



**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Carlos André Ferreira Moreira

## **Fusão Sensorial para Caracterização de Ciclos de Condução de Automóveis**

Tese de Mestrado

Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao Grau de Mestre em Engenharia Eletrónica Industrial e Computadores

Trabalho efetuado sob a orientação do

Professor Doutor Sérgio Adriano Fernandes Lopes

Professor Doutor Luís António Sousa Barreiros Martins

Abril de 2017

## DECLARAÇÃO

Nome: Carlos André Ferreira Moreira

Endereço eletrónico: carlos.af.moreira10@gmail.com

Telefone: 919594978

Número do Bilhete de Identidade: 14100860

Título da dissertação: Fusão Sensorial para Caracterização de Ciclos de Condução de Automóveis

Orientadores:

Professor Doutor Sérgio Adriano Fernandes Lopes

Professor Doutor Luís António Sousa Barreiros Martins

Ano de conclusão: 2017

Designação do Mestrado:

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrónica Industrial e Computadores

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Universidade do Minho, \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

Assinatura:

*Aos meus Pais.*



## AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação não teria sido possível sem o apoio de algumas pessoas que desde já transmito os meus sinceros agradecimentos.

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao meu orientador Doutor Sérgio Lopes pela sua orientação, dedicação e disponibilidade que me ajudaram a ultrapassar várias dificuldades que surgiram no decorrer deste trabalho.

Agradeço ao meu coorientador, Doutor Luís Martins, que em conjunto com o meu orientador criaram a possibilidade da realização desta dissertação.

Agradeço também ao Doutor Francisco Brito por todo o apoio dado no desenvolvimento deste trabalho.

Também quero agradecer aos meus pais, de forma especial à minha mãe, que sempre me apoiaram nos bons e nos maus momentos ao longo da minha vida.

Agradeço também aos meus amigos e colegas de curso todo o companheirismo e interajuda demonstrada, não são no desenvolvimento desta dissertação, mas ao longo de tudo o percurso académico.

A todos, o meu Muito Obrigado.



## RESUMO

Esta dissertação pretende desenvolver um sistema de aquisição e processamento de dados que permita a análise dos ciclos de condução dos automóveis. Através da realização de ciclos de condução é possível avaliar as emissões de poluentes e consumo de combustível no automóvel. Para se conseguir essas análises é necessário um conjunto de dados como, por exemplo, a velocidade, altitude e direção do movimento. Desenvolveu-se uma placa de aquisição capaz de recolher esses dados e guardá-las para análise. Os dados são provenientes do sensor GPS, acelerómetro, giroscópio, bússola e da porta de diagnóstico do veículo. A placa de aquisição é controlada recorrendo a um microcontrolador.

Como sistema de comando da placa de aquisição e meio de visualização e extração de dados desenvolveu-se uma aplicação para *smartphones Android*. Essa aplicação conecta-se via *Bluetooth* à placa de aquisição sendo possível visualizar dados em bruto dos sensores e dados filtrados.

Alguns dos dados são obtidos por mais que um sensor ou então são possíveis de ser calculados por mais de uma forma. A esses dados é aplicado um filtro de Kalman que funde as respetivas variáveis num único resultado cujo o valor tende a ser mais estável.

Por fim, é gravado na memória do telemóvel um ficheiro de dados que reúne todas as variáveis envolvidas no sistema de aquisição. Com esse ficheiro consegue-se analisar com maior detalhe os dados obtidos do ciclo de condução.

## PALAVRAS-CHAVE

Ciclos de condução, GPS, sensores inerciais, fusão sensorial, filtro de Kalman





## **ABSTRACT**

The goal of this thesis is to develop an acquisition and data processing system that allows to perform the analysis of vehicle's driving cycles. Through a driving cycle is possible to evaluate pollutant emissions and fuel consumption. In order to achieve these analysis, a set of metrics are required, such as velocity, altitude and direction of movement. Therefore, an acquisition board was developed to collect these metrics and store them. The data comes from a GPS sensor, accelerometer, gyroscope, compass and On Board Diagnostics port of the vehicle. The acquisition board is controlled using an microcontroller.

To serve as the acquisition board control system and as a data display and extraction, an application has been developed for Android smartphones. This application connects to the acquisition board via Bluetooth, allowing to display raw data provided by the sensors and computed/filtered data.

Some of the data are obtained by more than one sensor or can be calculated in several different ways. These data are processed by a Kalman filter that merges them into one single output.

