM.

Permite a utilização de várias frequências, é um módulo Quad-band GSM/GPRS. Isto permite que seja utilizado em todo o mundo. Este modem possui duas interfaces de comunicação. Uma delas é uma interface UART para comunicar localmente com outro equipamento, onde se trocam dados e instruções. A outra, é uma interface GSM/GPRS que permite a ligação à rede móvel e a comunicação com equipamentos remotos seguindo protocolos de comunicação. Este equipamento foi utilizado para comunicar com o servidor, usando mensagens TCP/IP. Através dele, eram enviados os dados de acelerações lineares, velocidades angulares, temperatura, distâncias de ultrapassagem e localização da bicicleta (57).

Na Figura 5.8, pode-se observar a placa utilizada, que tem integrado o circuito SIM900.



Figura 5.8 - SIM900 GPRS *shield*.

GSM (*Global System for Mobile communication*) é a tecnologia padrão para comunicações móveis. Ao longo da evolução das comunicações móveis, vários sistemas foram desenvolvidos. No entanto, não beneficiavam de especificações normalizadas, criando problemas de compatibilidade (especialmente nas tecnologias radio). Com o intuito de resolver esses problemas, a tecnologia GSM foi criada (58).

Como se pode verificar na Figura 5.9, a arquitetura deste sistema está organizada em três partes: *Switching System (SS)*, *Base Station System (BSS)* e *Operation and Support System (OSS)*.

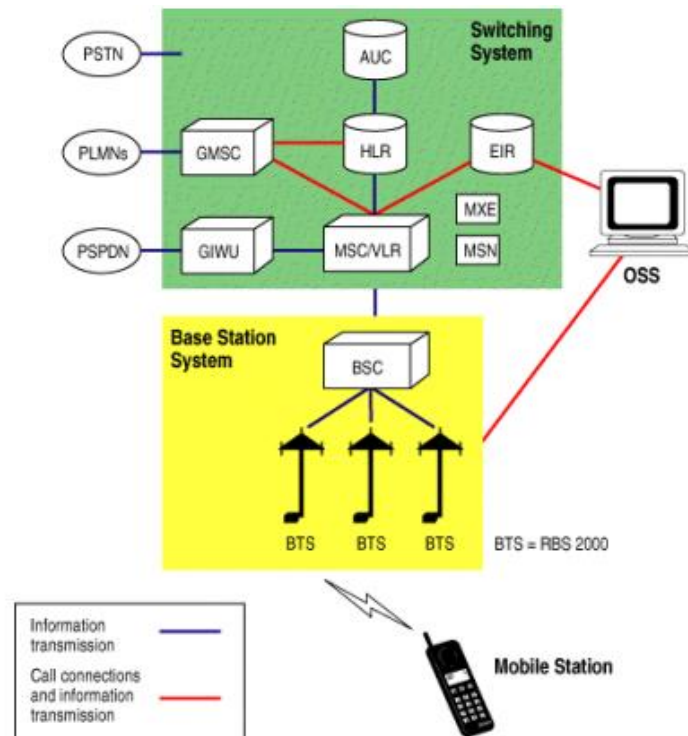


Figura 5.9 - Arquitetura do sistema GSM (58).

O *Switching System* é responsável pelo processamento de chamadas e funções relacionadas com o utilizador, e inclui as seguintes unidades (58,59):

- *Home Location Register* (HLR) – é uma base de dados para armazenar e gerir informações acerca dos utilizadores.
- *Mobile Switching Center* (MSC) – é o centro da rede GSM. Gere vários BSC (*Base Station Controller*) e interfaces com outros MSC.
- *Visitor Location Register* (VLR) – é a base de dados que contém informação temporária acerca dos utilizadores.
- *Authentication Center* (AUC) – fornece parâmetros de autenticação e encriptação que verifica a identidade dos utilizadores.
- *Equipment Identify Register* (EIR) – é a base de dados que contém informação acerca da identidade do equipamento móvel prevenindo desvios de ligações.

O *Basic Station System* realiza todas as funções relacionadas com as ligações radio, e consiste em controladores de estação base (BSC) e em pontos de acesso (BTS).

O *Operation and Support System* é responsável pela monitorização e controlo do sistema.

O sistema GPRS fornece acesso por rádio a pacotes GSM. Permite que os utilizadores da rede implementem uma arquitetura baseada em serviços de IP para aplicações de dados. Permite uma sobreposição na rede GSM existente, fornecendo serviços de dados de elevada velocidade de transmissão. Visto que está sempre ativo, reduz o tempo gasto em configurações e remoção de conexões. Além disso, está projetado para suportar aplicações de rajada de dados, como o e-mail, serviços de transmissão e navegações *web* que não exijam deteção de conexão (60).

5.1.1.5 74HC08N

O *chip* 74HC08N (Figura 5.10) é composto por quatro AND gates de duas entradas. De modo a evitar sobreposição de mensagens UART foi necessária a sua utilização, como será explicado posteriormente. Trata-se de um chip de dimensões reduzidas que faz a operação lógica AND de dois sinais digitais de entrada (61).



Figura 5.10 - 74HC08N AND gate.

5.1.1.6 LV-MaxSonar-EZ1

O componente LV-MaxSonar-EZ1 é um sensor de distância de ultrassons de baixo custo. Mede distâncias enviando ondas de ultrassons que são posteriormente detetadas pelo mesmo após o seu reflexo nos obstáculos. A partir do intervalo de tempo entre o envio da onda e a sua receção após o reflexo, o sensor determina a distância ao objeto refletor, considerando a velocidade do som, 340 m/s. É um sensor de baixo consumo energético, requerendo uma alimentação de 5V e 2mA no modo ativo, o que se traduz numa potência de 10mW. A superfície do objeto a detetar deve ser rígida, pois materiais demasiado macios tendem a atenuar e amortizar as ondas sonoras resultando em sinais de reflexão fracos. Pode medir distâncias entre 16 a 600 cm. Para a sua utilização é feita a leitura da saída analógica do sensor, que varia consoante a distância ao obstáculo. (62) Posto isto, essa leitura é convertida na unidade distância desejada, sabendo a variação da diferença de potencial por cm.

Além disso, foram efetuadas calibrações com base em teste controlados, como se explicará no Capítulo 6.



Figura 5.11 - Sensor LV-MaxSonar-EZ1.

Para a aquisição da distância lateral de ultrapassagem foram testados mais dois sensores de distâncias. O sensor por ultrassons US-020 e o sensor laser VL53L0X.

O componente US-020 é um sensor de baixo custo, semelhante ao sensor LV-MaxSonar-EZ1. Para a sua utilização deve ser enviado um sinal de 5V durante pelo menos 10 μ S (*trigger*) para o sensor. Assim que o recebe, o sensor envia 8 pulsos sonoros com 40kHz e fica à escuta do seu reflexo. Quando recebe as ondas refletidas, envia um pulso de 5V pelo pino *echo*. Assim é possível determinar o intervalo de tempo entre os pulsos do *trigger* e do *echo*, possibilitando o cálculo da distância assumindo uma determinada velocidade do som (63). No entanto, surgiram dificuldades na robustez do sensor e da parte do programa do microcontrolador que é responsável pela aquisição da distância lateral.

De seguida, foi utilizado o sensor de distância VL53L0X. Este sensor tem um alcance de 2 m e utiliza um feixe laser de radiação infravermelha para o cálculo da distância. Apresenta diversos modos de medição, como o de alta precisão e de alto alcance. Utiliza uma interface I2C, que permite a leitura dos dados de distância. No entanto, verificou-se que a luz solar tem um impacto negativo na robustez deste sensor. De facto, a precisão das leituras depende da cor da superfície refletora e da luz solar existente no local de medição (64). Quando exposto a luz solar direta, as leituras de distância tornavam-se irregulares e incorretas, devido ao espectro infravermelho da radiação solar. Embora uma grande parte da radiação infravermelha seja absorvida pelos gases e partículas nas camadas superiores da atmosfera, o espectro solar contém uma componente de ondas eletromagnéticas infravermelhas, tal como se pode verificar na Figura 5.12 (65).

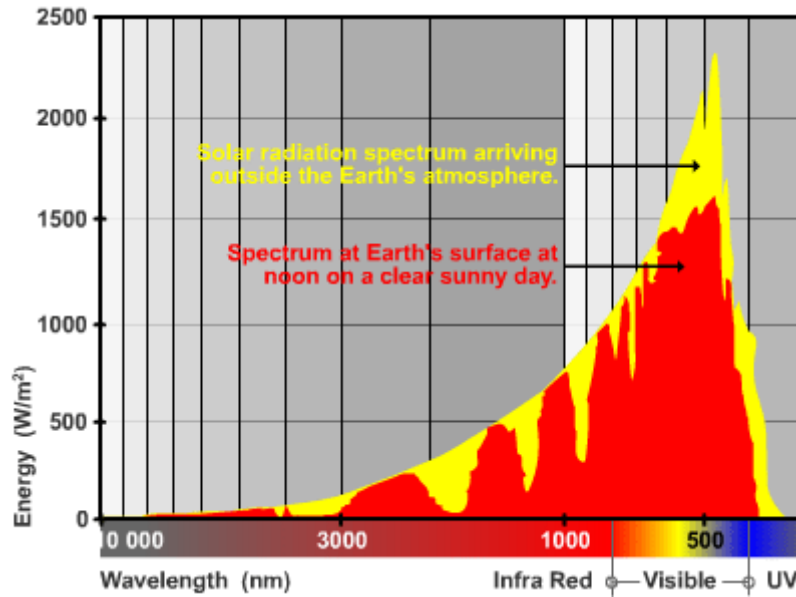


Figura 5.12 - Espectro eletromagnético da luz solar (65).

Por fim, decidiu-se utilizar o sensor que apresentou melhor robustez, o LV-MaxSonar-EZ1.

5.1.1.7 Bateria e sistema de carregamento

Para a alimentação do sistema da bicicleta, foi utilizada uma bateria de lítio, com uma capacidade de 2600mAh, retirada de uma *power bank* (Figura 5.14). O sistema de *input* e *output* USB da mesma foi retirado e substituído pelo carregador e descarregador DD05CVSA, que se pode observar na Figura 5.13. Esta placa permite o carregamento de baterias de lítio e também a sua descarga, tornando possível a sua utilização para a alimentação do sistema desenvolvido. O módulo de carga e descarga está destinado a tensões de carga de 4,5 a 8V, com correntes até 1 A. Fornece tensões de 5V e correntes até 1,2A à saída, a partir da bateria de lítio de 3,7V (66).

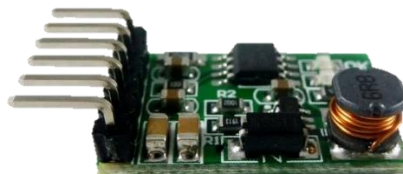


Figura 5.13 - Placa DD05CVSA.



Figura 5.14 - *Power Bank* utilizada.

5.1.1.8 AXA Duo Dynamo

De maneira a aproveitar parte da energia mecânica desenvolvida durante a utilização da bicicleta, utilizou-se o dínamo AXA Duo (Figura 5.15). Este converte energia mecânica em energia elétrica, que é utilizada para o carregamento da bateria de lítio que alimenta o sistema da bicicleta, estendendo a duração da mesma. Trata-se de um dínamo convencional e básico da empresa AXA. Contém um diódo *zener* que protege o restante sistema de picos de tensão. Apesar da informação contida na ficha do produto apontar para tensões de 6V (67), verificou-se com o auxílio de um multímetro, que as tensões desenvolvidas ao utilizar a bicicleta poderiam ultrapassar os 13V, dependendo da velocidade angular da roda. Além disso, este dínamo fornece corrente alternada (funcionando como um alternador), enquanto o sistema de carregamento da bateria é apenas adequado para corrente contínua e tensões de 4,5 a 8V (66). Foi necessário o desenvolvimento de um circuito para retificar, regular e estabilizar a corrente gerada pelo dínamo, criando um *output* de corrente contínua e 5V. Para isso, foi utilizada uma ponte retificadora, um regulador de tensão e condensadores eletrolíticos.



Figura 5.15 - Dínamo AXA Duo.

5.1.2 Servidor

O servidor é um constituinte essencial da plataforma de rastreabilidade para bicicletas, pois permite a articulação do sistema instalado na bicicleta com a interface do utilizador.

O principal elemento de *hardware* que compõem o servidor, é um computador (Figura 5.16) com conexão à internet. Este contém uma base de dados em MySQL, utilizada para guardar os dados provenientes da bicicleta. Aloja ainda os ficheiros necessários para a *web page*, usada para viabilizar a consulta e análise de dados ao utilizador. Por fim, contém um servidor HTTP que possibilita as interações com a base de dados *web page*.



Figura 5.16 - Computador utilizado para integrar o servidor.

5.2 Software

Neste subcapítulo é abordado o desenvolvimento do *software* para esta dissertação. O *software* diz respeito às instruções e dados que são processados ao longo da plataforma, à parte virtual do sistema.

Mais uma vez, divide-se a plataforma de rastreabilidade em duas secções: o *software* instalado na bicicleta e o *software* instalado no servidor. O primeiro, instalado no microcontrolador, destina-se à configuração dos periféricos e à aquisição, processamento e envio dos dados para o servidor. O *software* inserido no computador do servidor destina-se à recolha, retenção e organização dos dados recebidos, bem como ao gerenciamento da página *web*.

5.2.1 Bicicleta

O *software* aplicado na bicicleta possibilita as interações entre o microcontrolador e os vários periféricos do sistema instalados na bicicleta, e ainda entre este e o servidor. Controla a aquisição de dados, é responsável por parte do seu processamento e permite o fluxo desejado dos mesmos ao longo da plataforma de rastreabilidade para bicicletas.

O *software* para o sistema instalado na bicicleta foi concebido com o auxílio do programa Arduino (IDE). Este programa permite a elaboração de código (com uma linguagem de programação própria) e a sua compilação em placas de desenvolvimento. A grande vantagem da sua utilização é a simplicidade e clareza da linguagem de programação, bem como a existência de várias bibliotecas que facilitam a elaboração dos programas para o controlo de componentes de *hardware* específicos. Para além das placas desenvolvidas pela empresa, também é possível compilar o código elaborado noutras, como por exemplo a placa ESP8266 NodeMCU WiFi Devkit utilizada neste projeto.

Todo o programa desenvolvido foi compilado na placa referida. No entanto, com o intuito de simplificar a compreensão do desenvolvimento do programa, separar-se-ão as várias etapas de programação por componente de *hardware*.

5.2.1.1 ESP8266

O *software* elaborado e compilado na placa ESP8266 NodeMCU WiFi Devkit permite ao microcontrolador gerenciar os seus periféricos. É responsável pela elaboração das configurações necessárias dos restantes componentes de *hardware* instalados na bicicleta, pela comunicação com os mesmos e pelo pré-processamento dos dados recolhidos.

O programa desenvolvido é dividido em duas funções principais: o *setup* e o *loop*. O *setup* é dedicado às configurações e definições iniciais, enquanto que o *loop* é responsável pelas aquisições, pré-processamento e envio dos dados.

Quando se inicia o programa, após ligar o microcontrolador à sua alimentação com o auxílio de um interruptor instalado para esse efeito, definem-se as variáveis globais do *software* e os pinos do microcontrolador para as comunicações UART com o módulo GPS e o módulo GSM/GPRS. Seguidamente, efetuam-se as configurações do módulo de GPS, da unidade de processamento de

movimento (MPU), do módulo GSM/GPRS, do sensor de distância e das entradas/saídas do microcontrolador. Esta parte do código só é processada uma só vez (*setup*).

Posto isto, é iniciado o processo cíclico (*loop*). Inicialmente, é efetuada a aquisição sucessiva e o pré-processamento dos dados provenientes do módulo de GPS, do sensor de distância e da unidade de processamento de movimento. Seguidamente, os dados recolhidos são enviados para o módulo GSM/GPRS, que é responsável pelo envio dos mesmos para a base de dados do servidor através da rede móvel. Por fim, verifica-se se as mensagens foram corretamente enviadas para o servidor. Em caso afirmativo, o ciclo prossegue e repete-se. Caso contrário, as conexões entre o módulo instalado na bicicleta e o servidor são reiniciadas e o ciclo repete-se.

Na Figura 5.17, pode-se verificar o fluxograma do funcionamento geral do software instalado no sistema da bicicleta, explicado anteriormente.

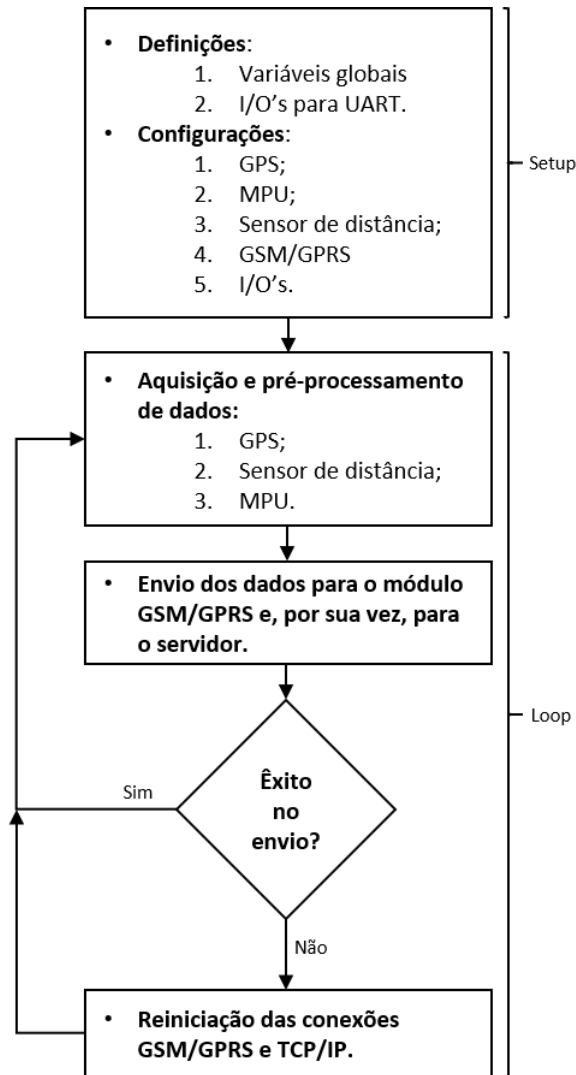


Figura 5.17 - Diagrama de fluxo do funcionamento geral do software.

5.2.1.2 Módulo GNSS

Na fase de *setup* do programa, a comunicação série é iniciada e o módulo de GPS é configurado. Define-se a utilização do NavMode pedestre (das opções existentes é a mais adequada), uma frequência de aquisição de dados de 4Hz, um *baudrate* de 9600 (para a comunicação UART com o microcontrolador) e as mensagens NMEA são restringidas de maneira a facilitar a decodificação das mensagens que este módulo envia para o microcontrolador.

No *loop* do *software* desenvolvido, efetua-se aquisição dos dados vindo do módulo GNSS. Os dados são recebidos caractere a caractere pelo microcontrolador através da comunicação série estabelecida. Com recurso à identificação de caracteres especiais (<cr> ou *carriage return* e <lf> ou *linefeed*) é possível separar diferentes mensagens, acumulando os caracteres de uma mensagem numa

string. Devido à restrição de mensagens NMEA imposta na fase de *setup* do programa, as mensagens do tipo “frase de locutor” recebidas pelo microcontrolador apresentam o seguinte formato: \$GNGGA,hhmmss.ss,llll.lllll,a,yyyyy.yyyyy,a,x,uu,v.v,w.w,M,x.x,M,,zzzz*hh<CR><LF>

O significado de cada campo da frase pode ser analisado na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Descrição da mensagem NMEA GGA - Global Positioning System Fix Data (68).

<i>Campo</i>	<i>Nome</i>	<i>Descrição</i>
<i>hhmmss.ss</i>	Hora UTC	UTC da posição em formato hhmmss.ss
<i>llll.lllll</i>	Latitude	Latitude no formato ddm.mmmm
<i>a</i>	Indicador N/S	“N” = Norte, “S” = Sul
<i>yyyyy.yyyyy</i>	Longitude	Longitude no formato dddmm.mmmm
<i>a</i>	Indicador E/W	“E” = Este, “W” = Oeste
		0: posição fixa indisponível
<i>x</i>	Indicador de qualidade GPS	1: Posição fixa válida, modo SPS 2: Posição fixa válida, modo GPS diferencial
<i>uu</i>	Satélites usados	Número de satélites usados
<i>v.v</i>	HDOP	Diluição horizontal de precisão
<i>w.w</i>	Altitude	Altitude em relação ao nível médio do mar
<i>x.x</i>	Separação geoidal	Separação geoidal em metros
<i>zzzz</i>	ID da estação DGPS	ID da estação Diferencial Global Positioning System
<i>hh</i>	Checksum	

Apesar do número elevado de campos, apenas se pretende determinar a hora, latitude, longitude e altitude. Estes valores estão contidos nos nove primeiros campos da mensagem. Neste sentido, sempre que o microcontrolador recebe o conjunto de caracteres \$GNGGA, regista os nove campos seguintes da mensagem recebida (separados entre si por “;”) num *array* de *strings*. Processando este *array*, é possível separar os campos e determinar os parâmetros pretendidos.

Por exemplo, após o tratamento da seguinte mensagem, “\$GNGGA,152428.00,4038.54927,N,00838.85281,W,2,07,2.71,18.4,,07,2.71,18.5,M,49.7,M,,0000*67”, são obtidos os seguintes parâmetros: hora – 15h:24min:28s.00; latitude – 40°38. 54927 N; longitude – 008°38.85281 W; altitude – 18.5 m.

Enquanto decorre a necessidade de comunicação entre o microcontrolador e o módulo GPS, uma saída digital é ativada (colocada a 3V). Esta está conectada a uma das entradas da AND gate do chip 74HC08N usado, e o pino de envio de dados do módulo GPS (Tx) está ligado à sua outra entrada. Como resultado da operação lógica AND, o output do chip é o sinal da mensagem série que o módulo GPS envia. Sempre que a comunicação entre o GPS e microcontrolador já não é necessária, a saída digital é desativada (colocada a 0V), bloqueando as mensagens série provenientes do módulo GPS.

O uso deste *chip* é essencial porque o módulo GNSS utilizado, envia mensagens continuamente (com uma cadência fixa), e o microcontrolador apenas tem um *buffer* (memória temporária) destinado a comunicações série. Caso não se usasse o *chip*, haveria sobreposição de mensagens série entre o módulo GNSS e o módulo GSM/GPRS, induzindo erros de comunicação e impossibilitando o processamento das mensagens.

5.2.1.3 MPU

Durante a etapa de *setup* do programa, a unidade de processamento de movimento é configurada. Primeiramente inicia-se a comunicação I2C, definindo-se os pinos do microcontrolador usados para tal. De seguida, o módulo é ativado e configurado para devolver resultados de acelerações lineares na gama de +/- 8G, e de velocidades angulares na gama de +/- 1000°/s.

No *loop* do programa, é feita a leitura das memórias da unidade de processamento de movimento, que armazenam os dados de acelerações lineares e velocidades angulares nos três eixos, e de temperatura.

Os dados provenientes dos acelerómetros e giroscópios propriamente ditos, são transmitidos na forma de sinais analógicos. No entanto, estes são discretizados por conversores AD de 16 *bits*, presentes na MPU. Os dados são então armazenados nas respetivas memórias da MPU, na forma de 16 *bits*. (51) Após a leitura das mesmas, através do protocolo de comunicação I2C, torna-se necessário converter os dados em unidades conhecidas.