Finally, a data file containing all the metrics involved in the acquisition system is stored in the phone's memory.

## **KEYWORDS**

Driving cycles, GPS, inertial sensors, sensor fusion, Kalman filter



## ÍNDICE

Agradecimentos .....	v
Resumo .....	vii
Abstract.....	ix
Índice de Figuras.....	xv
Índice de Tabelas .....	xvii
Lista de Acrónimos .....	xix
1. Introdução.....	1
1.1 Motivação.....	1
1.2 Revisão Bibliográfica.....	3
1.3 Objetivos .....	6
1.4 Proposta de Sistema .....	6
1.5 Estrutura da Dissertação.....	7
2. Fundamentos Teóricos.....	9
2.1 Ciclos de Condução Normalizados .....	9
2.1.1 Ciclos de Condução da Europa.....	10
2.1.2 Ciclos de Condução dos EUA .....	11
2.1.3 Ciclos de Condução do Japão .....	12
2.2 Automóvel.....	12
2.2.1 Sistema de Eixos SAE .....	13
2.2.2 Modelo Energético.....	13
2.3 Navegação com GNSS .....	15
2.3.1 Princípio de Funcionamento e Sistemas Existentes.....	15
2.3.2 Geometria dos Satélites .....	17
2.3.3 Multicaminhos .....	18
2.3.4 Efeitos Atmosféricos.....	18
2.3.5 Erro de Relógio.....	19
2.4 Navegação sem GNSS .....	19
2.4.1 Acelerómetro .....	20
2.4.2 Giroscópio.....	20

---

2.4.3	Bússola .....	21
2.4.4	Barómetro.....	21
3.	Placa de Aquisição .....	23
3.1	Placa de GPS e IMU .....	23
3.1.1	GPS.....	25
3.1.2	Acelerómetro .....	26
3.1.3	Giroscópio .....	27
3.1.4	Bússola .....	27
3.1.5	Barómetro.....	28
3.2	Módulo Cartão SD.....	29
3.3	Módulo <i>Bluetooth</i> .....	29
3.4	OBD-II.....	30
3.5	Placa de Microcontrolador.....	31
3.6	Desenho da Placa de Aquisição.....	32
4.	Aquisição de Dados .....	35
4.1	GPS .....	35
4.2	Acelerómetro .....	36
4.3	Giroscópio .....	37
4.4	Bússola.....	38
4.5	Barómetro .....	39
4.6	OBD-II.....	41
4.7	Modo de Funcionamento .....	42
4.8	Saída de Dados .....	47
4.9	Comando da Placa de Aquisição .....	49
5.	Extração de Medidas e Visualização .....	51
5.1	Medidas .....	51
5.1.1	<i>Pitch, Roll e Yaw</i> .....	51
5.1.2	Velocidade.....	52
5.1.3	Altitude.....	53
5.1.4	Direção .....	53
5.1.5	Aceleração Lateral.....	53
5.1.6	Potência Específica do Percurso .....	54

5.2	Filtro de Kalman .....	55
5.2.1	Conceito .....	55
5.2.2	Implementação .....	57
5.3	Desenho da Aplicação <i>Android</i> .....	59
5.3.1	Requisitos.....	59
5.3.2	Estrutura.....	60
5.3.3	Processamento e Saída de Dados .....	65
5.4	Interface com o Utilizador .....	69
5.4.1	Conexão à Placa de Aquisição.....	69
5.4.2	Vista de Comando.....	70
5.4.3	Disponibilização de Variáveis de Forma Instantânea.....	73
5.4.4	Disponibilização de Variáveis em Gráfico .....	74
5.5	Exportação de Trajetos.....	76
6.	Resultados.....	79
6.1	Ficheiros de Dados .....	79
6.2	Percursos .....	80
6.3	Acelerómetro.....	82
6.4	Giroscópio .....	84
6.5	Bússola .....	85
6.6	Velocidade.....	86
6.7	Altitude.....	87
6.8	Direção .....	89
6.9	Aceleração Longitudinal .....	90
6.10	Aceleração Lateral .....	91
6.11	<i>Pitch</i> .....	93
6.12	<i>Roll</i> .....	93
6.13	Potência Específica do Percorso .....	94
7.	Conclusão .....	95
7.1	Conclusões .....	95
7.2	Sugestões de Trabalho Futuro .....	97
	Referências Bibliográficas .....	99