Visto que os dados têm 16 *bits* cada, podem variar do valor decimal -32768 até 32767. Sabendo as gamas de valores que a MPU regista em unidades conhecidas (que foram configuradas durante o *setup* do programa), é possível converter os valores decimais nas unidades pretendidas. Os dados de acelerações lineares são então reduzidos à unidade G e os dados de velocidades angulares a °/s, respetivamente através das seguintes equações:

$$a[G] = \frac{a_{sensor}}{4096} \quad (\text{para uma gama de } +/-8G) \quad (5.3)$$

$$\omega[^\circ/s] = \frac{\omega_{sensor}}{32.77} \quad (\text{para uma gama de } +/-1000^\circ/s) \quad (5.4)$$

Para a conversão dos dados de temperatura para °C, foi utilizada a equação disponível na ficha do produto (69):

$$T[^\circ C] = \frac{T_{sensor}}{340} + 36.53 \quad (5.5)$$

Estas conversões são efetuadas durante o *loop* do programa, e correspondem ao pré-processamento dos dados provenientes da unidade de processamento de movimento.

5.2.1.4 Sensor de distância

No *setup* do programa, é efetuada a configuração, para entrada analógica, do I/O utilizado para a leitura dos dados provenientes do sensor de distância.

No *loop* do programa são efetuadas 10 leituras da entrada analógica (valor de 0 a 1023), com intervalo de 25 ms entre si. Este intervalo é suficiente para garantir medições de distância sem redundância até 4,25 m. Isto porque, assumindo uma velocidade do som de 340m/s, a onda emitida se propaga 8,5 m em 25 segundos.

As leituras efetuadas são, de seguida, convertidas para centímetros a partir da equação de calibração obtida durante os testes de calibração, que serão abordados posteriormente. Posto isto, são discretizadas de 5 em 5 cm e limitadas a 210 cm (se a distância recolhida for superior a 210cm, esta é ignorada passando o valor a 0 cm), efetuando-se de seguida um tratamento estatístico de moda com vista a uniformizar os resultados e minimizar a captura de objetos indesejados.

5.2.1.5 Módulo GSM/GPRS

No *setup* do programa, a comunicação série com o módulo GSM/GPRS é iniciada e este periférico é configurado. A configuração do dispositivo é efetuada pelo envio de mensagens específicas, a partir do microcontrolador. Estas mensagens permitem a configuração do *baudrate* desejado, a ativação dos serviços GPRS, o início da comunicação TCP/IP com o servidor, entre outras configurações e instruções. Caso ocorram erros durante esta fase, é reiniciado todo o processo de configuração.

Na fase de *loop* do programa, os dados provenientes do módulo GPS, da MPU e do sensor de distância, previamente processados, são acumulados numa *string* com um formato específico, capaz de ser lido pelo interpretador PHP do servidor. De seguida, essa *string* é enviada para o módulo GSM/GPRS por comunicação série. Por fim, o módulo é responsável pelo envio da mensagem para o servidor, através da rede móvel e com recurso ao protocolo de comunicação TCP/IP. Caso ocorram erros no envio da mensagem, o microcontrolador deteta-os (com base nas mensagens de resposta do módulo) e fecha todas as conexões ao servidor e rede móvel. De seguida, efetua todo o processo de configuração do módulo GSM/GPRS, anteriormente referido, e o ciclo repete-se.

O diagrama de funcionamento da parte do programa dedicada a este módulo, encontra-se na Figura 5.18. É possível verificar as mensagens enviadas do microcontrolador para o módulo GSM/GPRS, as respostas do mesmo e as respetivas interações.

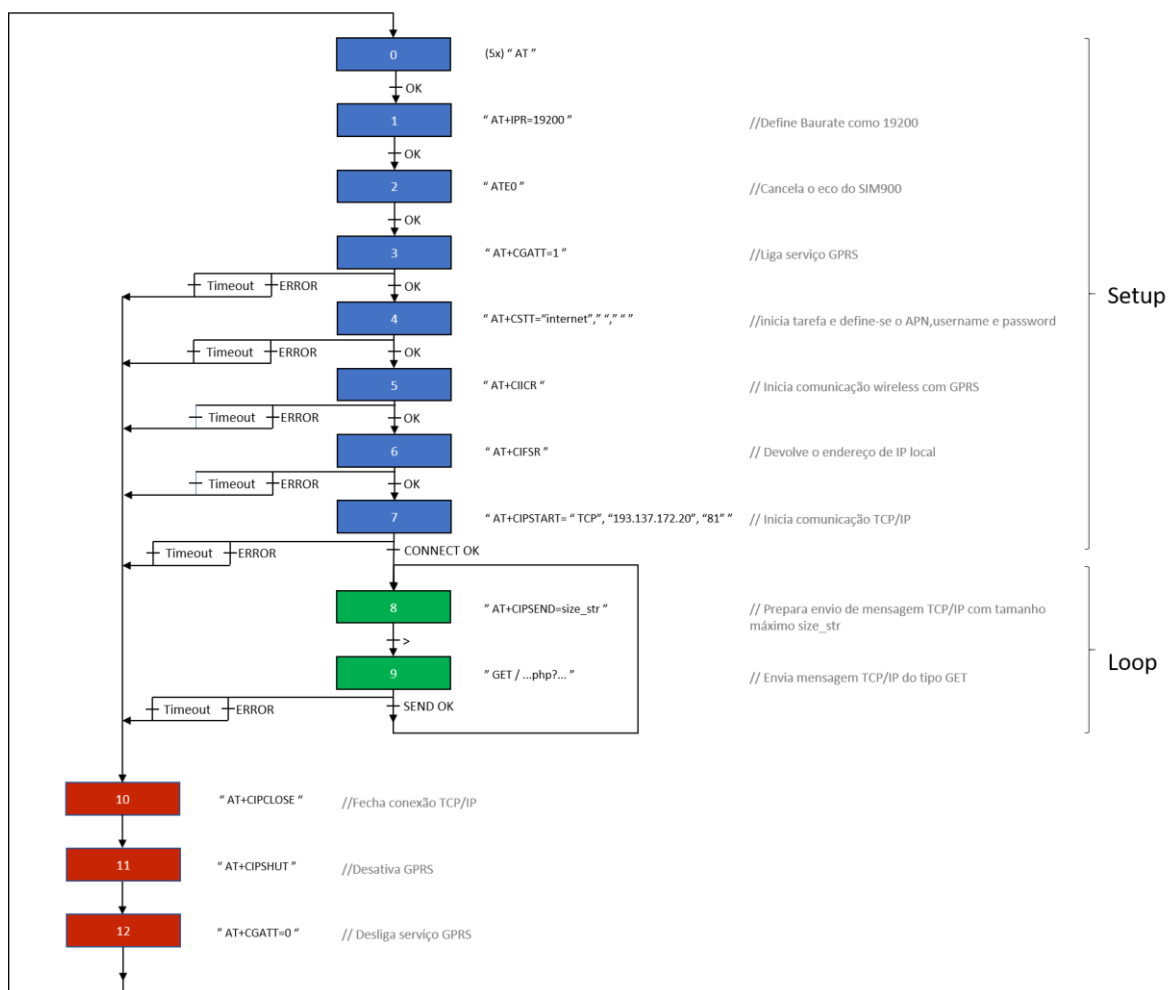


Figura 5.18 - Diagrama de fluxo da parte do programa respetiva ao módulo GSM/GPRS.

5.2.2 Servidor

O servidor é composto por um computador, com acesso à internet, que aloja a base de dados e a *web page*. Este é acedido pelo modem SIM900 para arquivar os dados na base de dados, e pode ser acedido pelos utilizadores do sistema quando estes pretendem visualizar a página *web*.

Neste computador, encontram-se instalados os *softwares* MySQL e Xampp. O MySQL é um *software* de gestão de base de dados. Este, integra o MySQL Workbench, que permite a criação e gestão da base de dados e atua como uma interface com o utilizador, e ainda o MySQL Server, que atua como servidor da base de dados, alojando-a de dados e tornando-a acessível a outros *softwares* (70).

O Xampp é um programa gratuito que aloja um conjunto de servidores. No entanto, apenas foram utilizados o seu interpretador PHP e o servidor *web* Apache. O interpretador PHP permite a utilização de ficheiros PHP para gerir a base de dados e a informação nela contida. O servidor Web Apache permite o alojamento de *websites* baseados em HTTP. Suporta várias linguagens de programação utilizadas no desenvolvimento de *web pages*, como HTML, PHP, JavaScript, entre outras (71).

O sistema instalado na bicicleta envia os dados recolhidos com recurso a uma mensagem do tipo GET, que é enviada para o servidor através da internet. Deste modo, o ficheiro PHP alojado no servidor com o nome referido na URL da mensagem, é acedido. Este permite a inserção dos dados numa nova linha da base de dados, com recursos ao interpretador PHP que o Xampp fornece.

Quando o utilizador tenta aceder à *web page*, através de um *browser* de um dispositivo com ligação à internet, é enviado um pedido para o servidor. De seguida, o servidor permite o acesso à *web page* e devolve-a ao utilizador com recurso ao servidor *web* Apache.

Na Figura 5.1 é possível verificar as interações com o servidor referidas.

5.2.2.1 Base de dados

Como foi referido anteriormente, os dados são armazenados na base de dados e ficam acessíveis a qualquer momento. A base de dados atua como intermediária entre a aquisição de dados em tempo real (na bicicleta) e a página *web*.

No software MySQL, foi criada um base de dados com o nome “geral71852”, constituída por uma tabela com o mesmo nome, de modo a agilizar o processo de programação, necessário nos ficheiros PHP desenvolvidos. Esta tabela é constituída por 14 colunas, são elas:

- It: número da linha, é incrementado sempre que é inserida uma nova linha de dados;
- hora: hora UTC da aquisição de dados, adquirida pelo módulo de GPS;
- longitude: longitude do local da bicicleta, adquirida pelo módulo de GPS;
- latitude: latitude do local da bicicleta, adquirida pelo módulo de GPS;
- altitude: altitude do local da bicicleta, adquirida pelo módulo de GPS;
- AcX: aceleração linear no eixo X, adquirida pela MPU;
- AcY: aceleração linear no eixo Y, adquirida pela MPU;
- AcZ: aceleração linear no eixo Z, adquirida pela MPU;
- Tmp: temperatura ambiente, adquirida pela MPU;
- GyX: velocidade angular em torno do eixo X, adquirida pela MPU;
- GyY: velocidade angular em torno do eixo Y, adquirida pela MPU;
- GyZ: velocidade angular em torno do eixo Z, adquirida pela MPU;
- dist: distância lateral, adquirida pelo sensor de distância;
- data: data e hora da inserção da linha na base de dados, adquiridas pelo ficheiro PHP no formato YYYY-MM-DD hh:mm:ss ;

Na Figura 5.19 pode-se ver um exemplo da tabela da base de dados criada e respetivos campos de dados. Pode-se verificar ainda que a hora do campo “hora”, recolhida pelo GPS, é diferente da hora do campo “data”, recolhida pelo próprio computador do servidor. Apresentam uma diferença de aproximadamente uma hora. Isto deve-se ao facto de o GPS recolher o tempo universal coordenado (UTC), que é o fuso horário de referência e a partir do qual se calculam os restantes (72). Por outro lado, o computador recolhe a hora do fuso horário de Lisboa, Portugal. Além disso, os dados de UTC recolhidos pelo GPS demoram algum tempo a ser recebidos pelo servidor pelo, que se desfasam mais alguns segundos (em relação a 1h exatamente).

it	hora	latitude	longitude	altitude	AcX	AcY	AcZ	Tmp	GyX	GyY	GyZ	dist	data
1	15h:00min:58s.25	40°38.5497N	008°38.8502W	22,8m	-0.02	0.30	1.06	26.22	-10.65	-3.14	0.31	198	2018-06-07 16:01:00
2	15h:01min:01s.00	40°38.5501N	008°38.8506W	22,2m	-0.01	0.30	1.07	26.32	-10.65	-2.99	-0.06	198	2018-06-07 16:01:02
3	15h:01min:03s.00	40°38.5501N	008°38.8509W	22,1m	-0.01	0.30	1.06	26.22	-10.44	-3.08	0.15	198	2018-06-07 16:01:04
4	15h:01min:05s.50	40°38.5502N	008°38.8529W	22,5m	-0.00	0.30	1.07	26.18	-10.71	-3.17	0.06	198	2018-06-07 16:01:06
5	15h:01min:07s.50	40°38.5498N	008°38.8521W	22,5m	-0.01	0.30	1.07	26.27	-10.62	-3.11	-0.03	198	2018-06-07 16:01:08
6	15h:01min:08s.75	40°38.5500N	008°38.8529W	22,3m	-0.01	0.30	1.06	26.18	-10.68	-3.20	0.24	153	2018-06-07 16:01:09
7	15h:01min:10s.25	40°38.5504N	008°38.8539W	21,7m	-0.01	0.30	1.07	26.22	-10.56	-3.02	0.15	153	2018-06-07 16:01:11
8	15h:01min:12s.50	40°38.5504N	008°38.8536W	21,4m	-0.00	0.31	1.08	26.18	-10.53	-2.96	0.15	73	2018-06-07 16:01:14
9	15h:01min:15s.25	40°38.5502N	008°38.8530W	20,8m	-0.01	0.30	1.07	26.13	-10.59	-3.08	0.18	67	2018-06-07 16:01:16
10	15h:01min:16s.75	40°38.5505N	008°38.8534W	20,0m	-0.01	0.30	1.07	26.18	-10.59	-3.20	0.15	67	2018-06-07 16:01:18
11	15h:01min:19s.00	40°38.5505N	008°38.8525W	19,4m	-0.00	0.30	1.07	26.22	-10.56	-3.02	0.15	67	2018-06-07 16:01:20
12	15h:01min:21s.00	40°38.5511N	008°38.8532W	18,0m	-0.01	0.30	1.07	26.27	-10.50	-3.05	0.09	84	2018-06-07 16:01:22
13	15h:01min:22s.75	40°38.5520N	008°38.8539W	16,3m	-0.01	0.31	1.06	26.08	-10.50	-2.93	0.15	198	2018-06-07 16:01:23
14	15h:01min:24s.75	40°38.5529N	008°38.8550W	14,7m	-0.00	0.30	1.07	26.13	-10.62	-2.99	0.09	198	2018-06-07 16:01:26
15	15h:01min:27s.25	40°38.5529N	008°38.8540W	14,3m	-0.01	0.30	1.07	26.18	-10.50	-2.96	0.21	198	2018-06-07 16:01:28
16	15h:01min:28s.75	40°38.5529N	008°38.8526W	13,7m	0.00	0.31	1.07	26.27	-10.65	-2.93	0.27	198	2018-06-07 16:01:29
17	15h:01min:30s.25	40°38.5531N	008°38.8531W	13,6m	-0.01	0.30	1.07	26.13	-10.53	-3.17	0.34	198	2018-06-07 16:01:31
18	15h:01min:32s.00	40°38.5531N	008°38.8533W	13,7m	-0.01	0.30	1.07	26.18	-10.44	-3.08	0.15	198	2018-06-07 16:01:33
19	15h:01min:33s.75	40°38.5528N	008°38.8527W	13,8m	-0.01	0.31	1.06	26.13	-10.59	-3.17	0.12	198	2018-06-07 16:01:35
20	15h:01min:35s.75	40°38.5524N	008°38.8513W	13,8m	-0.01	0.30	1.07	26.18	-10.50	-2.99	0.09	198	2018-06-07 16:01:36
21	15h:02min:00s.00	40°38.5516N	008°38.8450W	11,9m	-0.01	0.30	1.07	26.13	-10.41	-2.87	0.03	198	2018-06-07 16:02:01
22	15h:02min:01s.75	40°38.5516N	008°38.8459W	11,9m	-0.00	0.30	1.06	26.18	-10.34	-2.96	0.37	198	2018-06-07 16:02:02
23	15h:02min:03s.00	40°38.5515N	008°38.8463W	12,3m	-0.01	0.30	1.06	26.18	-10.34	-2.75	0.18	193	2018-06-07 16:02:03
24	15h:02min:04s.25	40°38.5512N	008°38.8466W	12,8m	-0.01	0.30	1.06	26.22	-10.71	-3.11	0.21	193	2018-06-07 16:02:05
25	15h:02min:05s.50	40°38.5511N	008°38.8472W	13,2m	-0.01	0.30	1.07	26.18	-10.53	-3.02	0.18	193	2018-06-07 16:02:06
26	15h:02min:07s.00	40°38.5508N	008°38.8474W	13,7m	-0.01	0.30	1.07	26.27	-10.59	-2.99	0.18	193	2018-06-07 16:02:07
27	15h:02min:08s.25	40°38.5505N	008°38.8475W	14,1m	-0.01	0.30	1.06	26.18	-10.68	-2.93	0.12	198	2018-06-07 16:02:09
28	15h:02min:09s.75	40°38.5503N	008°38.8471W	14,4m	-0.01	0.30	1.07	26.22	-10.44	-3.02	0.27	198	2018-06-07 16:02:10
29	15h:02min:11s.25	40°38.5506N	008°38.8487W	14,6m	-0.00	0.30	1.07	26.18	-10.44	-3.17	0.37	198	2018-06-07 16:02:12
30	15h:02min:12s.75	40°38.5505N	008°38.8490W	15,0m	-0.00	0.30	1.06	26.18	-10.50	-3.08	-0.06	198	2018-06-07 16:02:13
31	15h:02min:14s.50	40°38.5490N	008°38.8481W	17,7m	-0.01	0.30	1.07	26.22	-10.53	-2.87	0.00	198	2018-06-07 16:02:16

Figura 5.19 - Tabela da base de dados.

Quando o modem instalado na bicicleta envia uma mensagem do tipo GET para o servidor, o ficheiro PHP com o nome definido na URL da mensagem é processado pelo interpretador PHP. Também na URL da mensagem, estão presentes os dados que se pretendem transmitir, e estes são passados para o script PHP. Este script começa por proporcionar o estabelecimento de uma conexão à base de dados “geral71852”. Depois desta estar estabelecida, é executada uma *query* que é responsável pela inserção dos novos dados numa nova linha da tabela “geral71852” da base de dados anteriormente referida. Este processo pode ser analisado no diagrama da Figura 5.20.

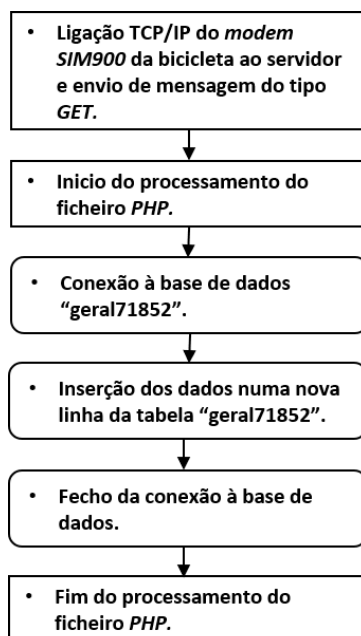


Figura 5.20 - Diagrama de fluxo da inserção de dados na base de dados.

Por outro lado, os dados inseridos na tabela da base de dados podem ser consultados. A página *web* recorre à consulta da base de dados para a elaboração de gráficos, para a representação das coordenadas geográficas num mapa e para a representação e disponibilização online da tabela da base de dados. Nesses casos, recorre-se a outro ficheiro PHP. Este começa por estabelecer uma conexão com a base de dados “geral71852” do servidor MySQL. De seguida, apresentam-se duas possibilidades: a primeira, é a consulta da última linha da tabela “geral71852” da base de dados referida; a outra opção, é a consulta de todas as linhas da tabela. Em qualquer dos casos, os dados consultados são armazenados numa variável. Por fim, é feito o *echo* da variável no formato JSON. Torna-se, assim, possível a utilização dos dados armazenados na tabela da base de dados, por ficheiros que recorram ao ficheiro PHP referido, através de pedidos do tipo GET. Na Figura 5.21, pode-se verificar o diagrama de fluxo do processo de consulta de dados através do ficheiro PHP referido.

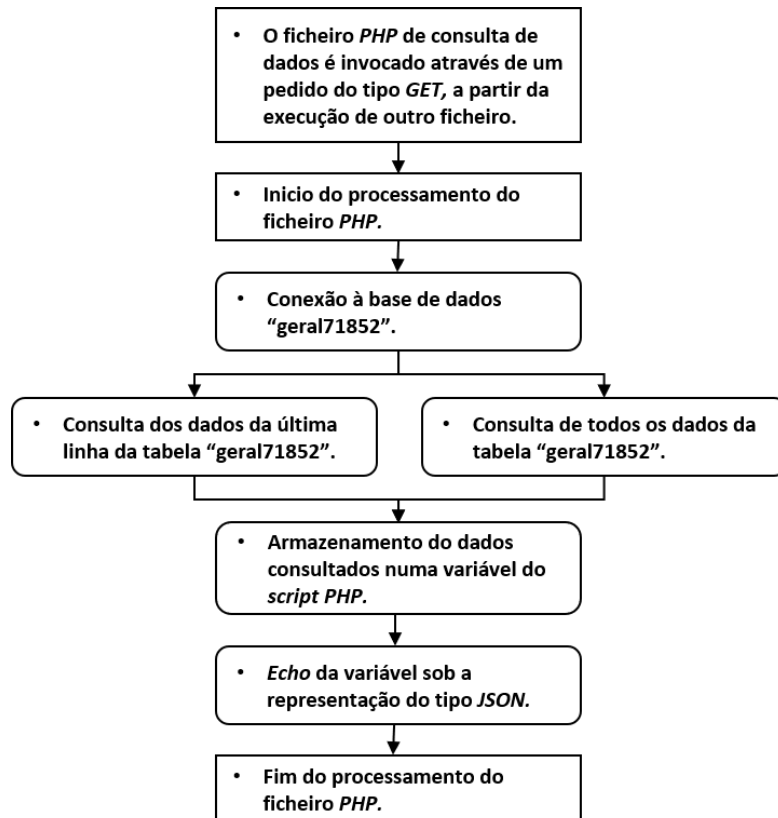


Figura 5.21 - Diagrama de fluxo da consulta de dados a partir do ficheiro PHP.

5.2.2.2 Página web

A *web page* possibilita a interação do utilizador com a plataforma de rastreabilidade para bicicletas desenvolvida. Permite, ao utilizador, a visualização e aquisição dos dados recolhidos pelo sistema instalado na bicicleta, em tempo real. Permite ainda uma análise de dados simples, na forma de gráficos e representação das posições da bicicleta num mapa. Esta página é composta por um conjunto de ficheiros elaborados com recurso a várias linguagens de programação, como HTML, PHP e JavaScript.

A página pode ser consultada através de um browser, utilizando o *link* <http://ims.mec.ua.pt:81/WebPage71852/>. É uma página *web* responsiva, ou seja, foi desenvolvida de modo a adaptar-se ao tamanho do ecrã do dispositivo em que está a ser consultada, apresentando uma aparência diferente consoante o tamanho do dispositivo. Na Figura 5.22, pode-se verificar a aparência da página consulta num computador com um ecrã de 24 polegadas. Por outro lado, na Figura 5.23 apresenta-se o aspeto da mesma página num ecrã de um telemóvel de 5,5 polegadas.



Figura 5.22 - Menu inicial da *web page* visualizado num ecrã de 24”.



Figura 5.23 - Menu inicial da *web page* visualizado num ecrã de 5,5”.

A página contém um conjunto de botões rotulados que ativam vários *shortcuts*, facilitando a navegação ao longo da mesma. Está, ainda, estruturada em quatro secções principais, como se pode

verificar no menu da página principal, representado nas Figura 5.22 e Figura 5.23. São elas: “Universidade de Aveiro”; “Sobre o Projecto”; “Timeline”; e “Funcionalidades”.

Na primeira secção, “Universidade de Aveiro”, faz-se uma breve descrição da Universidade de Aveiro e uma breve referência às estratégias de promoção ao uso de bicicleta que a universidade promove. Na secção seguinte, com o nome “Sobre o Projeto”, aborda-se o tema e os objetivos desta dissertação. Apresentam-se ainda as estratégias que se usaram para atingir os referidos objetivos, passando por explicação concisa do funcionamento e composição do sistema desenvolvido. Na penúltima secção, “*Timeline*”, são resumidamente retratadas as tarefas efetuadas ao longo do desenvolvimento da presente dissertação. São elas: a construção e compreensão do enquadramento do tema proposto; a revisão bibliográfica de modo a retratar o estado da arte; o desenvolvimento do *hardware* e *software*; e por fim, a implementação do produto na bicicleta e recolha de dados para posterior análise, de modo a verificar a fiabilidade e robustez do sistema. Finalmente, na última secção, “Funcionalidades”, tem-se acesso às várias funcionalidades da *web page*. Nesta secção, que se pode visualizar na Figura 5.24, é possível aceder a páginas secundárias, clicando nos botões cinzentos que representam cada funcionalidade. Estes botões estão divididos por três subsecções: “Tabela”, “Gráficos” e “Mapa”.



Figura 5.24 - Secção "Funcionalidades" da web page.

Ao clicar no botão da subsecção “Tabela”, o *browser* redireciona para outra página que contém uma tabela semelhante à da base de dados, como se pode verificar na Figura 5.25. Dá acesso a todos os dados armazenados na base de dados até ao momento da consulta desta página. Nela, é ainda possível efetuar o *download* da tabela num ficheiro do formato *csv*. Caso se pretenda utilizar este ficheiro noutro *software*, deve ter-se o cuidado de importar o ficheiro de forma a possibilitar a descodificação de caracteres UTF-8. Caso contrário, a tabela gerada poderá conter caracteres desconhecidos nos dados nela inseridos.

The screenshot shows a web interface with a dark header containing 'Home' and 'TABELA'. Below the header is the title 'Tabela da base de dados.' and a 'Download to .csv' button. A note below the button reads: '- Ao importar o ficheiro .csv para Excel, garanta que define a origem do ficheiro como "65001: Unicode (UTF-8)".' The main content is a table with 14 rows of data.

It	hora	longitude	latitude	altitude	AcX [g]	AcY [g]	AcZ [g]	Tmp [°C]	GyX [°/s]	GyY [°/s]	GyZ [°/s]	dist [cm]	data [Y-M-D h:m:s]
1	15h.00min.58s.25	008°38.8502W	40°38.5497N	22.8m	-0.02	0.30	1.06	26.22	-10.65	-3.14	0.31	0	2018-06-07 16:01:00
2	15h.01min.01s.00	008°38.8506W	40°38.5501N	22.2m	-0.01	0.30	1.07	26.32	-10.65	-2.99	-0.06	0	2018-06-07 16:01:02
3	15h.01min.03s.00	008°38.8509W	40°38.5501N	22.1m	-0.01	0.30	1.06	26.22	-10.44	-3.08	0.15	0	2018-06-07 16:01:04
4	15h.01min.05s.50	008°38.8529W	40°38.5502N	22.5m	-0.00	0.30	1.07	26.18	-10.71	-3.17	0.06	0	2018-06-07 16:01:06
5	15h.01min.07s.50	008°38.8521W	40°38.5498N	22.5m	-0.01	0.30	1.07	26.27	-10.62	-3.11	-0.03	0	2018-06-07 16:01:08
6	15h.01min.08s.75	008°38.8529W	40°38.5500N	22.3m	-0.01	0.30	1.06	26.18	-10.68	-3.20	0.24	0	2018-06-07 16:01:09
7	15h.01min.10s.25	008°38.8539W	40°38.5504N	21.7m	-0.01	0.30	1.07	26.22	-10.56	-3.02	0.15	0	2018-06-07 16:01:11
8	15h.01min.12s.50	008°38.8536W	40°38.5504N	21.4m	-0.00	0.31	1.08	26.18	-10.53	-2.96	0.15	0	2018-06-07 16:01:14
9	15h.01min.15s.25	008°38.8530W	40°38.5502N	20.8m	-0.01	0.30	1.07	26.13	-10.59	-3.08	0.18	0	2018-06-07 16:01:16
10	15h.01min.16s.75	008°38.8534W	40°38.5505N	20.0m	-0.01	0.30	1.07	26.18	-10.59	-3.20	0.15	0	2018-06-07 16:01:18
11	15h.01min.19s.00	008°38.8525W	40°38.5505N	19.4m	-0.00	0.30	1.07	26.22	-10.56	-3.02	0.15	0	2018-06-07 16:01:20
12	15h.01min.21s.00	008°38.8532W	40°38.5511N	18.0m	-0.01	0.30	1.07	26.27	-10.50	-3.05	0.09	0	2018-06-07 16:01:22
13	15h.01min.22s.75	008°38.8539W	40°38.5520N	16.3m	-0.01	0.31	1.06	26.08	-10.50	-2.93	0.15	0	2018-06-07 16:01:23
14	15h.01min.24s.75	008°38.8550W	40°38.5529N	14.7m	-0.00	0.30	1.07	26.13	-10.62	-2.99	0.09	0	2018-06-07 16:01:26

Figura 5.25 - Página web que dá acesso à tabela com os dados recolhidos.

Como também se pode verificar na Figura 5.24, a subsecção “Gráficos” apresenta quatro botões e cada um deles dá acesso a uma página diferente. Pelo rótulo de cada botão, é possível identificar de forma intuitiva a finalidade de cada um deles. Segue-se a identificação e descrição dos rótulos dos botões:

- Acl: Acelerações lineares;
- Gyr: Velocidades angulares;
- Dist: Distância de ultrapassagem;
- Tmp: Temperatura.

Qualquer uma destas páginas contém um gráfico com uma ou mais séries, criado com o auxílio da biblioteca “Highstock” baseada na API “Highcharts”. Esta API trata-se de uma biblioteca escrita em JavaScript, que permite a criação de gráficos interativos para páginas e aplicações *web* (73).

A identificação das séries do gráfico é feita no seu bordo inferior. Os gráficos apresentam a possibilidade de selecionar os dados que se pretendem visualizar. Para isso, existem três botões no canto superior esquerdo do gráfico, que permitem selecionar os dados referentes ao último minuto, aos últimos 5 minutos ou todos os dados. Na barra localizada na parte inferior do gráfico, pode-se selecionar a faixa de visualização com mais alternativas. Os valores de cada ponto de aquisição de dados podem ser verificados selecionando o ponto pretendido. Na Figura 5.26 encontra-se o gráfico de acelerações lineares obtido após a realização de um teste preliminar do sistema, onde foram recolhidos dados ao longo de um percurso na cidade de Aveiro.



Figura 5.26 - Gráfico de acelerações lineares.

Através do botão presente na subsecção “Mapa” da página *web* principal, pode-se aceder a uma página secundária que contém um mapa com a representação dos dados de localização recolhidos. Clicando nos pontos representados, é ainda possível visualizar em detalhe as suas coordenadas geográficas e a hora a que foram registados. Na Figura 5.27 encontra-se representado o mapa da página web com os dados referentes ao teste preliminar referido anteriormente. Por vezes o sistema da bicicleta perde sinal de GPRS por alguns segundos, resultando em pequenas perdas de informação acerca do percurso, como se pode verificar na Figura 5.27 nas zonas em que é perceptível a ausência de pontos. A ocorrência deste fenómeno será posteriormente abordada, no Capítulo 6.

O primeiro ponto, representado com um marcador vermelho rotulado de “I”, corresponde à primeira linha da base de dados com informações de localização completas. O marcador vermelho com o rótulo “F” corresponde à última linha da base de dados, com informações completas de localização, no momento de consulta da página. Os pontos representados com marcadores redondos azuis, correspondem às linhas da base de dados intermédias com coordenadas geográficas completas.

A criação deste mapa foi feita com recurso à Maps JavaScript API, da *Google*. Esta permite a integração e personalização de mapas do Google Maps em páginas web, e destina-se a programação em JavaScript (74).

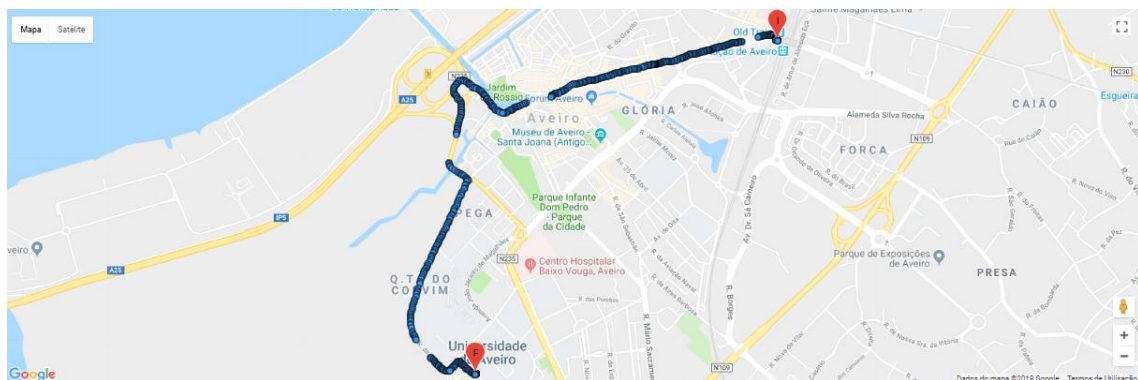
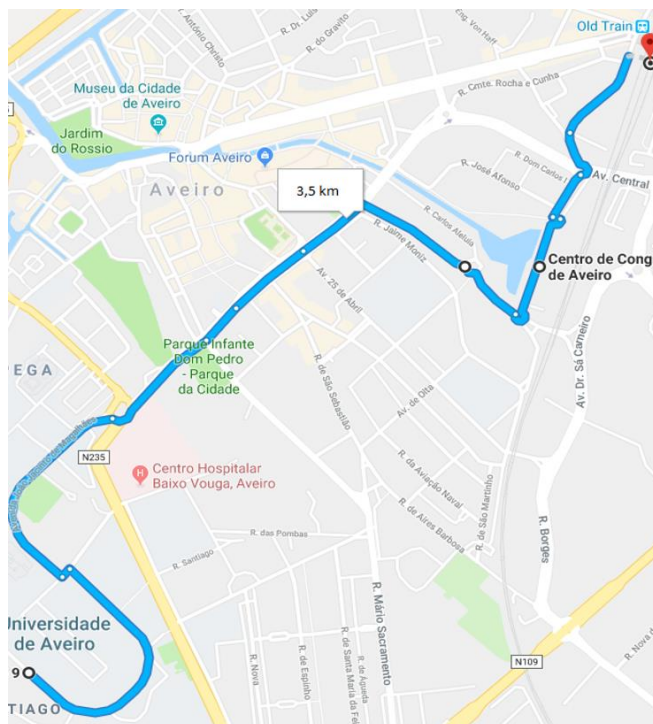


Figura 5.27 - Mapa da página web.

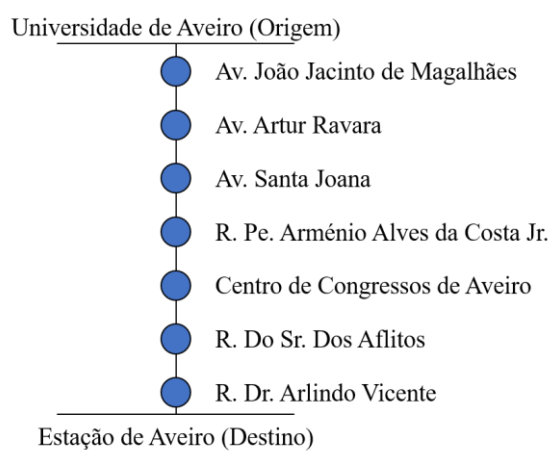
5.3 Percursos

Visto que as deslocações entre a Universidade de Aveiro e a Estação de Aveiro são bastante frequentes entre os membros da Universidade de Aveiro, foram definidos diversos percursos entre estes dois locais, de modo a testar o sistema desenvolvido.

O primeiro trajeto (Percurso A), tem início na Universidade de Aveiro e termina na Estação de Aveiro, passando pelo Centro de Congressos de Aveiro. Este percurso, representado na Figura 5.28, é uma alternativa para efetuar o referido itinerário, evitando o centro da cidade e o seu trânsito associado. O espaço percorrido associado a este percurso é de aproximadamente 3,5km.



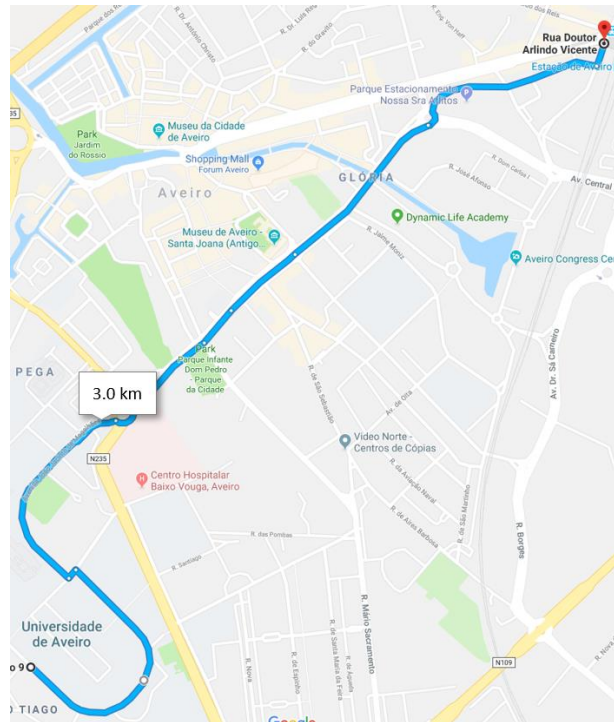
(a)



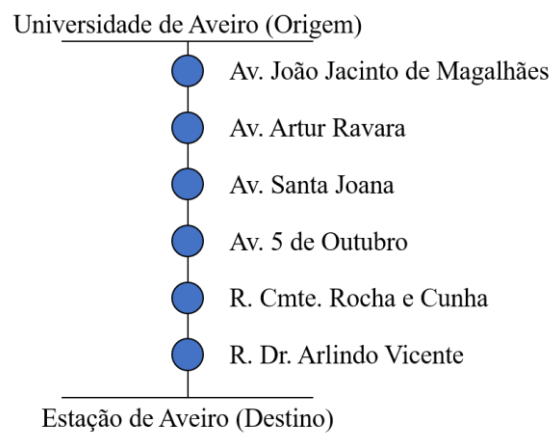
(b)

Figura 5.28 - Percurso A - (a) Mapa do percurso; (b) Detalhe do percurso.

O Percurso B, representado na Figura 5.29, tem origem na Universidade de Aveiro e destino na Estação de Aveiro. Trata-se do trajeto mais curto para efetuar a deslocação referida segundo a ferramenta *Google Maps*, contando com um espaço percorrido de, aproximadamente, 3 km.



(a)

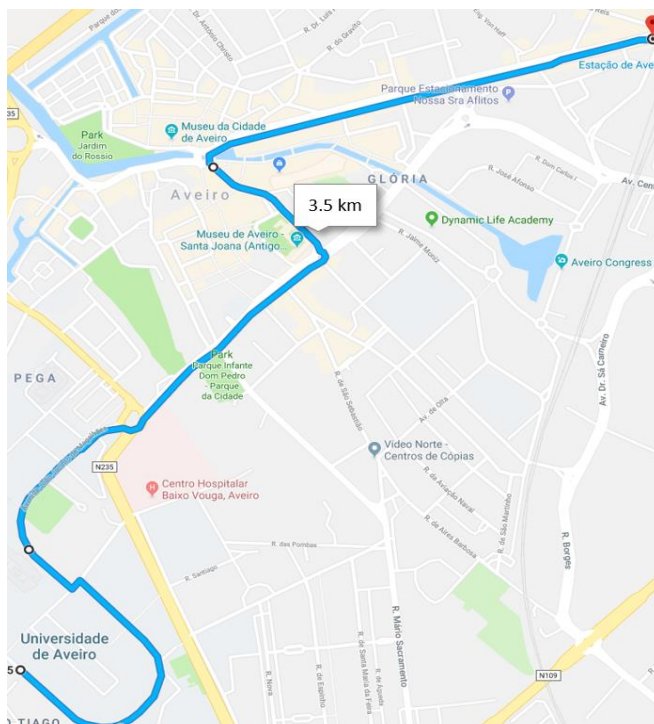


(b)

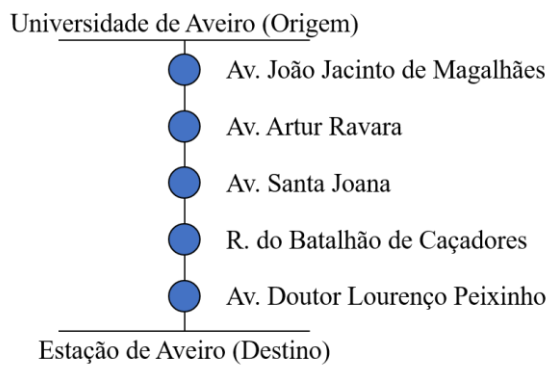
Figura 5.29 - Percurso B - (a) Mapa do percurso; (b) Detalhe do Percurso.

O percurso C, que tem origem na Universidade de Aveiro e destino na Estação de Aveiro, é um dos trajetos mais longos dos quatro efetuados, apresentando um espaço percorrido de cerca de 3,5 km. Como se verifica na Figura 5.30, a particularidade deste percurso em relação aos restantes

efetuados com mesma origem e destino, é que contempla uma parte da sua extensão pelo centro da cidade de Aveiro, passando pela Avenida Doutor Lourenço Peixinho.



(a)

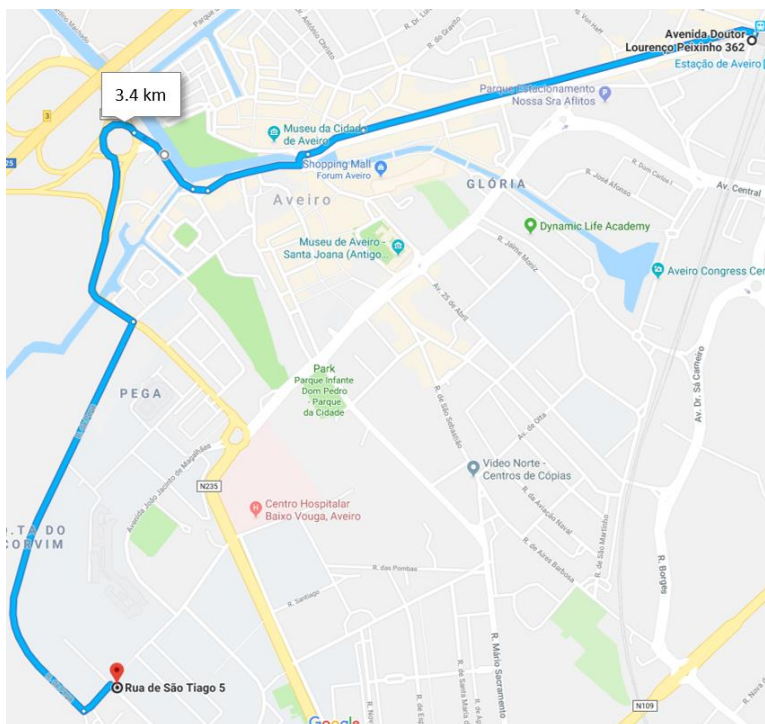


(b)

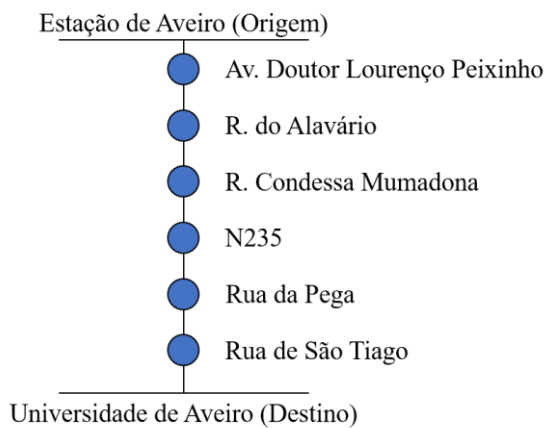
Figura 5.30 - Percurso C - (a) Mapa do percurso; (b) Detalhe do percurso.

O Percurso D, representado na Figura 5.31, apresenta um espaço percorrido de cerca de 3,4 km. Contrariamente aos restantes, tem origem na Estação de Aveiro e destino na Universidade de Aveiro.

A parte inicial deste trajeto é efetuada pelo centro da cidade de Aveiro, passando depois pela periferia Oeste da cidade de Aveiro, pela estrada N235 e pela Rua da Pega.



(a)



(b)

Figura 5.31 - Percurso D - (a) Mapa do percurso; (b) Detalhe do percurso.

Capítulo 6

Resultados e Discussão

Neste capítulo apresentar-se-ão os resultados obtidos a partir dos testes da plataforma de rastreabilidade de bicicletas desenvolvida, que se pode verificar instalada na bicicleta na Figura 6.1. Estes serão ainda analisados e discutidos, de forma a efetuar um entendimento detalhado acerca do sistema desenvolvido e a comparar os percursos anteriormente referidos no âmbito da m0obildade clicável. Analisar-se-ão os dados de acelerações lineares, velocidades angulares, temperatura, posicionamento geográfico e distância lateral.



Figura 6.1 - Bicicleta com o sistema de rastreabilidade instalado.

Para facilitar o cruzamento dos dados recolhidos e articulá-los com o ambiente real presenciado pelo utilizador da bicicleta durante os vários percursos, foi utilizada uma *action camera*, permitindo a aquisição de imagem ao longo dos percursos efetuados.

6.1 Posicionamento geográfico

Na Figura 6.3 encontram-se representados, no mapa da esquerda, os pontos de posicionamento geográfico recolhidos pelo sistema instalado na bicicleta e enviados para o servidor, enquanto foi realizado o Percurso A. A imagem foi retirada diretamente da página *web*, após se ter percorrido o Percurso A utilizando a bicicleta instrumentada com a plataforma de rastreabilidade desenvolvida. À direita, encontra-se a representação do Percurso A, com recurso à aplicação *Google Maps*. Como se pode verificar pela figura, a representação dos pontos recolhidos coincide com o trajeto efetuado. Torna-se então evidente que o módulo GPS funcionou como era expectável. No entanto, efetuando *zoom* no mapa e com o auxílio da escala do mapa verificou-se que, por vezes, a posição marcada no mapa se afastava da posição real até 8m. No entanto, na maioria dos pontos, não se excedeu os 2,5m de desvio horizontal, tal como se esperava com base na ficha do produto (45). Os desvios presenciados podem dever-se ao número insuficiente de satélites captados pelo recetor GPS (quanto maior o número, melhor a precisão do posicionamento geográfico), ao movimento e vibrações desenvolvidas na plataforma durante a viagem e ao fenómeno de *multipath* (45). Tratando-se de ondas eletromagnéticas, os sinais utilizados pelo GPS são sujeitos a reflexões e difrações. O fenómeno de *multipath* referido, é causado pela receção de sinais refletidos ou difratados, induzindo erros nas medições do módulo GPS e, assim, deteriorando a precisão do posicionamento geográfico. A técnica de posicionamento geográfico por GPS é baseada no cálculo das distâncias dos satélites até ao recetor GPS, a partir do tempo de propagação das ondas eletromagnéticas enviadas pelos satélites até ao recetor. Visto que as ondas perturbadas percorrem um percurso mais longo do que o percurso direto (como se verifica Figura 6.2), podem causar as imprecisões referidas. Este fenómeno pode ser causado pela existência de edifícios e outras estruturas de grande dimensão próximas do recetor GPS (75).