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Demonstração da realização de um ciclo normalizado a um veículo .....	2
Figura 2 - Sistema de medição de emissões poluentes .....	3
Figura 3 - Esquema do sistema proposto .....	6
Figura 4 - Representação simplificada do resultado de um ciclo de condução[9] .....	9
Figura 5 - Sistema de eixos[13] .....	13
Figura 6 - Representação da rede de satélites GPS [15] .....	16
Figura 7 - Exemplos de GDOP. a) Fraca GDOP; b) Boa GDOP .....	17
Figura 8 - Localização dos sensores e eixos da placa GPS e IMU .....	23
Figura 9 - Antena GPS .....	26
Figura 10 - Módulo cartão SD .....	29
Figura 11 - Módulo Bluetooth .....	29
Figura 12 - Interface OBD-II .....	30
Figura 13 - Microcontrolador Arduino Mega 2560 .....	31
Figura 14 - Esquemático de ligações dos componentes .....	32
Figura 15 - Placa de aquisição de dados .....	33
Figura 16 - Composição das mensagens NMEA .....	35
Figura 17 - Fluxograma do funcionamento do barómetro .....	40
Figura 18 - Fluxograma da leitura do OBD-II .....	41
Figura 19 - Fluxo de dados entre as rotinas do firmware de aquisição de dados .....	42
Figura 20 - Fluxograma dos comandos da placa de aquisição .....	43
Figura 21 - Fluxograma da rotina dos dados do GPS .....	44
Figura 22 - Fluxograma do ciclo de aquisição e saída de dados .....	45
Figura 23 - Caracteres de saída de dados da placa de aquisição .....	48
Figura 24 - Fluxograma das iterações do filtro de Kalman .....	57
Figura 25 - Diagrama das activities da aplicação Android .....	61
Figura 26 - Fluxograma das ações realizadas aos dados recebidos na aplicação .....	62
Figura 27 - Diagrama UML das classes .....	62
Figura 28 - Diagrama UML das activities, InertialFusion e KalmanSimple .....	63
Figura 29 - Diagrama UML da classe KalmanCharts, KalmanFilter e VariableOperations .....	64
Figura 30 - Diagrama de camadas da aplicação Android .....	65

---

Figura 31 - Filtragem de dados na aplicação.....	66
Figura 32 - Emparelhamento dos dispositivos Bluetooth .....	69
Figura 33 - Ecrãs iniciais da aplicação. a) Bluetooth desligado; b) Bluetooth ligado ....	70
Figura 34 - Ecrã principal da aplicação.....	71
Figura 35 - Ajuste da altitude na aplicação Android.....	72
Figura 36 - Configurações das frequências no menu principal .....	73
Figura 37 - Ecrã onde se encontram os dados visualizados em formato numérico .....	74
Figura 38 - Visualização das variáveis processadas com o filtro de Kalman .....	75
Figura 39 - Fluxograma da criação de ficheiros KML.....	76
Figura 40 - Ficheiro de dados no Microsoft Excel.....	79
Figura 41 - Percurso entre Guimarães e Braga pela estrada Nacional 101. Distância percorrida de 22,6 km em 27 minutos e 29 segundos .....	80
Figura 42- Primeiro percurso citadino .....	81
Figura 43 - Segundo percurso citadino .....	81
Figura 44 - Verificação da posição nas diferentes passagens numa rotunda .....	82
Figura 45 - Resultados sem filtros do acelerómetro.....	83
Figura 46 - Resultados com filtros no acelerómetro .....	83
Figura 47 - Resultados obtidos do acelerómetro (com e sem filtro) .....	84
Figura 48 - Resultados obtidos do giroscópio (com e sem filtro) .....	85
Figura 49 - Resultados obtidos da bússola (com e sem filtro) .....	85
Figura 50 - Comparação da velocidade GPS e OBD .....	86
Figura 51 - Resultado da filtragem da velocidade.....	87
Figura 52 - Resultado da altitude não calibrada ao longo do tempo para o percurso Azurém-Braga .....	87
Figura 53 - Resultado da altitude não calibrada em função da distância percorrida.....	88
Figura 54 - Resultado da altitude calibrada no tempo.....	88
Figura 55 - Resultado da altitude calibrada no espaço.....	89
Figura 56 - Comparação dos resultados da direção.....	90
Figura 57 - Resultados da aceleração longitudinal.....	91
Figura 58 - Resultado da aceleração lateral obtida através do GPS e do giroscópio .....	92
Figura 59 - Resultado da aceleração lateral obtida do giroscópio e do acelerómetro .....	92
Figura 60 - Resultado do pitch .....	93
Figura 61 - Resultado do Roll .....	94
Figura 62 - Resultado da potência específica.....	94