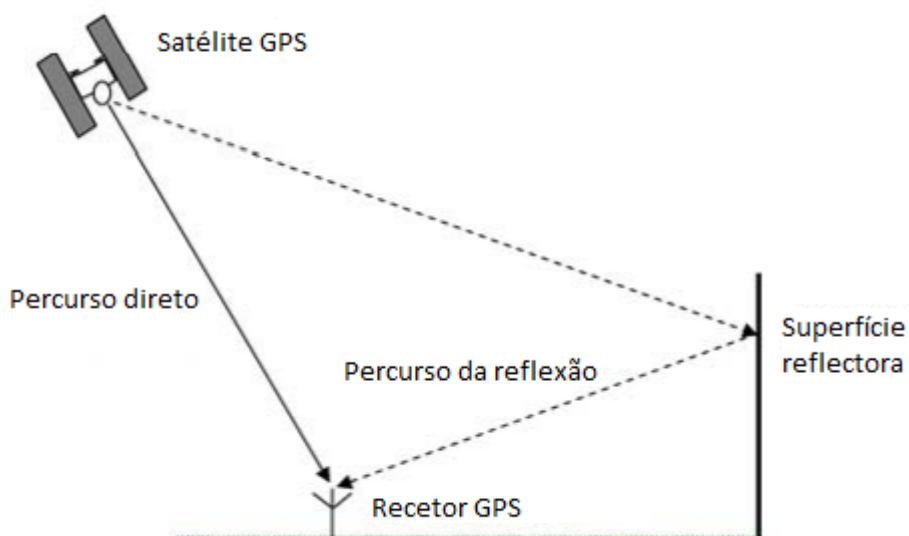


Figura 6.2 - Percursos direto e indireto do sinal GPS [adaptado de (75)].

É ainda possível verificar que, nas zonas identificadas com uma circunferência vermelha na Figura 6.3, existem interrupções de dados, sendo 4 o número total de falhas de comunicação neste teste. Estas devem-se a erros de comunicação com o servidor através da rede móvel. Sempre que existe uma falha, o sistema é reconfigurado e a comunicação é restabelecida automaticamente. No entanto, este processo demora cerca de 30 segundos a ser processado, induzindo algumas perdas de informação. Uma vez que os dados são enviados para o servidor com uma frequência próxima da que o sistema suporta, podem-se originar algumas falhas no envio, resultando na quebra da comunicação com o servidor.

Durante este percurso, os dados foram enviados com um intervalo médio entre envios de 2,08 segundos (incluindo as falhas de comunicação referidas), e a viagem foi realizada em 14 minutos e 35 segundos. Visto que o Percurso A apresenta um espaço percorrido de sensivelmente 3,5km, pode-se concluir que a velocidade média foi de 14 km/h.

Como foi referido anteriormente, o marcador vermelho rotulado de “I” corresponde ao ponto de partida, neste caso a Universidade de Aveiro. Por outro lado, o marcador rotulado de “F” corresponde ao ponto de chegada, a Estação de Aveiro.

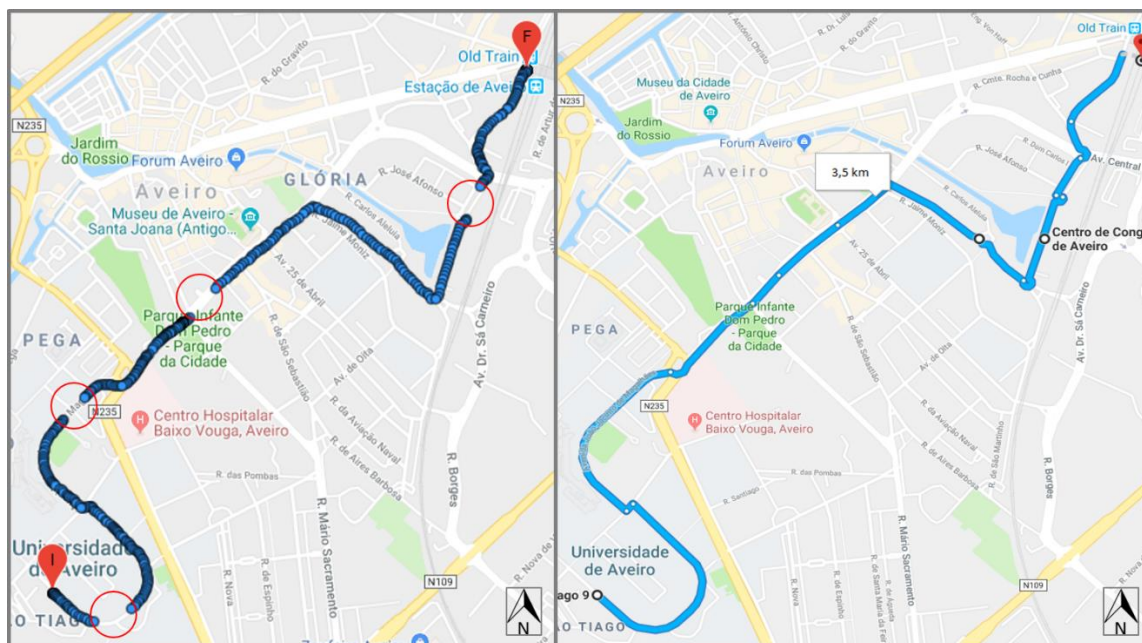


Figura 6.3 - Comparação das posições recolhidas (à esquerda) com o Percurso A (à direita).

Efetuada o zoom no mapa, é possível ter uma perceção da velocidade desenvolvida em determinadas zonas relativamente a outras secções do percurso, através da distância entre os pontos registados. Uma vez que a frequência de envio é relativamente estável (excluindo os períodos de falha), quanto maior a distância entre os pontos, maior a velocidade desenvolvida.

Os dados recolhidos relativos à altitude foram analisados e comparados com o perfil de altitude fornecido pela app *Google Maps* para os vários percursos efetuados. No entanto, percebeu-se que o erro associado aos mesmos é bastante elevado, visto que as leituras de altitude são bastante irregulares e imprecisas. Por este motivo, não serão apresentados na presente dissertação.

Verificou-se que os resultados de posicionamento geográfico dos restantes percursos são semelhantes aos do Percurso A. Tanto o Percurso B (representado na Figura 6.4) como no Percurso D (representado na Figura 6.6), ocorreram 3 falhas de comunicação com o servidor. No entanto, no Percurso D verifica-se uma curta perda de sinal de GPS. A zona em que tal ocorreu está assinalada com uma circunferência verde na Figura 6.6. Por outro lado, no Percurso C (representado na Figura 6.5) verificaram-se 4 falhas de comunicação com o servidor.

O fenómeno de *multipathing* tornou-se especialmente evidente durante o Percurso D, na Avenida Doutor Lourenço Peixinho, devido ao elevado número de edifícios de dimensão relativamente elevada. Nesta zona verificaram-se desvios de posição até 60 m face à posição real, devido a este

fenómeno e à pobre qualidade de sinal. No entanto, verifica-se uma diminuição do desvio de posição ao longo do percurso, devido ao aumento da quantidade de satélites detetados e, portanto, enriquecimento da qualidade do sinal, e à diminuição do fenómeno de *multipath*, por haver uma redução do número de edifício de grande dimensão à volta do veículo.

A velocidade média no Percurso B foi cerca de 19,5 km/h (o percurso foi efetuado em 9 minutos e 13 segundos) e os dados foram enviados com um intervalo médio entre si de 1,9 segundos. Já no Percurso C (foi percorrido em 14 minutos e 35 segundos), a velocidade média foi aproximadamente 14 km/h. O envio de dados foi efetuado com um intervalo médio de 2,3 segundos. Por fim, a velocidade média do Percurso D foi 18 km/h, tendo o percurso sido efetuado em 11 minutos e 11 segundos. Neste percurso, o intervalo médio entre envios de dados foi de 2 segundos. Note-se que o intervalo médio entre envios apresentado inclui as interrupções no envio de dados (que não seguem um padrão), pelo que surgem diferenças significativas neste valor em percursos diferentes.

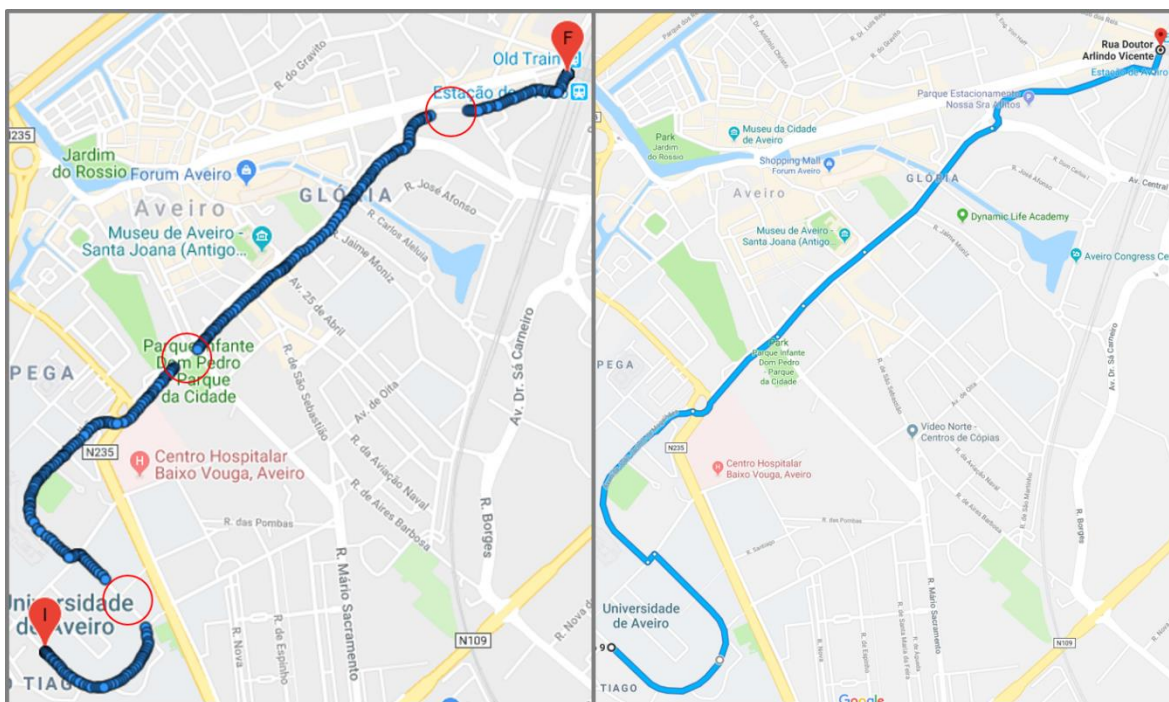


Figura 6.4 - Comparação das posições recolhidas (à esquerda) com o Percurso B (à direita).

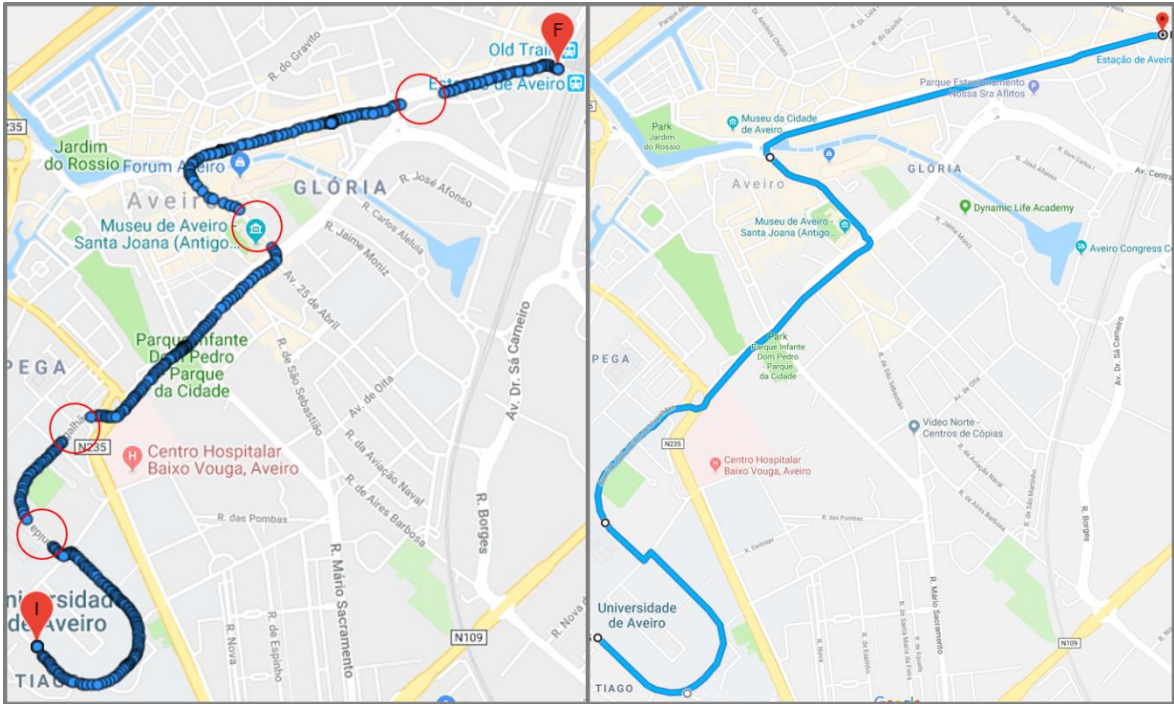


Figura 6.5 - Comparação das posições recolhidas (à esquerda) com o Percurso C (à direita).

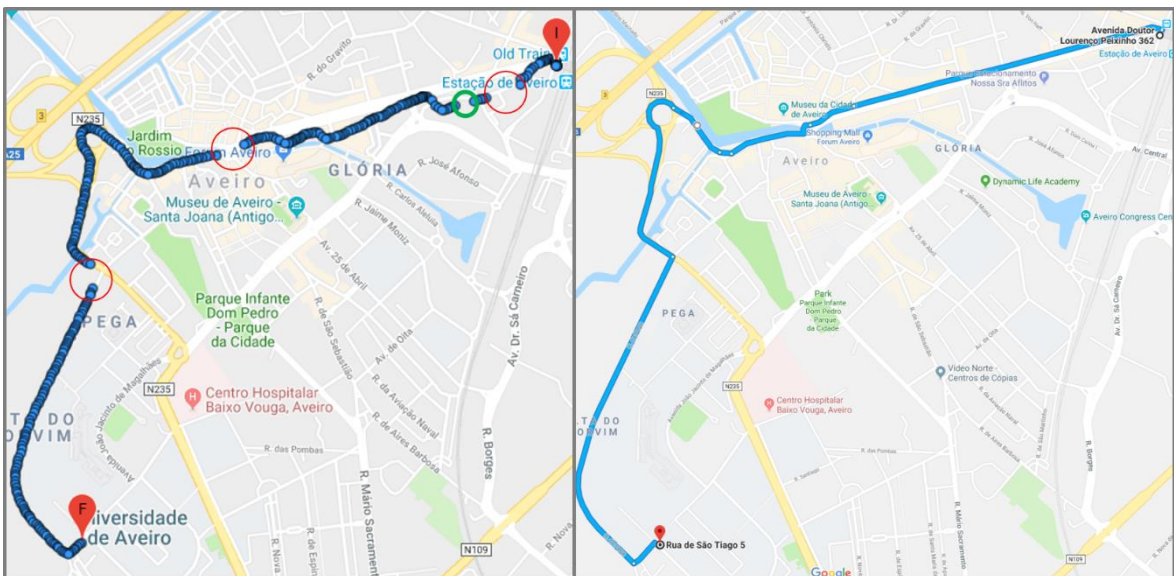


Figura 6.6 - Comparação das posições recolhidas (à esquerda) com o Percurso D (à direita).

Os dados de posicionamento geográfico podem ser bastante úteis para o utilizador, uma vez que permitem analisar os seus percursos percorridos, verificar o local onde a bicicleta foi estacionada e localizar a bicicleta em tempo real. Estes dados podem ser muito relevantes em caso de roubo do

veículo, permitindo a localização da bicicleta. Além disso, caso o utilizador queira partilhar o seu veículo com outros utilizadores, a partilha destes dados poderá agilizar o processo, na medida em que facilita a localização do veículo. Os dados de localização podem também ser utilizados para a reconstrução e deteção de acidentes, quando cruzados com os dados de aceleração linear. Podem então auxiliar o desenvolvimento de sistema de ajuda em caso de emergência, partilhando a localização do veículo. São, portanto, dados essenciais na rastreabilidade e segurança do veículo e seu utilizador.

6.2 Aceleração linear

Na perspetiva do utilizador da bicicleta, o eixo X da unidade de processamento de movimento MPU-6050 aponta para a direita, o eixo Y aponta para a frente e o eixo Z aponta para cima, tal como se pode verificar na Figura 6.7 (a). No entanto, as acelerações com componentes no mesmo sentido que os eixos referidos, são consideradas de sinal negativo nas leituras deste módulo. Na Figura 6.7 (b) pode-se averiguar o sinal das leituras desta unidade, consoante a direção das acelerações lineares.

Teoricamente, estando a bicicleta parada na sua posição vertical (posição base), as leituras dos acelerómetros da MPU são 1G segundo o eixo Z (aceleração da gravidade), e segundo os restantes eixos são 0G.

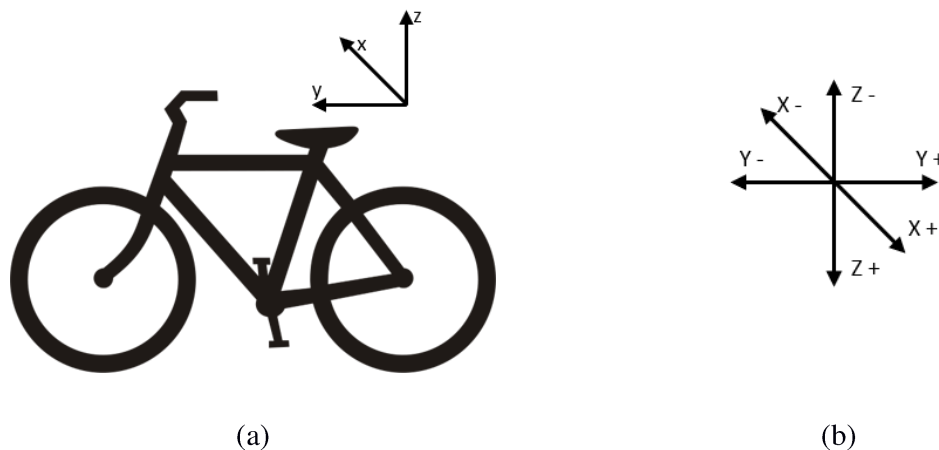


Figura 6.7 - (a) Sistema de eixos dos acelerómetros da MPU; (b) Sinal das leituras de aceleração da MPU.

Na Figura 6.8 estão expostos os resultados de acelerações lineares recolhidos durante o Percurso A. Estão organizados em três gráficos de aceleração (expressa na unidade G) em função do tempo

(expressa em hh:mm:ss). O primeiro, segundo e terceiro correspondem, respetivamente, aos gráficos de acelerações lineares segundo os eixos X, Y e Z.

Verifica-se que as regressões lineares dos dados recolhidos em relação aos eixos X e Y, se aproximam de uma reta horizontal com o valor 0G. Por outro lado, a regressão linear no gráfico das acelerações lineares no eixo Z, aproxima-se de uma reta horizontal de valor 1G, que corresponde à aceleração da gravidade. As variações das acelerações acabam por se compensar de forma relativamente uniforme ao longo do tempo, resultando regressões lineares de declive aproximadamente nulo. Assim, é possível compreender que a posição média da bicicleta durante este percurso é a sua posição vertical base, e que o percurso não apresenta declive acentuado de sinal constante.

As faixas da Figura 6.8 com cor magenta, que sobrepõem os gráficos de aceleração, representam os períodos em que houve falhas no envio dos dados para o servidor e reconfigurações do sistema de rastreabilidade instalado na bicicleta. Nestes períodos não há receção de dados no servidor, pelo que se deve desprezar as zonas correspondentes aos mesmos, nos gráficos representados.

As faixas amarelas, representam os períodos em que o veículo não se encontra em movimento, onde se verificam variações relativamente reduzidas da aceleração segundo as várias componentes. Para comprovar este facto, foram utilizadas as imagens registadas pela *action camera* instalada na bicicleta, de maneira a cruzar os dados de aceleração com o ambiente físico presenciado pelo utilizador. Verificou-se que, de facto, o veículo não se encontrava em movimento nestes dois períodos. O primeiro valor registado, corresponde a uma paragem num semáforo, enquanto que o segundo corresponde às aquisições de dados efetuadas após o estacionamento da bicicleta na Estação de Aveiro. No gráfico de aceleração linear no eixo X, pode-se ainda verificar que a aceleração é ligeiramente inferior a 0 G na primeira faixa amarela. A aceleração média é cerca de -0,07 G no eixo X, e deve-se ao facto de o veículo estar ligeiramente inclinada para o lado direito na perspetiva do seu utilizador, que se encontrava com o pé direito assente no solo enquanto o semáforo se encontrava vermelho. Nesta zona também se verifica que a aceleração linear segundo o eixo Y é de 0,06 G (em média) visto que o veículo se encontrava numa subida, ou seja, o veículo estava ligeiramente inclinado para trás.

As faixas cinzentas, retratam períodos de interesse em que a aceleração registada segundo um ou mais eixos apresenta um valor significativamente diferente do seu valor base. Estas apresentam-se numeradas de 1 a 4, na Figura 6.8.

Na faixa 1, verifica-se um aumento significativo da aceleração nos três eixos, apresentando um valor máximo de 6,93G no eixo Z, ou seja, mais 5,93G face ao seu valor base. Estes picos devem-se à passagem do veículo numa lomba bastante acentuada.

Nas faixas 2 e 3 verifica-se o mesmo fenómeno, um aumento da aceleração nos três eixos (em módulo). Na faixa 2, deve-se também à passagem numa lomba. No entanto, na faixa 3 as vibrações são causadas por uma depressão intensa na estrada. Na última faixa, verifica-se um aumento da aceleração nos eixos Y e Z provocado por uma travagem brusca e pela passagem numa depressão da estrada.

Num estudo sobre a capacidade de aceleração e travagem de bicicletas, foram testadas as acelerações e desacelerações de bicicletas em pavimentos planos lisos (betão e asfalto) e em terra plana. Para os testes, foram utilizadas diversas bicicletas conduzidas por diferentes participantes. No estudo da aceleração, os participantes foram encorajados a pedalar tão rapidamente quanto possível. Tanto para o pavimento em terra como para os pavimentos lisos, as médias da aceleração foram 0.12G. No estudo da capacidade de travagem, a média de desaceleração, usando os dois travões, foi de 0.37G para o solo em terra e de 0.43G para o solo em asfalto e betão (76).

É então facilmente perceptível que os dados registados nos gráficos de aceleração do Percurso A, têm por vezes valores muito superiores (em módulo) ao que se esperava. A unidade MPU-6050 contém o filtro passa-baixo programável, que bloqueia frequências altas e permite frequências baixas entre uma certa gama, que por defeito é de 5 a 256 Hz (51). Por este motivo, e visto que este sensor tem uma elevada fiabilidade, supõem-se que os valores de aceleração referidos se devem a vibrações de baixa frequência, resultantes das perturbações na estrada do percurso e do fraco amortecimento da estrutura da bicicleta.

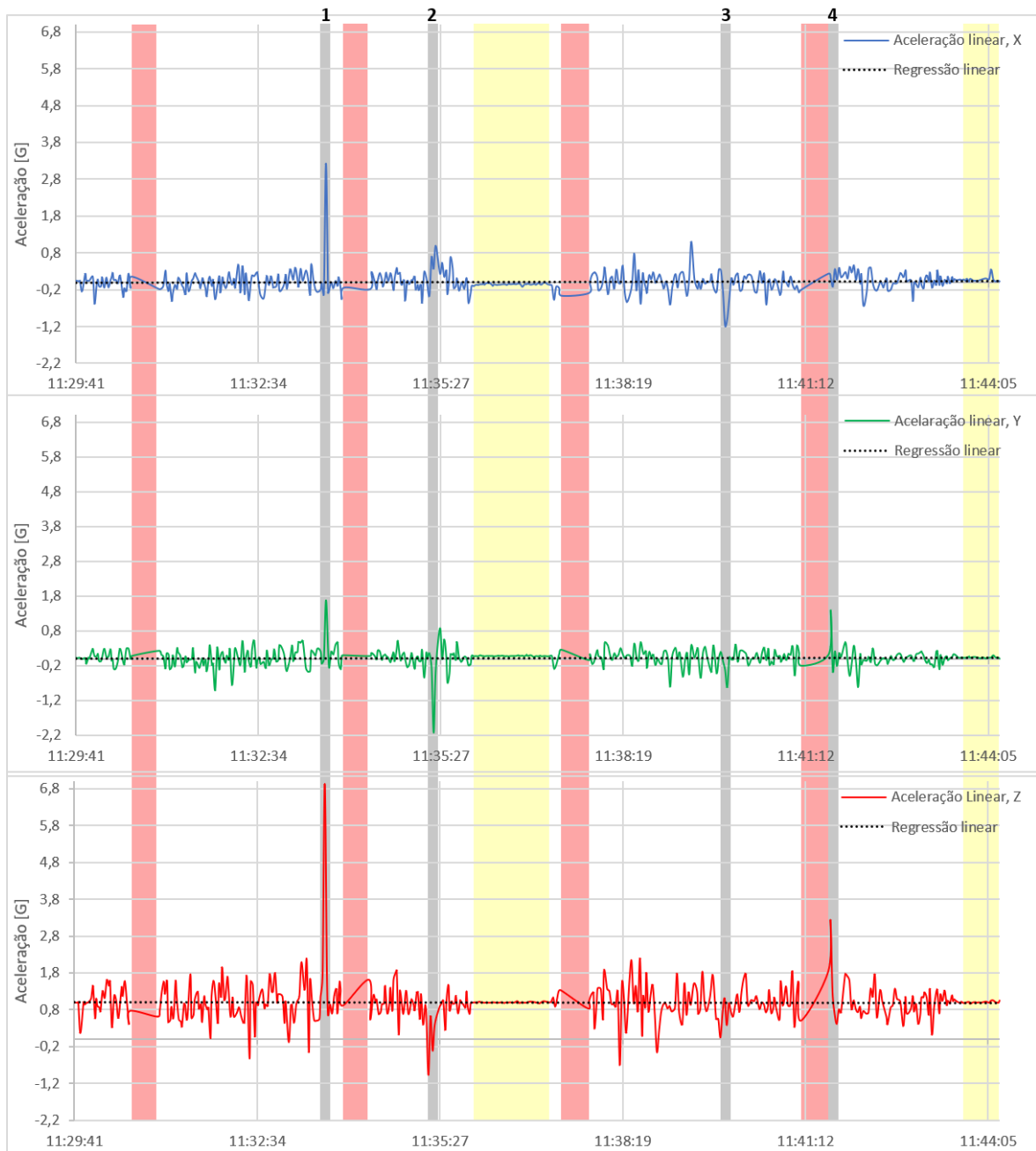


Figura 6.8 - Acelerações lineares registadas no Percurso A.

Nas Figura 6.9, Figura 6.10 e Figura 6.11, encontram-se expostos os resultados de acelerações lineares recolhidos durante o Percurso B, Percurso C e Percurso D, respetivamente. Para a análise dos perfis de aceleração linear, e à semelhança da análise que se efetuou para o Percurso A, utilizaram-se faixas de diferentes cores, sobrepostas aos gráficos. Como foi referido anteriormente, as faixas de cor magenta representam os períodos em que houve falhas no envio dos dados para o

servidor, as faixas amarelas traduzem períodos em que a bicicleta se encontra em repouso e as faixas cinzentas retratam pontos de interesse.

Nas faixas cinzentas da Figura 6.9 notam-se grandes variações da aceleração linear segundo os vários eixos, e todas elas devem à passagem em perturbações da estrada, como lombas e depressões. Na faixa amarela desta figura verifica-se que a aceleração segundo o eixo Z passa a aproximadamente 0 G, enquanto que a aceleração segundo o eixo X se aproxima de -1 G. Isto deve-se à colocação da bicicleta na horizontal no final do Percurso B, repousando o seu lado direito (do ponto de vista do utilizador) no solo. Neste caso, a aceleração gravítica é principalmente detetada na direção do eixo X e sentido oposto.

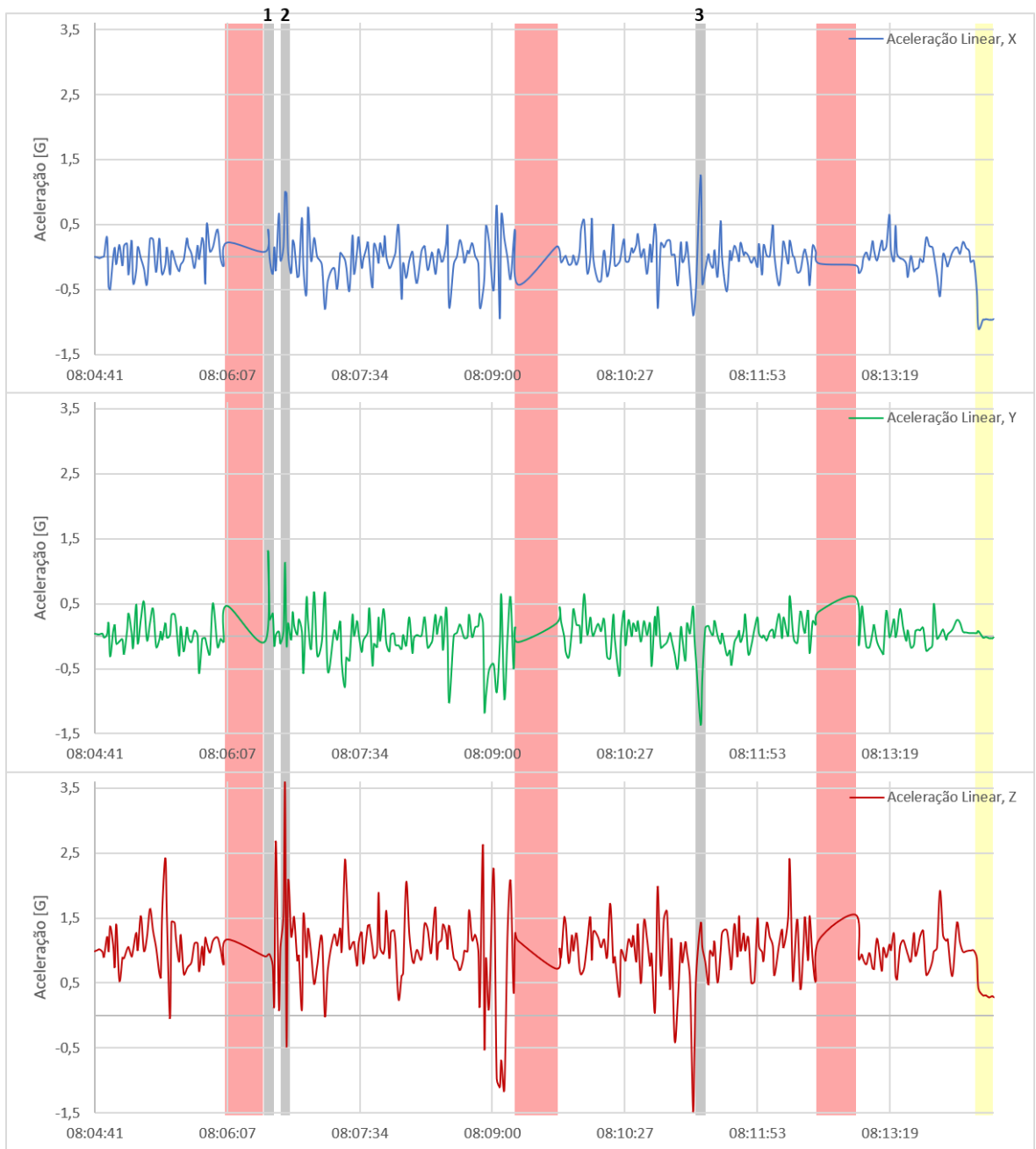


Figura 6.9 - Acelerações lineares registadas no Percorso B.

As faixas cinzentas 1 e 2 da Figura 6.10 contêm variações acentuadas da aceleração segundo o eixo X, que se devem à mudança de direção da bicicleta de forma repentina, de maneira a equilibrar o veículo, que se movia a uma velocidade relativamente reduzida. As restantes devem-se, mais uma vez, a perturbações na estrada. Nota-se ainda que, sensivelmente, a partir das 16:35h os perfis de

aceleração apresentam uma maior variância, que se deve à passagem para solo em calçada, que é um tipo de piso mais acidentado face ao asfalto.

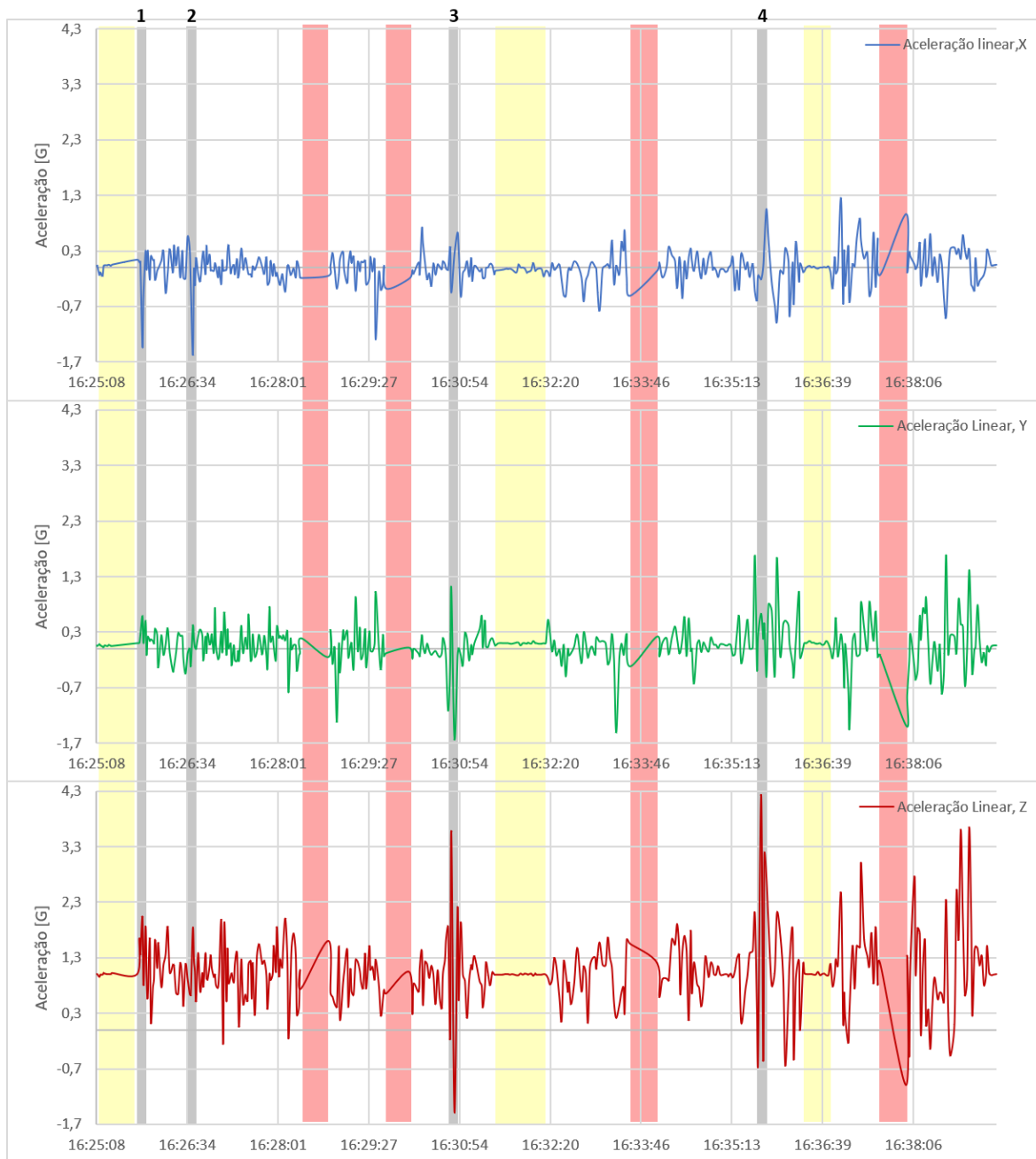


Figura 6.10 - Acelerações lineares registadas no Percurso C.

Em semelhança aos casos anteriores, as faixas cinzentas 1, 2, 3 e 4 da Figura 6.11 representam zonas com variações de aceleração linear elevadas, que se devem a irregularidades no terreno. A partir das 9:08h, verifica-se que a variância da aceleração linear segundo os vários eixos diminui

devido à passagem de solo em calçada para solo em asfalto, que se trata de um piso relativamente menos acidentado.

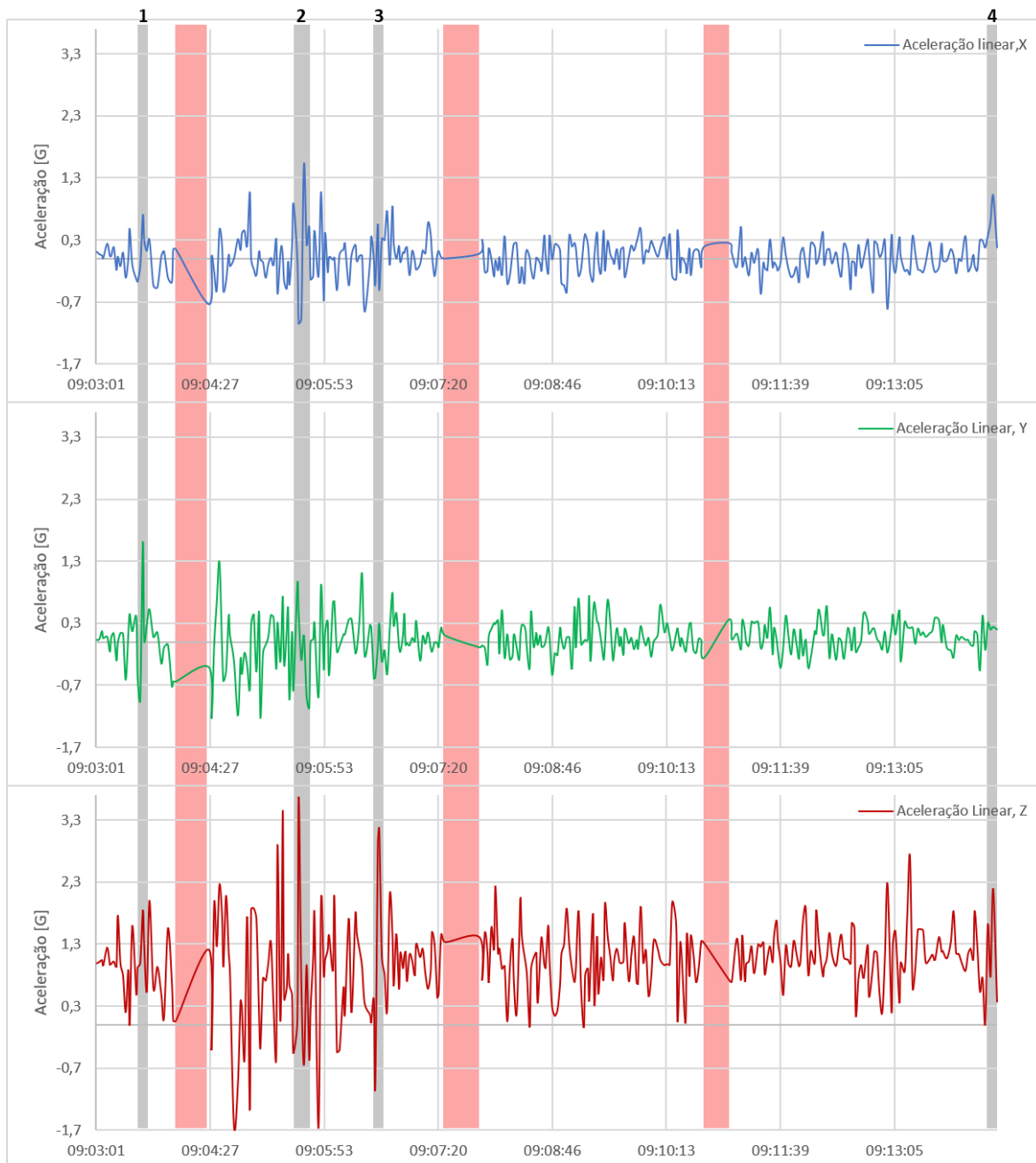


Figura 6.11 - Acelerações lineares registadas no Percorso D.

Os dados de aceleração linear são bastante importantes para a análise dos percursos, e apresentam algumas potencialidades importantes. Podem ser bastante úteis na reconstrução de acidentes rodoviários, podendo salvar o utilizador da bicicleta. Podem ainda ser utilizados na deteção

de acidentes, permitindo o desenvolvimento de sistemas de ajuda em caso de emergência. Como foi analisado na revisão bibliográfica, podem também ser utilizados para a deteção de roubos, pela deteção de vibrações causadas pelo manuseamento indevido da bicicleta. A utilização destes dados de rastreabilidade pode contribuir para a segurança do veículo e do seu utilizador.

6.3 Velocidade Angular

Como foi referido anteriormente, a MPU-6050 contém um sistema de giroscópios que permite a leitura das velocidades angulares segundo os seus três eixos, ou seja, a taxa de variação do espaço angular em função do tempo. Como se pode verificar pela Figura 6.12, o sistema de eixos dos giroscópios é semelhante ao dos acelerómetros da unidade de processamento de movimento.

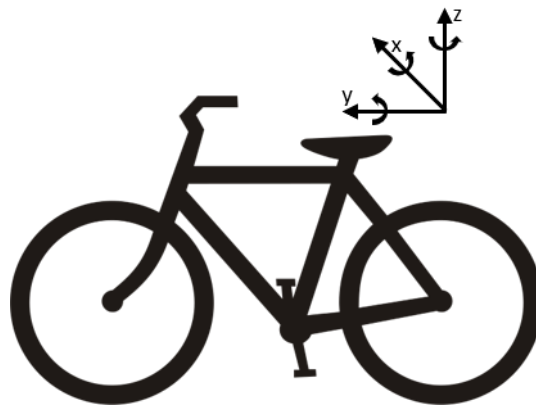


Figura 6.12 - Sistema de eixos dos giroscópios da MPU.

Obviamente, quando a bicicleta se encontra em repouso é esperado que a velocidade angular, em qualquer componente, seja nula.

Na Figura 6.13, encontram-se os dados de velocidade angular obtidos no Percurso A. Como se esperava, os valores de maior módulo e mais irregulares foram registados para rotações em torno do eixo Y. De facto, a variância (traduz a dispersão estatística dos dados em torno do valor médio) dos dados de velocidade angular em torno do eixo Y é cerca de $216^{\circ}/s$, enquanto que para os dados segundos os eixos X e Z é de $52^{\circ}/s$ e $97^{\circ}/s$, respetivamente. Isto porque se trata do principal eixo em torno do qual o utilizador deve estabelecer e procurar o equilíbrio, uma vez que as rotações em torno

dos restantes eixos são limitadas pelas forças exercidas nas rodas da bicicleta pelo solo. Além disso, o próprio ato de pedalar provoca um balanceamento da bicicleta em torno deste eixo.

A variância da velocidade angular em torno do eixo X é a menor. Visto que o terreno é praticamente plano e relativamente pouco acidentado ao longo do percurso, não se geram rotações intensas frequentes em torno do eixo X. Por fim, as rotações em torno do eixo Z são principalmente geradas por mudanças de direção, pelo que se espera que a variância registada para a velocidade angular em torno deste eixo seja intermédia, já que o percurso não é reto e o terreno é relativamente regular.

O valor médio dos dados de velocidade angular recolhidos é aproximadamente 0°/s segundo os três eixos, refletindo que as velocidades angulares em torno dos mesmos são equilibradas ao longo do Percurso A.

Em semelhança à metodologia utilizada para a análise da aceleração linear, a Figura 6.13 contém faixas magentas, cinzentas e amarelas que se sobrepõem aos gráficos de velocidade angular. Os seus significados são os mesmos, as faixas magentas refletem períodos de ausência de receção de dados no servidor, as faixas amarelas representam períodos em que a bicicleta se encontra em repouso e as faixas cinzentas retratam períodos de interesse.

Como se esperava, nas zonas dos gráficos onde as faixas amarelas se sobrepõem, verifica-se que a velocidade angular segundo as várias componentes é aproximadamente nula, visto que o veículo está em repouso. Como se referiu anteriormente, a primeira paragem deve-se a um semáforo vermelho, e a segunda paragem corresponde ao período após o estacionamento da bicicleta.

As zonas cinzentas número 1, 2 e 3 correspondem a eventos semelhantes aos retratados no subcapítulo anterior. Na faixa número 1, verifica-se um máximo de aproximadamente 156°/s na velocidade angular em torno do eixo Y. Trata-se de um valor espectável, visto que corresponde ao instante em que o condutor efetuou uma correção da inclinação da bicicleta para o lado direito após a passagem numa lomba, de modo a manter o seu equilíbrio. A segunda faixa cinzenta retrata a passagem da bicicleta em duas lombas. O mínimo registado para a velocidade angular em torno de X, nesta faixa, retrata a descida da primeira lomba, enquanto que o máximo corresponde à subida da segunda lomba. Nesta faixa, nota-se ainda um aumento do módulo da velocidade angular em torno do eixo Y que se deve à perturbação do equilíbrio da bicicleta causado por depressões na estrada. O mesmo se verifica na faixa cinzenta número 3, após a passagem numa depressão.

A faixa número 4 corresponde ao período em que se acedeu ao estacionamento da Estação de Aveiro. Foram então registadas rotações em torno de Z no sentido horário e anti-horário, que correspondem, respetivamente, ao mínimo e ao máximo da velocidade angular em torno do eixo Z registada nesta faixa. Repare-se que, no instante de aquisição de dados anterior a esta faixa, se verificou um aumento da velocidade angular em torno de Y (inclinação da bicicleta para a direita), iniciando-se uma curva para a direita do condutor. No instante de aquisição de dados seguinte, registou-se uma velocidade angular em torno de Z com valor negativo (rotação em sentido horário), refletindo também uma curva para a direita. O máximo da velocidade angular em torno de Z, na faixa 4, retrata uma mudança de direção para a esquerda, em direção ao estacionamento.

Verificou-se ainda que, em relação aos dados de aceleração linear, os dados de velocidade angular recolhidos não são tão suscetíveis a variações e ruídos significativos.