---



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Características do ciclo WLTP-3.....	10
Tabela 2 - Lista de principais ciclos de condução europeus.....	11
Tabela 3 - Lista de principais ciclos de condução nos EUA .....	11
Tabela 4 - Lista de principais ciclos de condução no Japão .....	12
Tabela 5 - Variáveis de entrada do modelo energético.....	14
Tabela 6 - Variáveis de saída do modelo energético .....	15
Tabela 7 - Grupos para avaliação de erros de GDOP .....	18
Tabela 8 - Pinos de ligação da placa GPS e IMU .....	24
Tabela 9 - Endereços I <sup>2</sup> C dos sensores da placa GPS e IMU .....	24
Tabela 10 - Características do GPS .....	25
Tabela 11 - Características do acelerómetro.....	27
Tabela 12 - Características do giroscópio.....	27
Tabela 13 - Características da bússola.....	28
Tabela 14 - Modos de leitura da pressão no barómetro.....	28
Tabela 15 - Características do microcontrolador ATmega2560.....	31
Tabela 16 - Composição da mensagem das mensagens GPS .....	36
Tabela 17 - Descrição dos dados guardados no Cartão SD da placa de aquisição .....	48
Tabela 18 - Comparação de taxas de transmissão no módulo Bluetooth .....	49
Tabela 19 - Comandos da placa de aquisição .....	50
Tabela 20 - Descrição dos dados guardados na memória do Smartphone.....	67



## LISTA DE ACRÓNIMOS

ABS	<i>Anti-lock Braking System</i>
ABSDR	<i>Dead Reckoning based on Anti-lock Braking System</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
CAN	<i>Controller Area Network</i>
CSV	<i>Comma Separated Values</i>
DGPS	<i>Differential Global Positioning System</i>
EKF	<i>Extended Kalman Filter</i>
GNSS	<i>Global Navigation Sattelite System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HDOP	<i>Horizontal Dilution of Precision</i>
I <sup>2</sup> C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
IMM	<i>Interacting Multiple Model</i>
IMU	<i>Inertial Measurement Unit</i>
INS	<i>Inertial Navigation System</i>
MISO	<i>Master In Slave Out</i>
MOSI	<i>Master Out Slave In</i>
OBD	<i>On-board Diagnostics</i>
PEMS	<i>Portable Emissions Measurement System</i>
PDOP	<i>Position Dilution of Precision</i>
RDE	<i>Real Driving Emissions Test</i>
SCL	<i>Serial Clock</i>
SDA	<i>Serial Data</i>
SPI	<i>Serial Peripheral Interface</i>
SS	<i>Slave Select</i>
TDOP	<i>Time Dilution of Precision</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
UAV	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
UKF	<i>Unscented Kalman Filter</i>
UML	<i>Unified Modeling Language</i>
VDOP	<i>Vertical Dilution of Precision</i>

VSP	<i>Vehicle Specific Power</i>
WGS-84	<i>World Geodetic System 1984</i>
WLTP	<i>Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedures</i>

## 1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo introdutório, começa-se por descrever a motivação que levou à escolha do tema. De seguida faz-se uma revisão bibliográfica descrevendo soluções com algumas semelhanças ao que se pretende implementar. São enumerados os objetivos e faz-se uma proposta de sistema. Por fim, descreve-se a estrutura da dissertação.

### 1.1 Motivação

Atualmente, a evolução da qualidade de vida a nível mundial fez com que fosse necessária uma grande evolução no sector dos meios de transporte. Esse fator tem vindo a levantar várias questões no que diz respeito a problemas ambientais. O elevado consumo de combustíveis fósseis conduziu a um grande aumento na quantidade de gases poluentes emitidos. Esses gases são, entre outros problemas, responsáveis pelo efeito de estufa e pela diminuição da esperança média de vida das pessoas. O relatório de 2016 sobre a qualidade do ar na europa, que alerta sobre estes problemas, pode ser consultado em [7]. Por outro lado, os combustíveis fósseis são cada vez mais escassos.

Com o objetivo de regular os consumos energéticos e a poluição atmosférica produzida pelos veículos automóveis, foram desenvolvidos dispositivos capazes de medir essas variáveis e foram criados procedimentos de teste em laboratório que permitem comparar os seus valores para os diversos modelos existentes no mercado. Esses procedimentos designam-se ciclos de condução normalizados. Por outro lado, existem os ciclos de condução reais, nos quais pretende-se avaliar o comportamento, consumo e poluição dos veículos em estrada. Em laboratório existe maior facilidade e equipamentos apropriados para realizarem as medições necessárias. Porém, em estrada encontra-se a necessidade de recorrer a sistemas que permitam adquirir e registar o comportamento do veículo para posterior análise.

A velocidade do veículo em função do tempo é o que se obtém de um ciclo de condução normalizado. O veículo é testado num dinamómetro de rolos estando os gases de escape ligados a um analisador, tal como se pode observar na Figura 1. Durante o teste, o tempo está segmentado em pequenos intervalos onde se considera a aceleração constante. Assim sendo, a velocidade varia linearmente em cada intervalo. Conhecendo a velocidade e a aceleração em cada intervalo de tempo, pode-se calcular, através de

fórmulas a energia mecânica requerida pelo veículo. O consumo de combustível e as emissões de gases poluentes são medidos diretamente.



Figura 1 - Demonstração da realização de um ciclo normalizado a um veículo

No entanto estes teste têm-se revelado muito deficientes quando comparados com a circulação real, sobretudo nos veículos com motores diesel e nas emissões de  $\text{NO}_x$ , com os valores reais a serem frequentemente mais de 10 vezes superiores ao limite legal [8].

Assim, há muito interesse em ter sistemas que registem o percurso e a dinâmica dos veículos em circulação real. Isto permitirá estimar de forma mais correta os consumos e emissões dos veículos. Atualmente estão em curso alterações na regulamentação Europeia que vão introduzir um *Real Driving Emissions Test* (RDE) através da utilização de um *Portable Emissions Measurement System* (PEMS). Este último trata-se de um equipamento capaz de medir a quantidade e emissões provenientes do veículo. A Figura 2 demonstra o equipamento.



Figura 2 - Sistema de medição de emissões poluentes

O trabalho que serve de base a este incluiu o desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados que tem algumas limitações que podem prejudicar o desempenho. O modo de aquisição dos dados para fusão dos vários sensores não garante uma sincronização perfeita entre eles. O programa de análise *offline* dos dados que foi também desenvolvido permite realizar alguns tipos de filtragens, porém não é recomendada uma filtragem específica nem inclui o filtro de Kalman, sendo este o mais utilizado e recomendado para este tipo de sistemas.

## 1.2 Revisão Bibliográfica

Pretende-se desenvolver um sistema que seja capaz de recolher e analisar dados que permitam caracterizar um ciclo de condução. É possível encontrar diversas referências com propostas de solução para este problema. Essas propostas, normalmente, resultam de integração de dois ou mais sensores recorrendo normalmente ao *Global Positioning System (GPS)*, pois o uso dessa tecnologia é uma das formas mais simples e direta de se obter as variáveis que permitem caracterizar um ciclo de condução automóvel.

Foi publicada uma solução que investiga a utilização de um sistema composto por *GPS*, *Inertial Navigation System (INS)* e *Dead Reckoning based on Anti-lock Braking System (ABS DR)* [1]. Foram recolhidos dados precisos do sensor de velocidade da roda do veículo para, através do método de *Dead Reckoning (DR)*, compensar falhas no sistema. O método DR estima a posição atual a partir da posição anterior, direção do movimento, velocidade e diferença de tempo. Como atualmente a maioria dos veículos

estão equipados com o sistema *Anti-lock Braking System* (ABS) que permite obter a velocidade do veículo, os autores da publicação utilizaram essa ferramenta para estimar a posição. Quanto ao INS, pretende-se determinar a atitude e calcular a sua posição recorrendo à implementação do filtro de Kalman, estimando os erros de leitura. Os autores acreditam que quando o GPS está funcional a posição do veículo é calculada com bastante precisão. Por outro lado, quando o GPS não está funcional, a aquisição da posição fica a cargo do INS onde os erros de leitura são compensados pelo ABSDR. Deste modo, experimentalmente, compararam o erro da posição entre o sistema completo, ou seja, GPS, INS e ABSDR e o sistema apenas com GPS e INS. Como resultado, concluíram que no sistema completo o nível de erro no cálculo da posição é significativamente menor.

Devido aos sistemas de GPS de baixo custo nem sempre terem a precisão necessária para a obtenção da posição, são frequentemente estudados métodos que permitem diminuir os erros. Em [2] é estudada a fusão sensorial com recurso a filtros *Bayesianos*. Utilizam um algoritmo de posicionamento baseado no filtro *Interacting Multiple Model* (IMM) para integrar sistemas GPS de baixo custo e os restantes sensores com o objetivo de adaptar o modelo do veículo a várias condições de condução. Esse modelo é composto pela dinâmica e cinemática do respetivo meio de transporte. Após várias simulações, concluíram que o desempenho do sistema de posicionamento apresenta bons resultados e com precisão em diversas condições de condução.