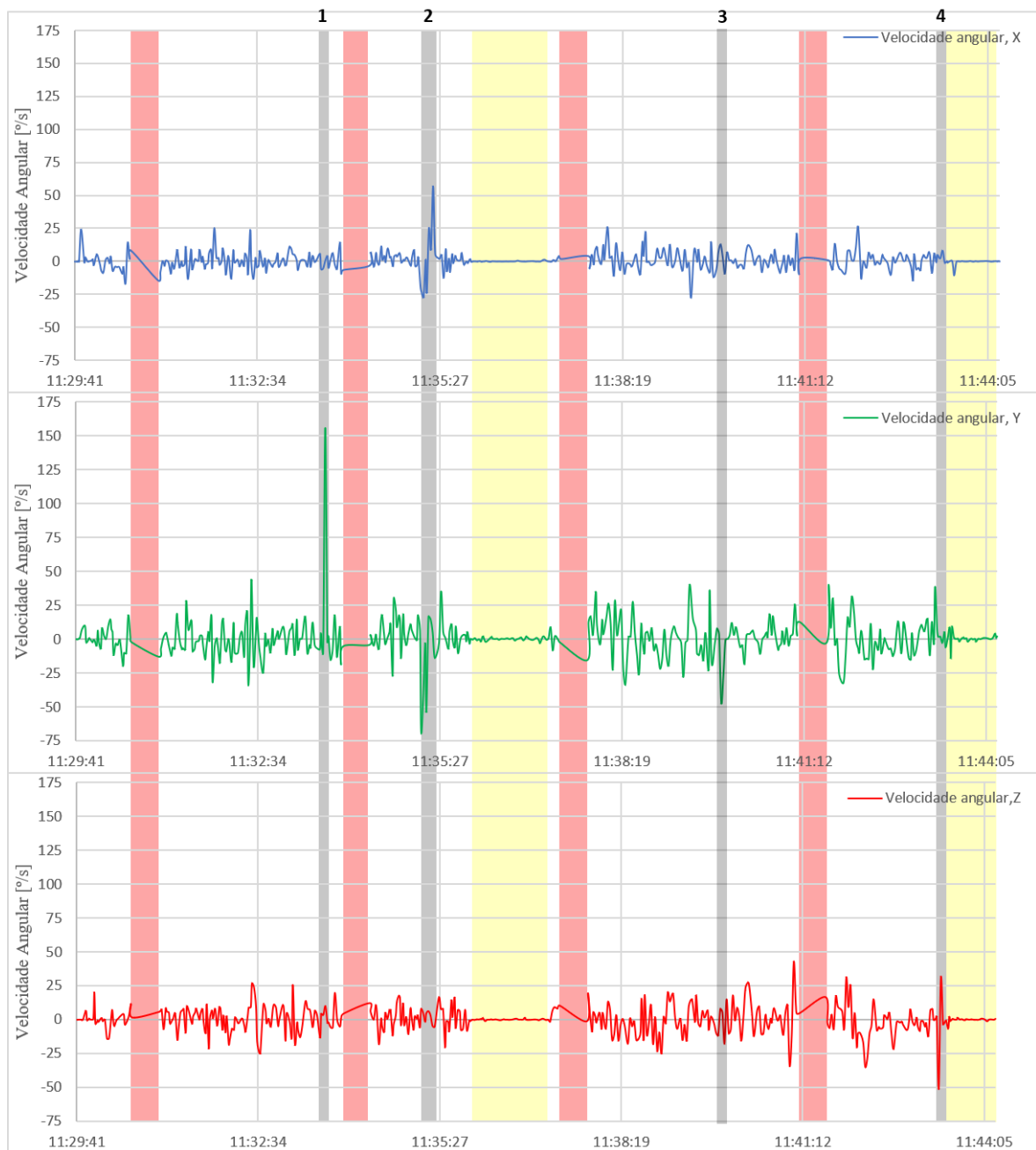


Figura 6.13 - Velocidades angulares registadas no Percurso A.

Nas Figura 6.14 a Figura 6.16 encontram-se expostos os resultados de velocidades angulares recolhidos durante o Percurso B, Percurso C e Percurso D, respetivamente. Mais uma vez, para facilitar a análise dos dados recolhidos, foram utilizadas faixas de cores diferentes, cujo significado foi referido anteriormente.

As faixas cinzentas número 1 e 2 da Figura 6.14 apresentam valores de velocidade angular notáveis devido a irregularidade da estrada, enquanto que a faixa número 3 apresenta uma grande

variação da velocidade angular em torno do eixo Z, devido a uma mudança de direção do veículo à direita, na entrada do estacionamento para bicicletas da Estação de Aveiro.

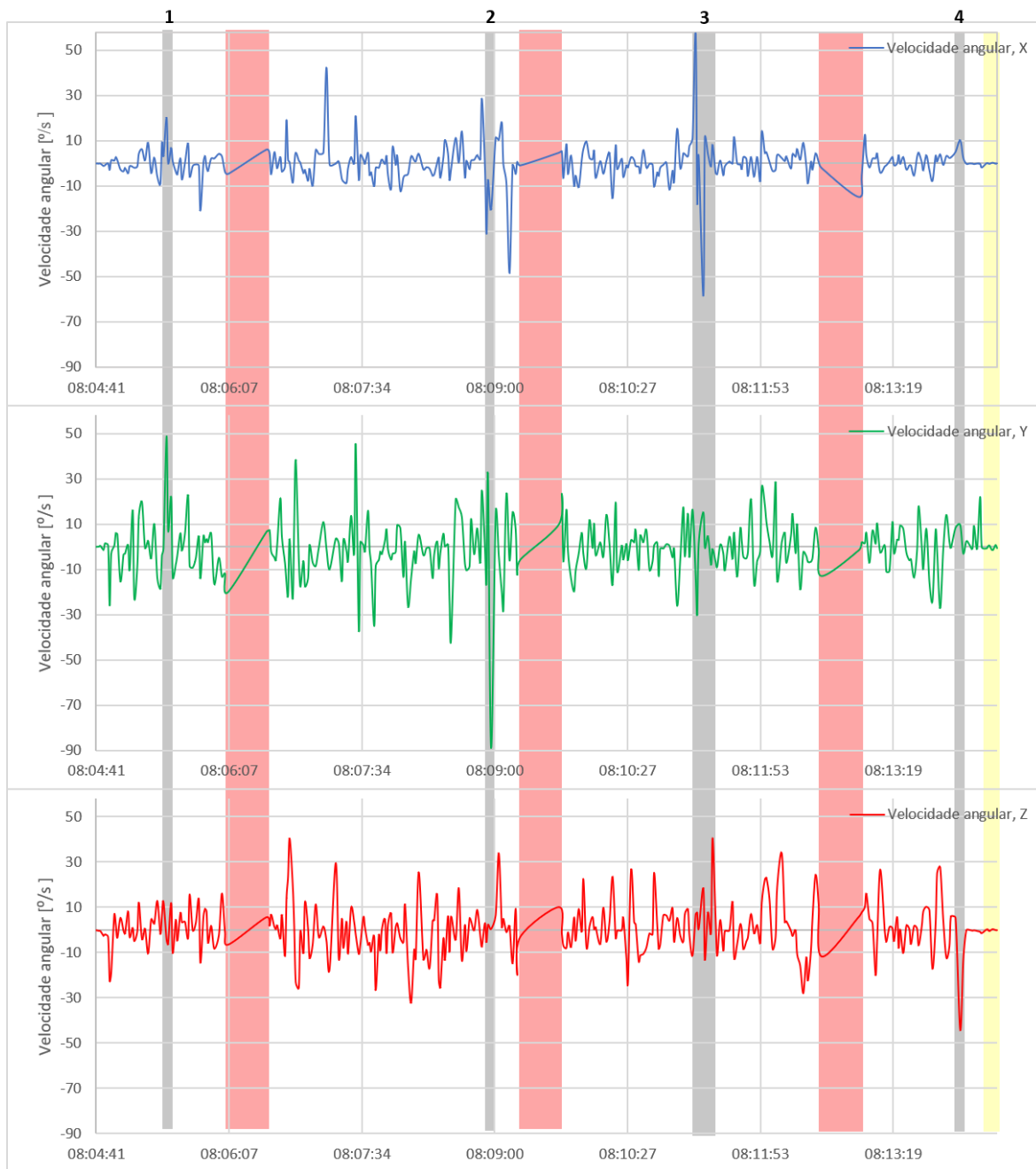


Figura 6.14 - Velocidades angulares registadas no Percurso B.

Na Figura 6.15, correspondente aos gráficos de velocidade angular do Percurso C, as faixas cinzentas apresentam valores de velocidade angular que se destacam, e devem-se essencialmente a perturbações na estrada seguidas de ligeiras mudanças de direção do veículo de modo a restabelecer

o equilíbrio. Tal como se verificou nos dados de aceleração linear deste percurso, nota-se que a partir das 16:35h os perfis de velocidade angular apresentam uma maior variância, que se deve à passagem de asfalto para piso em calçada.

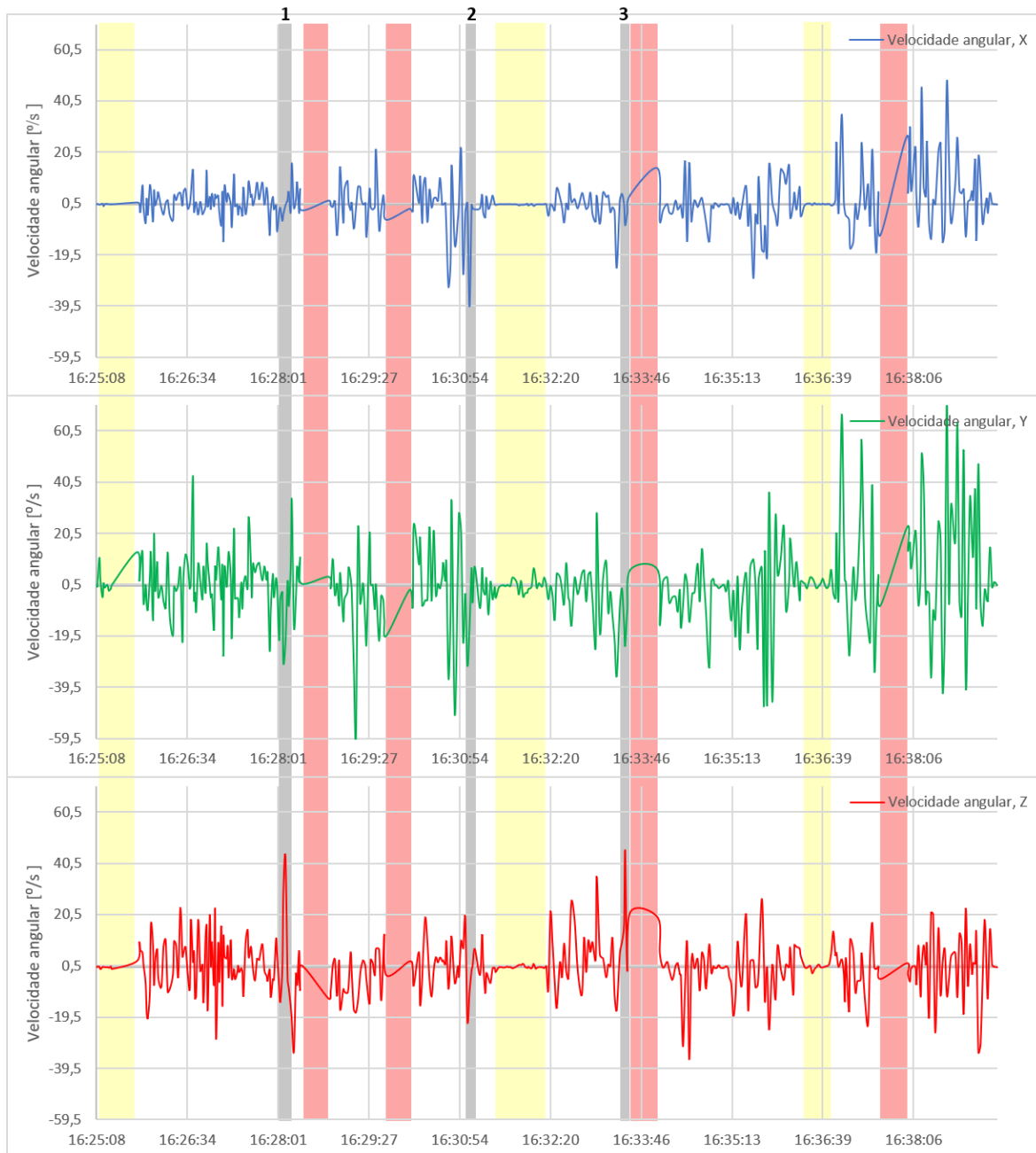


Figura 6.15 - Velocidades angulares registadas no Percurso C.

Na Figura 6.16 encontram-se representados aos gráficos de velocidade angular do Percurso D. Em semelhança aos percursos anteriores, as faixas cinzentas assinalam valores de velocidade angular

que se destacam e, mais uma vez, devem-se essencialmente a irregularidades na estrada seguidas e mudanças de direção do veículo. Analogamente aos dados de aceleração linear deste percurso verifica-se que a partir das 9:08h os gráficos de velocidade angular apresentam uma menor variância, que se deve à passagem de piso em calçada para asfalto, que apresenta menos irregularidades.

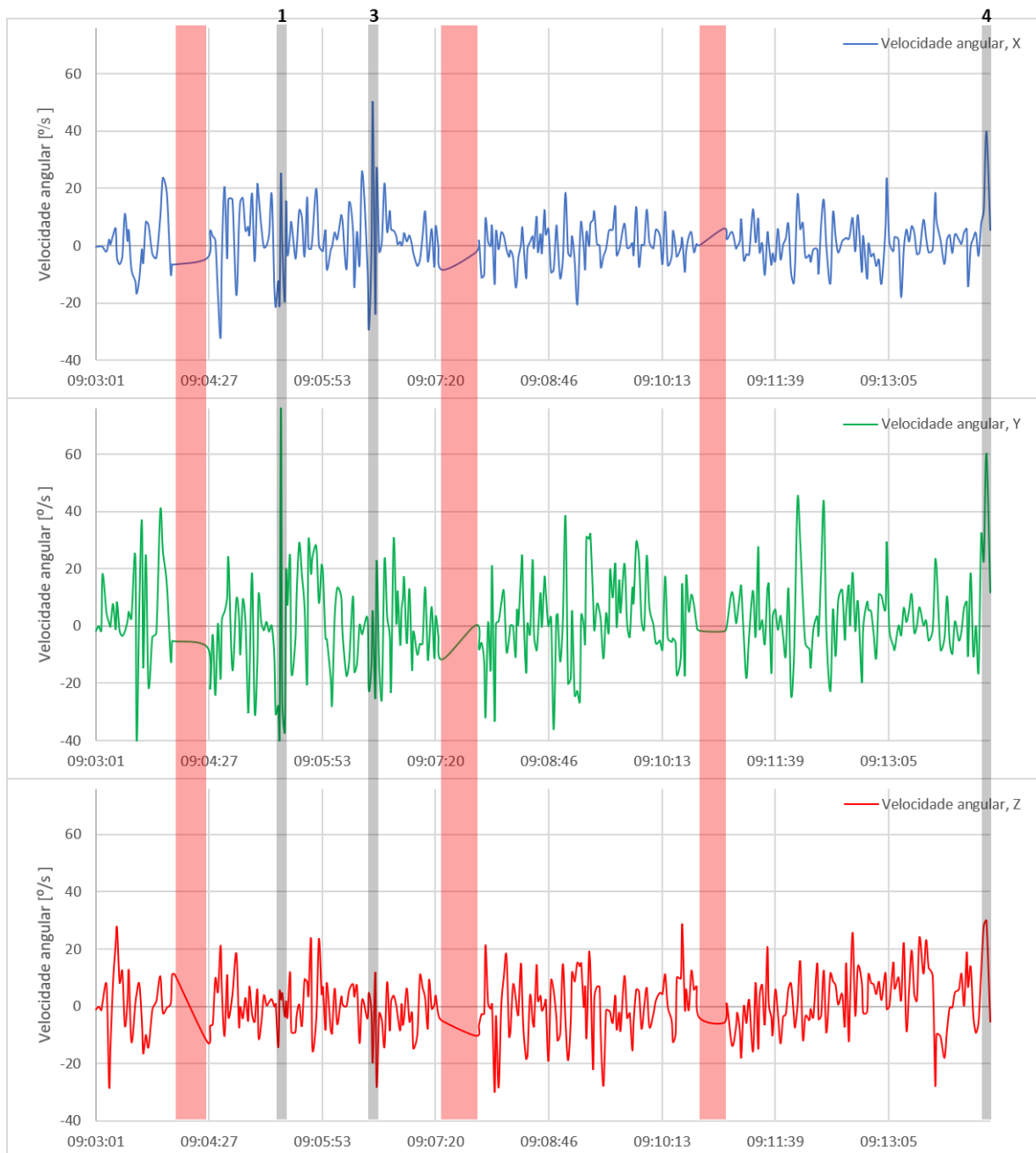


Figura 6.16 - Velocidades angulares registadas no Percurso D.

Em semelhança aos dados de aceleração linear, os dados de velocidade angular podem ser utilizados para a análise dos percursos efetuados e do manuseamento do veículo. Podem ser utilizados na deteção de acidentes, auxiliando o desenvolvimento de sistemas de ajuda em caso de emergência. Podem também ser utilizados na deteção de roubos, detetando o manuseamento indevido da bicicleta. Mais uma vez, o uso destes dados pode contribuir para a segurança do veículo e do seu utilizador.

6.4 Temperatura

O sensor de temperatura, pertencente à MPU-6050, permite determinar a temperatura da caixa que envolve a plataforma de rastreabilidade desenvolvida. A temperatura no interior da caixa tende a aproximar-se da temperatura ambiente, no entanto é influenciada pela temperatura dos restantes componentes do sistema. Este sensor permite recolher a temperatura ambiente aproximada e rastrear o próprio sistema, detetando possíveis sobreaquecimentos. Na Figura 6.17, podem-se verificar as temperaturas registadas ao longo do Percurso A. Como se pode verificar, a temperatura inicial é de aproximadamente 23 °C. Esta, era a temperatura que se registava no Departamento de Engenharia Mecânica de Aveiro, onde se encontrava a bicicleta pouco antes de se dar início ao Percurso A. Nota-se que a temperatura desce gradualmente até à temperatura ambiente, que rondava os 20,5 °C. A partir das 11:35h, verifica-se que a temperatura inicia uma subida até às 11:37h, onde temperatura é 21,6 °C. Este aquecimento deve-se à paragem do veículo, diminuindo a ventilação da caixa onde se encontram instalados os componentes de *hardware*. Visto que o veículo se encontra imóvel neste período, o arejamento da caixa é diminuído, provocando uma redução da dissipação de calor da caixa onde se encontra instalado o sistema de rastreabilidade. Assim que se retoma o movimento, a temperatura volta a descer, iniciando uma nova subida assim que se imobiliza o veículo, após o seu estacionamento na Estação De Aveiro.

A temperatura média deste percurso foi cerca de 21 °C, e encontra-se representada com traço verde na Figura 6.17.

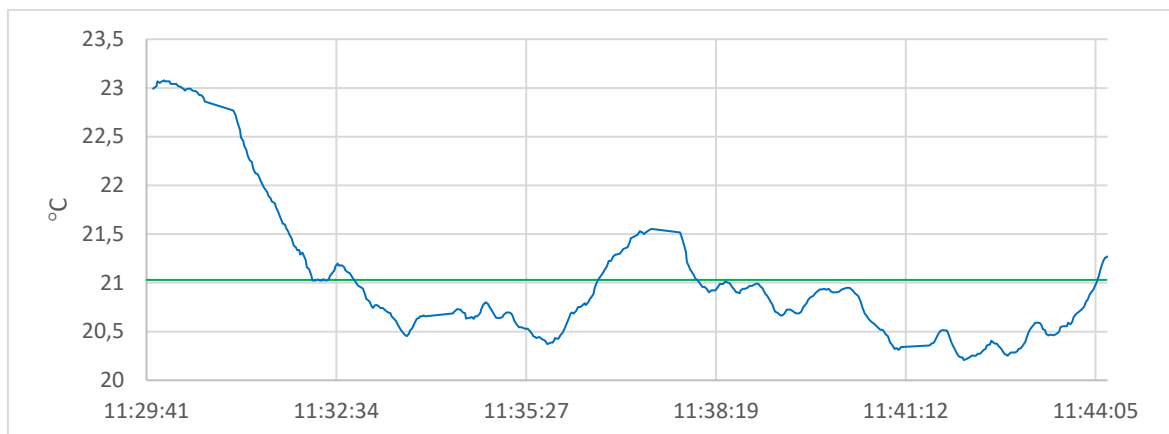


Figura 6.17 - Temperaturas registadas ao longo do Percurso A.

Nas Figuras Figura 6.18 a Figura 6.20 encontram-se expostos os dados de temperatura recolhidos durante o Percurso B, Percurso C e Percurso D, respetivamente.

Em todos os percursos se verificou uma subida da temperatura quando o veículo está imóvel ou circula a velocidade relativamente reduzida. Sempre que o veículo retoma o movimento, a temperatura baixa até um valor que se aproxima da temperatura ambiente. Estes três percursos foram efetuados no mesmo dia, e nos seus gráficos de temperatura é possível ter uma perceção da evolução da temperatura ao longo desse dia. O primeiro percurso realizado (Percurso B), que terminou sensivelmente às 8:15h, apresentou uma temperatura média de 18,1 °C. O segundo foi o Percurso D que terminou por volta das 9:15h, e evidenciou uma temperatura média um pouco superior, 18,7°C. Por fim, realizou-se o Percurso C que terminou às 16:40h e apresentou uma temperatura média superior à de todos os outros percursos, 25,5°C. As temperaturas médias encontram-se representadas a traço verde nas Figura 6.18 a Figura 6.20.

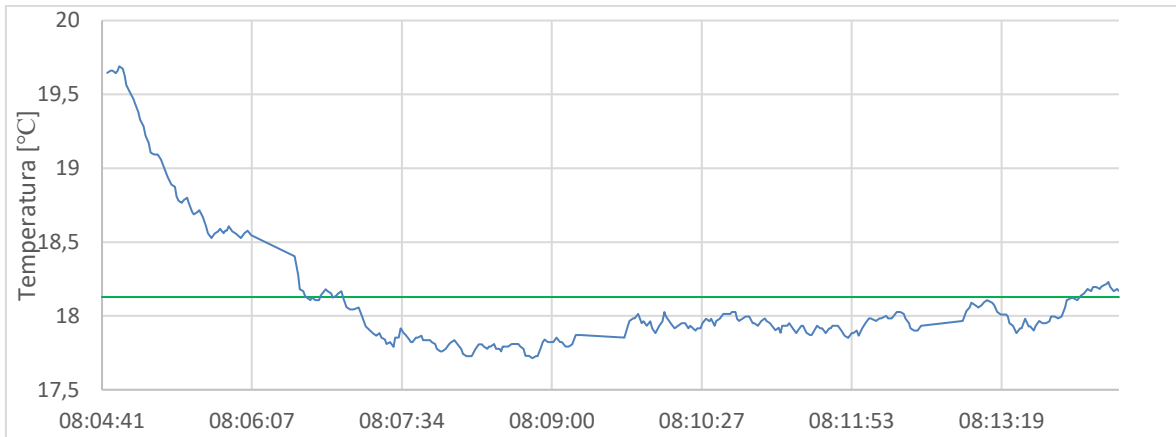


Figura 6.18 - Temperaturas registadas ao longo do Percurso B.



Figura 6.19 - Temperaturas registadas ao longo do Percurso C.