Existem duas formas de integrar o GPS com INS. Uma delas é o forte acoplamento onde as medições do GPS são usadas como entrada para o filtro de localização, juntamente com os sensores de inércia. Outra forma é o baixo acoplamento onde o sistema GPS é a única entrada para o filtro e só posteriormente essa posição é fundida com os dados dos sensores de inércia para obter a posição final [3]. Estes autores recorreram a um sistema de baixo acoplamento que, utilizando filtro de Kalman, analisa a fusão sensorial composta pelo *Differential Global Positioning System* (DGPS), sensor de velocidade da roda, *encoder* de ângulo do volante e giroscópio de fibra ótica. Utilizaram o modelo dinâmico da bicicleta para o veículo e, recorrendo a resultados experimentais, concluíram que o modelo dinâmico utilizado melhora o desempenho a altas velocidades e curvas rápidas.

Um sistema composto por sensores de baixo custo GPS, *Inertial Measurement Unit* (IMU) e magnetómetro de três eixos foi usado para obter o posicionamento de um *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), ou seja, um veículo aéreo não tripulado [4]. O



desempenho e análise dos erros do sistema de navegação foram avaliados num ambiente de simulação realista. Os autores utilizaram um modelo não linear do filtro de Kalman designado *Unscented Kalman Filter* (UKF). Deste modo, fazem uma filtragem que funde diversas fontes de medições e fornece resultados precisos independentemente do número de sensores, diferentes taxas de aquisição e diferentes dimensões de dados. Para avaliarem a diferença em relação a outras tipologias do filtro de Kalman, compararam os resultados obtidos com o modelo não linear *Extended Kalman Filter* (EFK) e chegaram à conclusão que o UKF mostra melhor desempenho em termos de precisão. Em contrapartida, o UKF requer um custo ligeiramente superior a nível computacional.

Outra abordagem utiliza o DGPS [5]. Este sistema de posicionamento permite cancelar erros de modo comum, tais como desvio do relógio de satélite/recetor e os efeitos atmosféricos. Para isso recorre a uma estação terrestre cuja a localização é conhecida para fornecer um *offset* que corrige o sinal proveniente do GPS. Assim sendo, melhora significativamente a precisão da localização para a ordem dos centímetros, o que torna mais vantajosa a utilização deste sistema. Além do DGPS, o sistema estudado incorpora sensores de inercia e um filtro de Kalman como algoritmo de estimação. O artigo estuda a viabilidade da utilização de DGPS comparando o seu desempenho com um GPS não diferencial e concluíram que a integração do sistema utilizado não só diminui o ruído mas também diminui outros efeitos relacionados com a qualidade do sinal GPS, como o fenómeno denominado multicaminhos.

No que diz respeito aos ciclos de condução, também é possível encontrar alguma literatura. A análise dos ciclos de condução serve, normalmente, para estimar o consumo energético do veículo. Porém, uma aquisição totalmente fiável nem sempre é possível devido aos dados do veículo não estarem acessíveis de forma normalizada, nomeadamente através da interface *On-board Diagnostics* (OBD) - II, cujo o acesso ao barramento *Controller Area Network* (CAN) é limitado [6], quer a nível de frequência pretendida quer a nível da informação que se pretende obter. Foram desenvolvidos diversos sistemas para caracterizar os ciclos de condução, no entanto, segundo os autores, tem sido dada pouca atenção a qual será o sistema mais adequado a esta situação. O objetivo deste estudo foi selecionar um sistema adequado para adquirir os dados necessários para o cálculo dos consumos energéticos. Assim sendo, os autores utilizaram quatro sistemas onde resultaram seis outputs diferentes. O primeiro sistema tem como resultado o sinal do GPS a 1 Hz de amostragem. Do segundo sistema obtêm um sinal de 10 Hz do GPS. O terceiro é composto por GPS e GLONASS. Por fim, o quarto sistema é

equipado com um INS que também pode ser aplicado a um filtro de Kalman. Com este trabalho, os autores pretendem ajudar na seleção de um sistema adequado para os cálculos do consumo energético e concluem, através dos sistemas estudados, que mesmo não tendo acesso total ao CAN – Bus é possível obter alta precisão nos dados.

### 1.3 Objetivos

Pretende-se estudar o problema da caracterização dos ciclos reais de condução de automóveis. Essa caracterização pretende monitorizar, principalmente, os consumos energéticos do veículo. Assim sendo, pretende-se adquirir e processar os diversos dados que caracterizam esses ciclos de condução. Os objetivos consistem no estudo das métricas que podem caracterizar um ciclo de condução de forma a proceder à aquisição dos parâmetros necessários para o cálculo dessas métricas. Para melhorar as medidas obtidas pretende-se recorrer a fusão sensorial recorrendo à implementação de um filtro de Kalman. Além dos dados serem guardados para análise *offline* posterior, pretende-se estudar a possibilidade de alguns dados serem mostrados em tempo real.

### 1.4 Proposta de Sistema

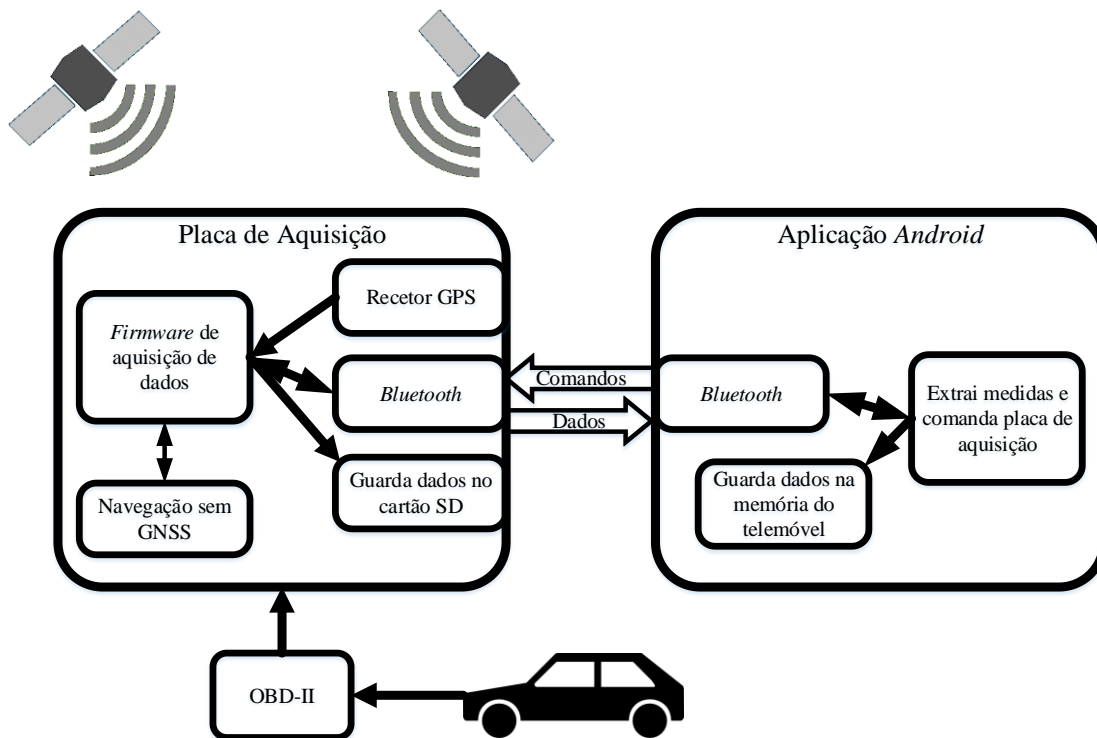


Figura 3 - Esquema do sistema proposto

O sistema será constituído por duas partes. Uma das partes trata-se da placa de aquisição composta por um *firmware* de aquisição de dados, que são provenientes de navegação por satélites, navegação sem satélites e do veículo via OBD-II. Esses dados serão guardados num cartão SD e enviados por *Bluetooth*. A outra parte corresponde à aplicação *Android*. Esta irá comandar a placa de aquisição, receber os dados via *Bluetooth* e processá-los em tempo real. Para além disso, permitirá visualizar alguns dos dados envolvidos no sistema. Os dados serão guardados na memória do telemóvel.

## 1.5 Estrutura da Dissertação

A dissertação encontra-se dividida em mais 6 capítulos.

O capítulo dois descreve os fundamentos teóricos necessários ao estudo realizado. Descreve-se os ciclos de condução, os sistemas de eixos aplicados ao automóvel e o modelo energético aplicado. Também se descreve a navegação com e sem recurso às GNSS.