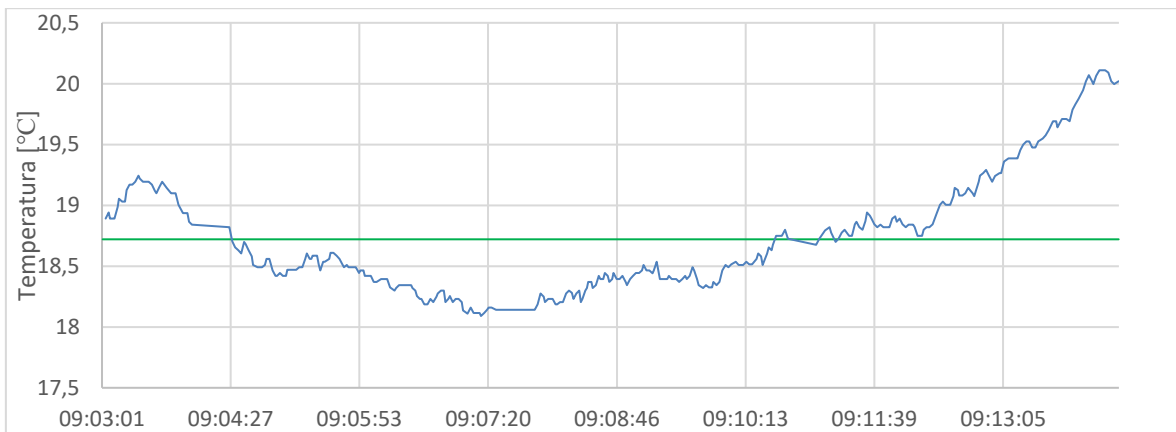


Figura 6.20 - Temperaturas registadas ao longo do Percurso D.

6.5 Distância lateral de ultrapassagem

O sensor de distância foi inicialmente testado e calibrado num ambiente controlado, no interior de um edifício. Como se pode verificar pela Figura 6.21, na área da sala utilizada para o efeito, não existem obstáculos secundários e o pavimento é praticamente liso. Foram colocadas fitas brancas no pavimento para marcar as distâncias à parede de 30, 60, 100, 150 e 200 cm.



Figura 6.21 - Calibração do sensor de distância.

Alinhando o sensor de distância com as várias marcas no pavimento e mantendo uma altura ao chão semelhante à da plataforma da bicicleta, foram efetuadas aquisições dos dados da distância à parede. Através da comparação dos dados de distância recolhidos (d_{lida}) com os valores de distância reais (d_{real}), foi possível efetuar a calibração do sensor. Para isso foram determinadas as constantes m e b da equação da regressão linear dos dados de distância (equação 6.1). Implementando esta equação no código desenvolvido, os dados do sensor foram calibrados e obtiveram-se leituras de distância corretas.

$$d_{real} = m \cdot d_{lida} + b \quad (6.1)$$

A partir das imagens recolhidas pelo *action camera* instalada na bicicleta, foram registadas 10 ultrapassagens da bicicleta por veículos motorizados ao longo do Percurso A. Com recurso ao sensor de distância utilizado, foram recolhidas as distâncias de 5 das ultrapassagens registadas pelas

imagens da câmara. As restantes não foram captadas pelo sensor de distância por duas possíveis situações.

A primeira deve-se às falhas de comunicação com o servidor e ao facto de a frequência de aquisição de dados ser cerca de 0.59 Hz, ou seja, uma aquisição de 1,7 em 1,7 segundos. Algumas das ultrapassagens foram efetuadas entre medições e em períodos de falha de comunicação, não sendo por isso captadas pelo sensor de distância. Das cinco ultrapassagens não detetadas, duas resultaram de falhas de comunicação e outras duas de períodos entre medições.

A segunda situação deve-se à deteção de superfícies não desejadas (como o próprio asfalto do solo), induzindo medições claramente erradas. Esta última provocou a falha na deteção de uma das ultrapassagens. A deteção de objetos indesejados pode dever-se ao padrão do feixe de ultrassons do sensor. O padrão do feixe trata-se da sensibilidade relativa do transdutor como uma função do ângulo no espaço, e depende de vários fatores como a frequência, o tamanho e forma do transdutor, e as características refletoras da superfície. Este feixe é recíproco, ou seja, é o mesmo quer o transdutor seja utilizado como emissor ou recetor (77).

Quanto maior o diâmetro do transdutor em relação ao comprimento de onda, mais estreito é o feixe. Como se pode verificar na Figura 6.22, para um transdutor com um diâmetro maior que o comprimento de onda, o feixe é estreito. No entanto contém um conjunto de lóbulos secundários, sequencialmente de menor amplitude, separados por lacunas. O transdutor tem então maior sensibilidade no feixe principal e ainda alguma sensibilidade nos lóbulos secundários, que se podem dispor em ângulos elevados em relação ao transdutor (77). Isto pode resultar na deteção de superfícies indesejadas, como o asfalto da estrada do Percurso A.

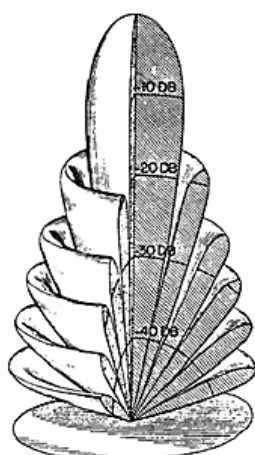


Figura 6.22 - Padrão do feixe de um transdutor com um diâmetro maior que o comprimento de onda (77).

Por outro lado, a refletividade das superfícies atingidas pelo feixe de ultrassons tem grande influência no eco das ondas sonoras. Quando as superfícies a detetar se encontram em movimento, como é o caso dos veículos motorizados que ultrapassam o velocípede, ou existem variações na velocidade relativa do som, a refletividade das superfícies é alterada. Os níveis do eco entre pulsos do sensor podem ter grandes variações, induzindo erros de medição. A existência de ruído pode também influenciar negativamente as aquisições de distância, sendo que frequências menores são menos suscetíveis a ruído (77).

A distância média de ultrapassagem registada foi 96 cm, inferior à distância mínima de ultrapassagem de velocípedes regulamentada pela Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária. Segundo o Código da Estrada, quando um veículo motorizado efetua uma ultrapassagem a um velocípede deve guardar uma distância lateral de 1,5 m (78). Na Tabela 6.1 podem-se ver os resultados de distância lateral recolhidos para o Percurso A. Como se pode verificar, apenas uma das ultrapassagens registadas foi efetuada de acordo com os requisitos do Código da Estrada.

Tabela 6.1 - Resultados das distâncias de ultrapassagem no Percurso A.

Número	Distância
1	140 (cm)
2	150 (cm)
3	95 (cm)
4	55 (cm)
5	Falha de comunicação
6	Deteção de superfície indesejada
7	Entre períodos de aquisição
8	40 (cm)
9	Falha de comunicação
10	Entre períodos de aquisição

Na Tabela 6.2 estão apresentados os resultados das medições de distância lateral de ultrapassagem durante o Percurso B. Como se pode verificar, foram efetuadas 9 ultrapassagens. Das quais foram detetadas 7. A distância média de ultrapassagem foi 85 cm, e nenhuma das ultrapassagens detetadas foi efetuada de acordo com a atual legislação portuguesa.

Tabela 6.2 - Resultados das distâncias de ultrapassagem no percurso B.

Número	Distância
1	Entre períodos de aquisição
2	75 (cm)
3	85 (cm)
4	65 (cm)
5	110 (cm)
6	80 (cm)
7	80 (cm)
8	100 (cm)
9	Deteção de superfície indesejada

Na Tabela 6.3 podem-se verificar os dados de distância de ultrapassagem registados durante o Percurso C. Foram efetuadas 15 ultrapassagens, tendo sido detetadas 9 ultrapassagens pelo sensor de distância. A distância média foi 137 cm, e duas das ultrapassagens detetadas foram efetuadas respeitando o Código da Estrada.

Tabela 6.3 - Resultados das distâncias de ultrapassagem no Percorso C.

Número	Distância
1	120 (cm)
2	125 (cm)
3	Entre períodos de aquisição
4	185 (cm)
5	Entre períodos de aquisição
6	Falha de comunicação
7	115 (cm)
8	135 (cm)
9	175 (cm)
10	110 (cm)
11	Entre períodos de aquisição
12	Entre períodos de aquisição
11	Entre períodos de aquisição
13	110 (cm)
14	155 (cm)
15	Entre períodos de aquisição

Por fim, na Tabela 6.4 apresentam-se os resultados de distância de ultrapassagem no Percorso D. Foram efetuadas 28 ultrapassagens, das quais foram detetadas 21. A distância média foi 113 cm, e apenas 3 das ultrapassagens detetadas pelo sensor foram efetuadas de acordo com o Código da Estrada.

Tabela 6.4 - Resultados das distâncias de ultrapassagem no Percorso D.

Número	Distância
1	Entre períodos de aquisição
2	120 (cm)
3	140 (cm)
4	Entre períodos de aquisição
5	205 (cm)
6	185 (cm)
7	Deteção de superfície indesejada
8	155 (cm)
9	85 (cm)
10	100 (cm)
11	Entre períodos de aquisição
12	95 (cm)
13	Deteção de superfície indesejada
14	95 (cm)
15	140 (cm)

16	80 (cm)
17	140 (cm)
18	75 (cm)
19	105 (cm)
20	80 (cm)
21	55 (cm)
22	Deteção de superfície indesejada
23	Deteção de superfície indesejada
24	105 (cm)
25	100 (cm)
26	100 (cm)
27	130 (cm)
28	90 (cm)

Verifica-se que o percurso efetuado que apresenta maior distância média de ultrapassagem é o Percurso C e, portanto, foi o percurso que os outros utilizadores da via rodoviária apresentaram melhor comportamento e respeito pela mobilidade ciclável a nível de ultrapassagens.

A utilização dos dados de distância lateral de ultrapassagem pode ser bastante útil na análise de percursos e do comportamento dos outros utilizadores da via pública face à mobilidade ciclável.

Capítulo 7

Conclusões e Trabalhos futuros

O grande foco desta dissertação de mestrado foi o desenvolvimento de uma plataforma de rastreabilidade de bicicletas, capaz de recolher dados com potencialidades de melhoria da segurança do veículo e do seu utilizador. Este objetivo foi cumprido com o desenvolvimento de um sistema de baixo custo, que efetua a aquisição e armazenamento de dados de localização, aceleração, velocidade angular, temperatura e distância lateral de ultrapassagem. Com o desenvolvimento da página *web*, cumpriu-se o objetivo da elaboração de uma interface do sistema com o utilizador, que permite a visualização dos dados recolhidos em tempo real.

Ao longo da elaboração desta dissertação surgiram algumas dificuldades e limitações, principalmente devido ao *hardware* utilizado e *software* desenvolvido. Relativamente ao microcontrolador utilizado (ESP8266), surgiram algumas dificuldades na comunicação com os periféricos através da interface UART. Uma vez que o microcontrolador apenas tem um *buffer* de receção para comunicações série, não é possível receber mensagens série de vários periféricos em simultâneo sem que haja sobreposição de mensagens. Para resolver este problema, propuseram-se duas soluções: trocar este microcontrolador por outro com vários *buffers* de receção de mensagens série, ou seja, várias interfaces UART (por exemplo, o microcontrolador ESP32 (79)) ; criar uma estratégia de modo a evitar sobreposição de mensagens série. Uma vez que este problema se verificou devido a dois periféricos apenas, e só um deles enviava mensagens continuamente, optou-se pela segunda solução. Desenvolveu-se um circuito, com recurso a uma *AND gate*, capaz de bloquear as mensagens provenientes do periférico que envia mensagens continuamente (o módulo GNSS), evitando a sobreposição de mensagens.

O desenvolvimento do *software* para o controlo do *modem*, constituiu um desafio significativo nesta dissertação, uma vez que articula todo o *software* desenvolvido para os restantes periféricos e, ainda, a base de dados do servidor. Além disso, a configuração do dispositivo, o envio de comandos e os *timings* da comunicação (tanto entre o dispositivo e o microcontrolador, como entre o dispositivo e o servidor), revelaram-se bastante complexos. Contudo, o resultado final foi bastante satisfatório e funcional, embora existam eventuais falhas de comunicação com o servidor, como foi referido anteriormente. No entanto, considera-se que esta limitação não constitui um ponto fulcral no desenvolvimento desta dissertação e não põe em causa o bom funcionamento do sistema.

Uma das maiores dificuldades na elaboração desta dissertação foi o desenvolvimento da parte do sistema que efetua a aquisição da distância lateral de ultrapassagem. Procurando minimizar o custo do sistema, foram testados três sensores de baixo custo, tendo-se selecionado por último o sensor de distância por ultrassons LV-MaxSonar-EZ1. Os dados recolhidos por este sensor apresentam bastante ruído e podem não ser totalmente fiáveis devido à dispersão do feixe de ultrassons e aos lóbulos secundários do mesmo. No entanto, foi possível efetuar medições ao longo dos vários percursos referidos anteriormente, e obtiveram-se dados satisfatórios.

O desenvolvimento do sistema de alimentação, com recarregamento a partir do aproveitamento da energia mecânica gerada pelo utilizador, constituiu um objetivo suplementar. Este foi alcançado, com a aplicação de vários conceitos de mecânica e eletrónica adquiridos ao longo do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

Para o desenvolvimento da página *web* foi necessária a aquisição de conhecimentos acerca de linguagens *web*, que constituiu um grande desafio. Uma vez que se apostou bastante na facilidade de navegação ao longo da página e no seu aspeto, foram adquiridas aptidões complexas acerca de linguagens como HTML, JavaScript, e de API's relacionadas com estas linguagens. O resultado final desta interface gráfica para com o utilizador do sistema mostrou-se bastante satisfatório, atingindo-se os principais objetivos definidos para a sua elaboração.

O sistema integral foi testado pelo autor numa bicicleta em vários percursos previamente definidos. Para os dados recolhidos, efetuaram-se análises individuais e cruzadas quanto ao seu tipo. Os resultados obtidos mostraram-se satisfatórios, relevando a funcionalidade e robustez do sistema desenvolvido. Além disso, o sistema de rastreabilidade para bicicletas desenvolvido foi utilizado para auxiliar o desenvolvimento de um artigo científico submetido para validação na conferência TRB

2019 (Transportation Research Board), do qual o autor desta dissertação é coautor. O objetivo foi a avaliação da distância de ultrapassagem entre veículos a motor e bicicletas, e o seu impacto no consumo de energia e na segurança rodoviária. (80)

7.1 Trabalhos futuros

A plataforma de rastreabilidade de bicicletas desenvolvida mostrou-se funcional e completa os objetivos definidos para a presente dissertação. Contudo, ao terminar esta dissertação e tendo em consideração as dificuldades encontradas, tem-se consciência que o sistema pode ser melhorado com o aperfeiçoamento das funcionalidades existentes ou com a adição de novas funcionalidades. Assim sendo, apresentam-se como sugestões de melhoria:

- Investigação de alternativas para a medição da distância alterar de ultrapassagem, como a utilização de sensores LIDAR.
- Adaptação da plataforma de rastreabilidade de modo efetuar a medição da distância frontal a objetos, uma vez que pode ser um dado crucial para o melhoramento da segurança do utilizador da bicicleta.
- Utilização do módulo GNSS para a aquisição da velocidade do veículo, visto que se trata de uma informação importante para a reconstrução de acidentes rodoviários.
- Investigação e melhoramento da comunicação entre o veículo e o servidor, de maneira a reduzir o tempo de envio de dados, reduzir as falhas de comunicação e aumentar a frequência de aquisição de dados.
- Melhoria da aquisição da posição geográfica tridimensional do veículo de modo a efetuar a aquisição de altitude robusta, possibilitando a representação do perfil de altitude dos percursos.
- Adaptação do dispositivo GNSS de modo a captar sinais provenientes do sistema de satélites europeu, Galileo.
- Desenvolvimento de um sistema de autenticação do utilizador para um determinado veículo.
- Desenvolvimento de um cadeado atuado remotamente, com base na autenticação do utilizador para uma bicicleta específica.
- Desenvolvimento de um sistema de rastreabilidade de bicicletas de reduzidas dimensões, de modo a poder ser instalado nas tubagens da bicicleta.

- Desenvolvimento de um sistema capaz de contabilizar o esforço do utilizador da bicicleta utilizando, por exemplo, células de carga nos pedais.

Referências bibliográficas

1. European Commission. Consumption of energy [Internet]. Eurostat; 2017 [cited 2018 Feb 26]. Available from: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Consumption_of_energy
2. European Commission. Greenhouse gas emission statistics - emission inventories [Internet]. Eurostat; 2017 [cited 2018 Feb 26]. Available from: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Greenhouse_gas_emission_statistics_-_emission_inventories
3. União Europeia. Statistical Pocketbook 2017: EU Transport in figures [Internet]. Luxemburgo: União Europeia; 2017. 156 p. Available from: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/2e046bd0-b542-11e7-837e-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-search>
4. Seabra M, Pinheiro A, Marcelino C, Costa M, Bento S. Ciclando: Plano de Promoção da Bicicleta e Outros Modos Suaves. Instituto da Mobilidade e dos Transportes (IMT), editor. Lisboa; 2012.
5. INE. Censos 2011 Resultados Definitivos - Portugal. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística; 2012.
6. ESRA. Country fact sheet Portugal Mode of transportation [Internet]. Bruxelas: Belgian Road Safety Institute; 2015. Report No.: 2016-F-14-EN (D/2016/0779/45). Available from: http://www.esranet.eu/sites/default/files/ESRA2015CountryFactSheetPortugal_0.pdf
7. Woodcock J, Edwards P, Tonne C, Armstrong BG, Ashiru O, Banister D, et al. Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: urban land transport. *Lancet (London, England)* [Internet]. 2009 Dec 5;374(9705):1930–43. Available from: [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)61714-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(09)61714-1)
8. Paffenbarger RS, Hyde R, Wing AL, Hsieh C. Physical activity, all-cause mortality, and longevity of college alumni. *N Engl J Med*. 1986;314:605–13.
9. Ewing R, Schmid T, Killingsworth R, Zlot A, Raudenbush S. Relationship between Urban Sprawl and Physical Activity, Obesity, and Morbidity. *Am J Heal Promot* [Internet]. 2003 Sep 25;18(1):47–57. Available from: http://link.springer.com/10.1007/978-0-387-73412-5_37
10. Turner S, Sandt L, Toole J, Benz R, Patten R. FHWA University Course on Bicycle and Pedestrian Transportation: Student Workbook [Internet]. Texas: Texas Transportation Insitute; 2006 [cited 2018 Mar 3]. Report No.: FHWA-HRT-05-133. Available from: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/pedbike/05085/pdf/combinedlo.pdf>
11. LDA Consulting. Capital Bikeshare: 2011 Member Survey Report [Internet]. Washington, DC: LDA Consulting; 2012 [cited 2018 Mar 3]. Available from: <https://d21x1h2maitm24.cloudfront.net/wdc/Capital-Bikeshare-SurveyReport-Final.pdf?mtime=20161206135935>
12. Silva AB, Silva JP. A bicicleta como modo de transporte sustentável. 2005 [cited 2018 Feb 28]; Available from: <http://www.hidro.ufcg.edu.br/twiki/pub/CienciasdoAmbiente/Semestre20101/bicicletas-civil.pdf>
13. Providelo JK, Sanches SP. Análise Fatorial Da Percepção Sobre O Uso Da Bicicleta. In: IV

- Congresso luso-brasileiro para o planeamento urbano, regional, integrado, sustentável [Internet]. Faro: Pluris 2010; 2010 [cited 2018 Mar 3]. p. 10. Available from: <http://pluris2010.civil.uminho.pt/Actas/PDF/Paper261.pdf>
14. Turismo de Portugal. Cycling na região de Aveiro [Internet]. 2016 [cited 2018 Aug 22]. Available from: <http://www.centerofportugal.com/pt/cycling-em-aveiro/>
 15. UA. Plataforma Tecnológica da Bicicleta e da Mobilidade Suave [Internet]. Aveiro: Universidade de Aveiro; 2018 [cited 2018 Mar 5]. Available from: <http://www.ua.pt/ptbicicleta/>
 16. Gomes G, Ivónia J. Compromisso pela bicicleta [Internet]. Aveiro; 2016 [cited 2018 Mar 6]. Available from: <http://compromissopelabicicleta.web.ua.pt/>
 17. UA. UAUbike [Internet]. Aveiro: Universidade de Aveiro; 2018 [cited 2018 Mar 6]. Available from: <http://uaubike.web.ua.pt/en/what-is>
 18. Ciclaveiro: a pedalar pela cidade. Ciclaveiro [Internet]. Aveiro; [cited 2018 Mar 6]. Available from: <http://ciclaveiro.pt>
 19. DeMaio P. Bike-sharing: History, Impacts, Models of Provision, and Future. *J Public Transp* [Internet]. 2009 [cited 2018 Mar 7];12(4):41–56. Available from: <http://scholarcommons.usf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1196&context=jpt>
 20. Tao S, Pender J. A Stochastic Analysis of Bike Sharing Systems. 2017 [cited 2018 Mar 7]; Available from: <https://arxiv.org/pdf/1708.08052.pdf>
 21. Shaheen SA, Cohen AP, Martin EW. Public Bikesharing in North America. *Transp Res Rec J Transp Res Board* [Internet]. 2013 Jan 22;2387(1):83–92. Available from: <http://trrjournalonline.trb.org/doi/10.3141/2387-10>
 22. Parkes SD, Marsden G, Shaheen SA, Cohen AP. Understanding the diffusion of public bikesharing systems: Evidence from Europe and North America. *J Transp Geogr* [Internet]. 2013 [cited 2018 Mar 7];31:94–103. Available from: https://ac.els-cdn.com/S0966692313001130/1-s2.0-S0966692313001130-main.pdf?_tid=3e645f0d-aba9-454d-894b-3f2a5cfad751&acdnat=1520432485_adc283bc03213ae113d9d327888bbbd6
 23. Meddin R, DeMaio PJ. The Bike-Sharing World Map [Internet]. Google Maps. 2015 [cited 2018 Mar 7]. Available from: https://www.google.com/maps/d/viewer?ll=-67.187%2C-8.701172000000042&spn=143.80149%2C154.6875&hl=en&msa=0&z=8&source=embed&ie=UTF8&om=1&mid=1UxYw9YrwT_R3SGsktJU3D-2GpMU
 24. Richter F. Bike-Sharing is taking off around the world [Internet]. 2015 [cited 2018 Mar 7]. Available from: <https://www.statista.com/chart/3325/bike-sharing-systems-worldwide/>
 25. Santos JMR. Serviços intermunicipais de bikesharing para a região de Aveiro [master's thesis]. [Aveiro]: Universidade de Aveiro; 2013.
 26. Fishman E, Washington S, Haworth N, Mazzei A. Barriers to bikesharing: An analysis from Melbourne and Brisbane. *J Transp Geogr* [Internet]. 2014 [cited 2018 Mar 7];41:325–37. Available from: https://ac.els-cdn.com/S0966692314001677/1-s2.0-S0966692314001677-main.pdf?_tid=f281ee52-5f14-49db-8d57-55faf0b98fdd&acdnat=1520438779_9ed175cdc1394c3c69afa491f9fbd959

27. LDA Consulting. 2016 Capital Bikeshare: Member Survey Report [Internet]. Washington, DC: LDA Consulting; 2017 [cited 2018 Mar 7]. Available from: <https://d21xlh2maitm24.cloudfront.net/wdc/CABI-2016MemberSurveyReport-FINAL.pdf?mtime=20170302144201>
28. Fishman E, Washington S, Haworth N. Barriers and facilitators to public bicycle scheme use: A qualitative approach. *Transp Res Part F Traffic Psychol Behav* [Internet]. 2012;15(6):686–98. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2012.08.002>
29. Mishra DK, Nayak MK, Joshi AJ. Information and Communication Technology for Sustainable Development [Internet]. Singapore: Springer Singapore; 2018. (Lecture Notes in Networks and Systems). Available from: <http://link.springer.com/10.1007/978-981-10-3920-1>
30. Miah S, Kaparias I, Liatsis P. Cyclist 360° Alert: Development and testing of a prototype instrumented bicycle model for the prevention of cyclist accidents. In: 47th Annual Conference of the Universities' Transport Study Group [Internet]. London, UK: City University of London; 2015. p. 12. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1111/1468-2389.00244>
31. Angel-Domenech A, Garcia A, Agustin-Gomez F, Llorca C. Traffic conflict analysis using an instrumented bicycle on cycle tracks of Valencia. In: International Cycling Safety Conference 2014. Göteborg, Sweden; 2014.
32. Jabbar AA, Aicardi I, Grasso N, Piras M. Urban data collection using a bike mobile system with a foss architecture. *Int Arch Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci - ISPRS Arch.* 2017;42(4W2):3–9.
33. Chuang KH, Hsu CC, Lai CH, Doong JL, Jeng MC. The use of a quasi-naturalistic riding method to investigate bicyclists' behaviors when motorists pass. *Accid Anal Prev* [Internet]. 2013 Jul [cited 2018 Aug 17];56:32–41. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0001457513001279>
34. Jeon W, Rajamani R. Rear Vehicle Tracking on a Bicycle Using Active Sensor Orientation Control. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* [Internet]. 2017 Aug [cited 2018 Aug 17];2638–49. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8101535/>
35. Guimarães J. A bicicleta como plataforma laboratorial [master's thesis]. [Aveiro]: Universidade de Aveiro; 2015.
36. Fajardo JRT. Plataforma laboratorial de segurança para ciclistas [master's thesis]. [Aveiro]: Universidade de Aveiro; 2016.
37. COBI.bike. COBI.bike – The first Connected Biking system [Internet]. COBI.bike; 2018 [cited 2018 Apr 19]. Available from: <https://cobi.bike/product>
38. Zahid A. Vanhawks Valour: First ever connected carbon fibre bicycle [Internet]. Kickstarter; 2018 [cited 2018 Apr 19]. Available from: <https://www.kickstarter.com/projects/1931822269/vanhawks-valour-first-ever-connected-carbon-fibre>
39. Team Bikespike. BikeSpike [Internet]. Jebiga; 2016 [cited 2018 Apr 19]. Available from: <https://www.jebiga.com/bikespike-team-bikespike/>
40. SpyBike. Anti-theft GPS tracking devices for Bicycles [Internet]. New Zealand: SpyBike; 2015 [cited 2018 Apr 19]. Available from: <http://www.spybike.com/>

41. Gibbs K. Helios Bars: Transform any bike into a smart bike. [Internet]. Kickstarter; 2018 [cited 2018 Jun 2]. Available from: <https://www.kickstarter.com/projects/kennygibbs/helios-bars-transform-any-bike-into-a-smart-bike>
42. BitLock. Bitlock: keyless bicycle lock [Internet]. Jebiga; 2016 [cited 2018 Apr 19]. Available from: <https://www.jebiga.com/bitlock-keyless-bicycle-lock/>
43. Lock8. LOCK8: the World's First Smart Bike Lock [Internet]. Kickstarter; 2018 [cited 2018 Apr 19]. Available from: <https://www.kickstarter.com/projects/lock8/lock8-the-worlds-first-smart-bike-lock>
44. User Manual V1.2: ESP8266 NodeMCU WiFi Devkit. Hanson Technol [Internet]. 2017 [cited 2018 Apr 21];1–22. Available from: http://www.handsontec.com/pdf_learn/esp8266-V10.pdf
45. u-blox. NEO-M8: u-blox concurrent GNSS modules - Data Sheet. 2015 [cited 2018 Apr 22]; Available from: [https://www.u-blox.com/sites/default/files/NEO-M8_DataSheet_\(UBX-13003366\).pdf](https://www.u-blox.com/sites/default/files/NEO-M8_DataSheet_(UBX-13003366).pdf)
46. Estados Unidos da América. GPS.gov: GPS Overview [Internet]. Official U.S. Government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics. 2015 [cited 2018 Jul 18]. Available from: <http://www.gps.gov/systems/gps/>
47. Federal Space Agency. Glonass history [Internet]. 2015 [cited 2018 Jul 18]. Available from: <https://www.glonass-iac.ru/en/guide/>
48. GSA Europe. Galileo Services | European Global Navigation Satellite Systems Agency [Internet]. 2016 [cited 2018 Jul 18]. Available from: <https://www.gsa.europa.eu/galileo/services>
49. Betke K. The NMEA 0183 protocol. Stand Interfacing Mar Electron Devices, ... [Internet]. 2001 [cited 2018 Jul 20];(January 2000):1–28. Available from: www.nmea.org
50. Gakstatter E. What exactly is GPS NMEA data? [Internet]. GPS World. 2015 [cited 2018 Jul 20]. Available from: <http://gpsworld.com/what-exactly-is-gps-nmea-data/>
51. InvenSense. MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification. 2013 [cited 2018 Apr 22];1–57. Available from: www.invensense.com
52. Dong L, Zhang K. Sensing and control of MEMS Accelerometers using Kalman filter. Control Decis Conf (CCDC), ... [Internet]. 2012 [cited 2018 Jul 19]; Available from: https://etd.ohiolink.edu/rws_etd/document/get/csu1293152677/inline
53. Nisticò A. Working principle of a capacitive accelerometer. 2013 [cited 2018 Jul 19]; Available from: http://engineering-sciences.uniroma2.it/MENU/DOC/TESI/2013/2013_tesi NISTICO Andrea.pdf
54. Arbab B, Europe S. MEMS capacitive accelerometers for Instrumentation and Industrial Market. 2011 [cited 2018 Jul 19]; Available from: https://www.colibrys.com/wp-content/uploads/2015/04/Sensors-Systems-2011-Pres-BAR_small.pdf
55. Forhan NAE. Giroscópios MEMS. Ministério da Ciência e Tecnol Inst Nac Pesqui Espac [Internet]. 2010 [cited 2018 Jul 19];82. Available from: <http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/01.25.18.42/doc/publicacao.pdf>
56. Semenzato MJ, Paulo WL De, Redondo DM, Bonagamba J. Construção de um Aparato Experimental Destinado a Demonstração do Efeito Provocado pela força de Coriolis. Rev Bras Ensino Física

- [Internet]. 1998 [cited 2018 Jul 19];20(9):166–72. Available from:
<http://www.fisica.net/mecanicaclassica/coriolis.pdf>
57. SIMCom. SIM900: Hardware Design. Smart Mach Smart Decis [Internet]. [cited 2018 Apr 22];2015:47. Available from:
ftp://imall.iteadstudio.com/IM120417009_IComSat/DOC_SIM900_Hardware_Design_V2.00.pdf
 58. Consortium E. Global System for Mobile Communication (GSM). Int Eng Consort [Internet]. 2011 [cited 2018 Jul 19];1–19. Available from: <http://www.iec.org>
 59. Deforest L. Introduction to GSM communication. 1920 [cited 2018 Jul 19];1–20. Available from:
<http://www.pennula.de/datenarchiv/gsm-for-dummies.pdf>
 60. Systems C. Overview of GSM, GPRS, and UMTS. In: Cisco Mobile Exchange (CMX) Solution Guide [Internet]. 2006 [cited 2018 Jul 19]. p. 2–36. Available from:
[http://www.binyahya.com/books/Overview of GSM, GPRS, and UMTS.pdf](http://www.binyahya.com/books/Overview_of_GSM,_GPRS,_and_UMTS.pdf)
 61. Nexperia. 74HC08; 74HCT08: Quad 2-input AND gate - Product data sheet. 2017 [cited 2018 Apr 22]; Available from: https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/74HC_HCT08.pdf
 62. MaxBotix. LV-MaxSonar @ -EZ™ Series. 2015 [cited 2018 Jun 26];1–12. Available from:
www.maxbotix.com
 63. Olimex. SNS-US020: Ultrasonic distance measurement sensor [Internet]. Olimex; 2018 [cited 2018 Apr 22]. Available from: <https://www.olimex.com/Products/Components/Sensors/SNS-US020/>
 64. ST. VL53L0X. 2018 [cited 2018 Jul 19]; Available from: www.st.com
 65. Solar Radiation | Natural Frequency [Internet]. Natural Frequency. 2017 [cited 2018 Jul 19]. Available from: <http://naturalfrequency.com/wiki/solar-radiation>
 66. eletechsup. 2 em 1 Carregador & Descarregador Board DC DC Conversor Step-up módulo de Carga em 4.5-8 V Impulso para fora 5 V para UPS de energia móvel diy [Internet]. AliExpress; [cited 2018 Jun 30]. Available from: https://pt.aliexpress.com/item/2-in-1-Charger-Discharger-Board-DC-DC-Converter-Step-up-Module-Charge-in-4-5/32792675351.html?spm=a2g03.search0104.3.96.2b2929c0P5kCjf&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_1_10152_10151_10065_10344_10068_10342_10343_57226
 67. AXA. AXA Duo (left) [Internet]. Nederland: AXA Company; [cited 2018 Jun 30]. Available from:
<https://www.axasecurity.com/bike-security/en-gb/products/lights/7/93906795SC/axa-duo-left>
 68. NMEA Output Description. 2014 [cited 2018 Jun 9]; Available from:
http://navspark.mybigcommerce.com/content/NMEA_Format_v0.1.pdf
 69. InvenSense. MPU-6000 and MPU-6050 Register Map and Descriptions. 2013 [cited 2018 Jun 10];46. Available from: www.invensense.com
 70. Oracle. MySQL Editions [Internet]. Oracle Corporation; 2018 [cited 2018 Jun 10]. Available from:
<https://www.mysql.com/products/>
 71. Techopedia. What is Apache Web Server? [Internet]. Techopedia Inc.; 2018 [cited 2018 Jun 10]. Available from: <https://www.techopedia.com/definition/4851/apache-web-server>
 72. Timeanddate. UTC: Coordinated Universal Time [Internet]. Time an Date AS; 2018 [cited 2018 Jun 11]. Available from: <https://www.timeanddate.com/time/aboututc.html>

73. Highcharts. Highcharts: About us [Internet]. Highcharts; 2018 [cited 2018 Jun 18]. Available from: <https://www.highcharts.com/about/>
74. Google Developers. Google Maps Javascript API [Internet]. Google; 2018 [cited 2018 Jun 18]. Available from: <https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/tutorial>
75. Kos T, Markezic I, Pokrajcic J. Effects of multipath reception on GPS positioning performance. Elmar, 2010 Proc [Internet]. 2010;(September):15–7. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=5606130&tag=1>
76. Beck RF. Mountain bicycle acceleration and braking factors. In: Canadian Multidisciplinary Road Safety Conference XIV [Internet]. USA: Casteel, Beck & Associates, Inc; 2004 [cited 2018 Jul 8]. p. 15. Available from: <http://www.beckforensics.com/CMRSC14BeckBicycle.pdf>
77. Massa DP. Choosing an Ultrasonic Sensor for Proximity or Distance Measurement Part 1: Acoustic Considerations | Sensors. Sensors (Peterborough, NH) [Internet]. 1999 [cited 2018 Jul 12];26(8):1–6. Available from: <http://www.sensormag.com/sensors/acoustic-ultrasound/choosing-ultrasonic-sensor-proximity-or-distance-measurement-825>
78. ANSR. Código da Estrada: Lei n.º 72/2013 de 3 de setembro. 2013 [cited 2018 Jul 12]; Available from: http://www.ansr.pt/SegurancaRodoviaria/CodigoDaEstrada/Documents/Codigo_Estrada_2014_versoWEB.pdf
79. Espressif Systems. ESP32 Datasheet [Internet]. 2018 [cited 2018 Jul 20]. Available from: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
80. Bahmankhah B, Fernandes P, Ferreira J, Santos J, Bandeira J, Coelho MC. ASSESSING THE OVERTAKING LATERAL DISTANCE BETWEEN MOTOR VEHICLES AND BICYCLES – IMPACTS ON ENERGY CONSUMPTION AND ROAD SAFETY. In: Transportation Research Board (TRB) 98th Annual Meeting. Washington, D.C.; 2019.

Anexos

Anexo A

Esquema elétrico do sistema

Neste anexo, Figura A.1, está representado o esquema elétrico da plataforma da rastreabilidade de bicicletas desenvolvida. O esquema apresenta todos os componentes de *hardware* do módulo instalado na bicicleta, assim como todas as ligações elétricas.

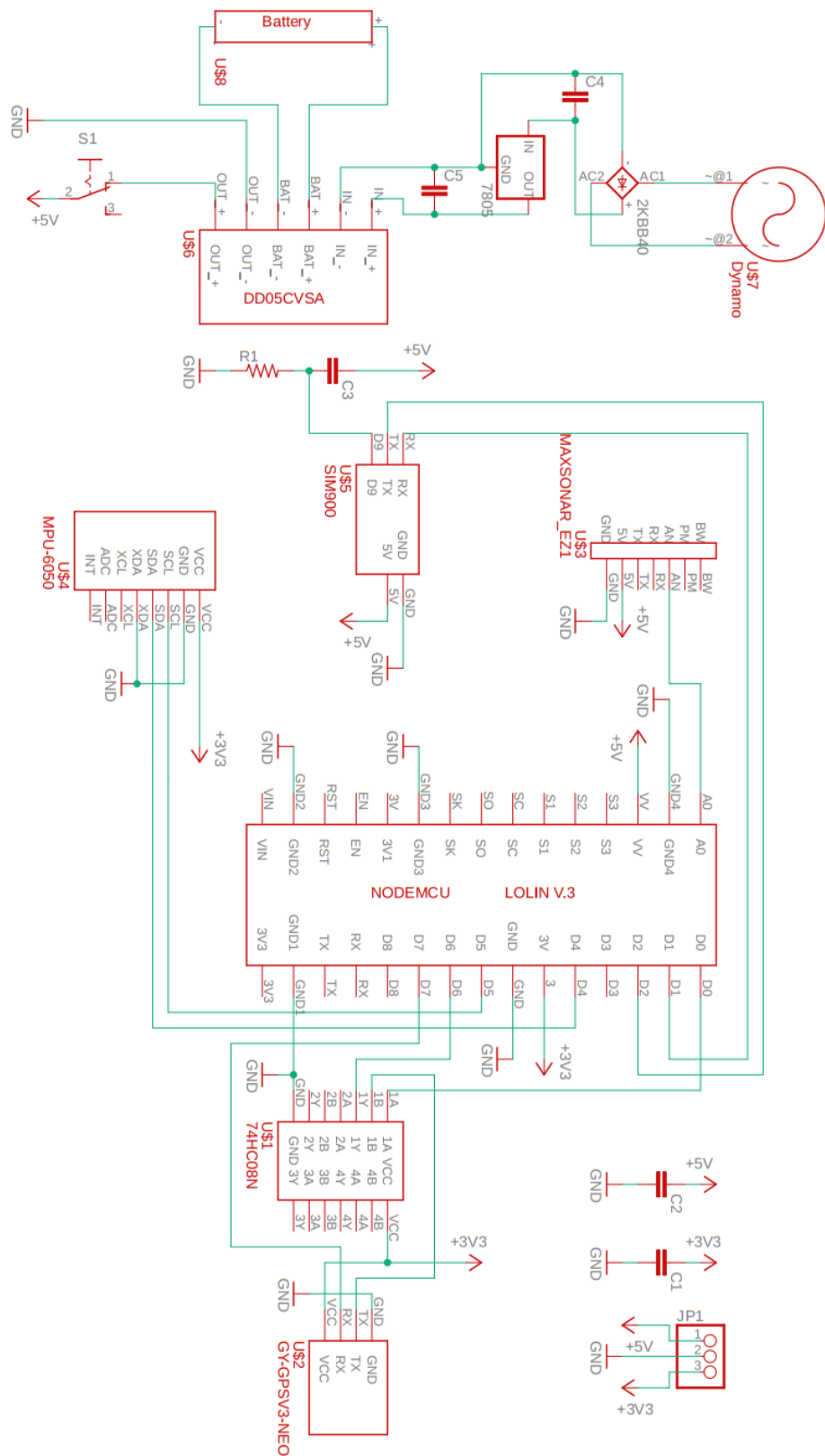


Figura A.1 - Esquema elétrico da plataforma.

Anexo B

PCB do sistema instalado na bicicleta

Nas Figuras B.1 e B.2, encontram-se representadas as camadas superior e inferior da PCB desenvolvida para a plataforma de rastreabilidade desenvolvida. A PCB permite que o sistema instalado na bicicleta seja mais compacto, mais robusto e de reduzidas dimensões.

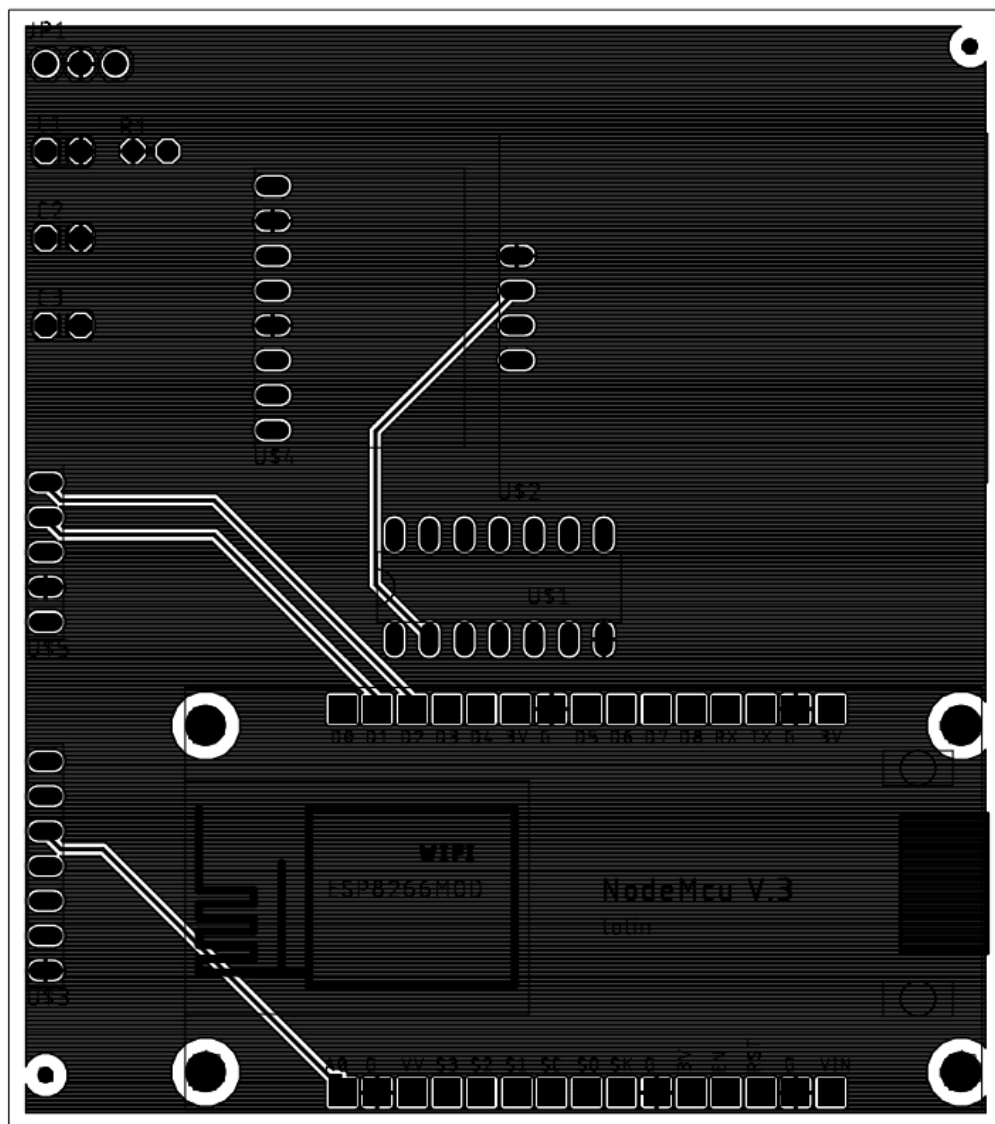


Figura B.1 - *Top layer* da PCB desenvolvida.

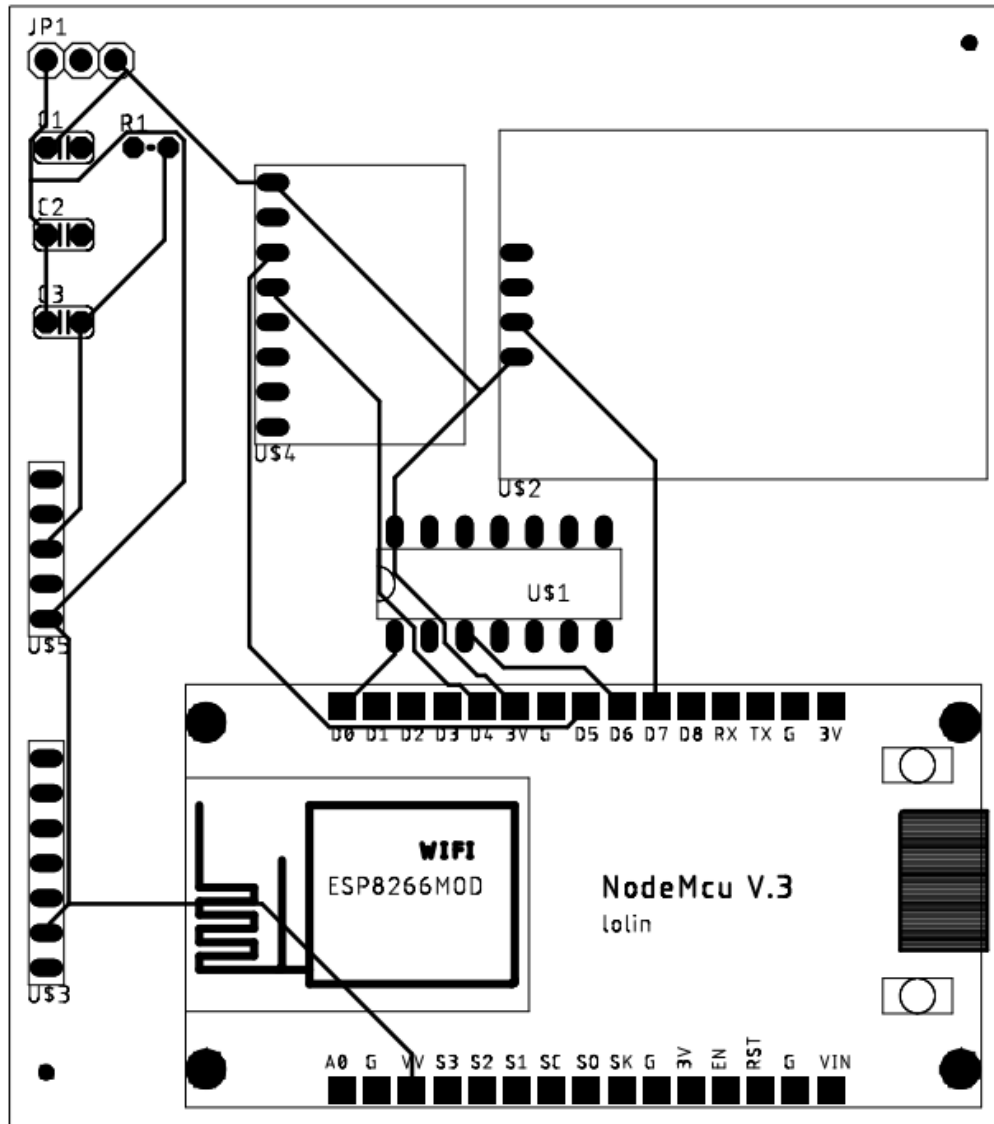


Figura B.2 - *Bottom layer* da PCB desenvolvida.