No capítulo seguinte, o três, descreve-se a placa de aquisição de dados. É analisado, a nível de *hardware* cada um dos componentes integrados na placa de aquisição. Também é apresentado um esquema de ligação entre os componentes.

No quarto capítulo apresentam-se os procedimentos de aquisição de dados. Descreve-se o modo de inicialização de leitura dos componentes do programa de aquisição em geral. São apresentados os dados que se obtém da placa de aquisição.

O capítulo cinco descreve a aplicação *Android*. Descreve-se as funcionalidades de comando da placa de aquisição e as funcionalidades implementadas para extração e visualização de dados.

No sexto capítulo procede-se à enumeração dos resultados do sistema elaborado após a realização de testes.

Por fim, encontra-se o capítulo seis onde são retiradas as conclusões do desenvolvimento deste projeto e apresentadas sugestões de trabalhos futuros.



## 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Este capítulo destina-se à fundamentação teórica envolvida no problema que se pretende resolver. Faz-se uma abordagem aos principais pontos de partida para o trabalho desenvolvido. Começa-se por descrever o conceito dos ciclos de condução, focando de seguida em alguns aspetos específicos do automóvel, como por exemplo, o modelo energético. De seguida, são descritos diferentes sistemas de navegação.

### 2.1 Ciclos de Condução Normalizados

A avaliação das emissões de poluentes e do consumo de combustível pode ser realizada recorrendo a um ciclo de condução que, de forma simplificada, é caracterizado pelo conjunto de velocidades em função do tempo [9]. A Figura 4 demonstra o resultado obtido após o ciclo de condução ARTEMIS (Rural). Ao longo do percurso percorrido são criados curtos intervalos de tempo nos quais a aceleração é considerada constante. Como resultado obtém-se a velocidade variando linearmente em cada intervalo de tempo. Uma vez que a velocidade e a aceleração podem ser conhecidas ao longo do tempo, aplicando um modelo energético é possível calcular a energia mecânica requerida pelo veículo [10]. Nos automóveis de combustão interna, as emissões e o consumo são calculados diretamente.

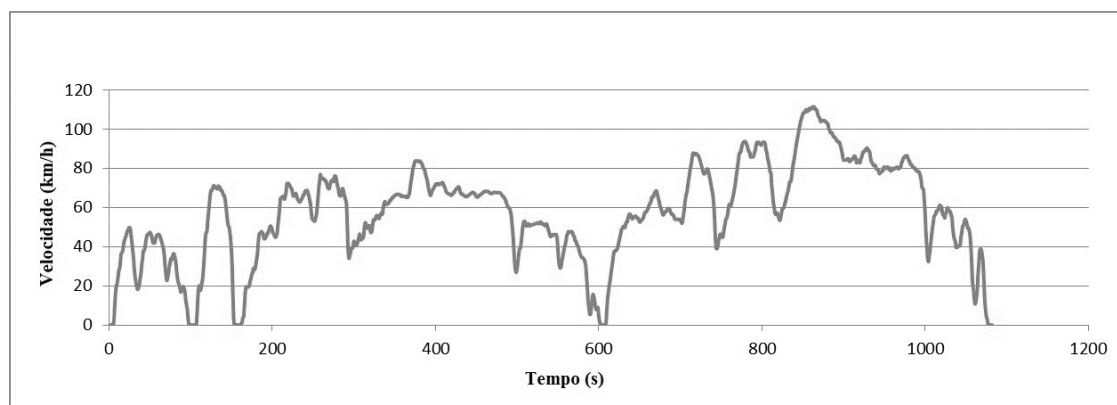


Figura 4 - Representação simplificada do resultado de um ciclo de condução[9]

Os ciclos de condução podem ser categorizados em dois tipos e em três grupos distintos. Quanto ao tipo podem ser modais ou transientes. Os transientes possuem mais variações de velocidade, o que normalmente é característico na condução em estrada. Os

modais não representam um caso de condução real uma vez que apresentam acelerações e velocidades constantes [11]. Quanto aos grupos podem ser divididos em ciclos de condução Europeus, Japoneses e dos Estados Unidos da América (EUA). Esses grupos serão descritos nas subsecções seguintes.

Além dos ciclos existentes em cada um dos grupos indicados, com o objetivo de regulamentar os consumos excessivos e emissões dos veículos, foi criado um procedimento de teste para veículos ligeiros a nível mundial. Esse procedimento denomina-se *Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedures* (WLTP) e contém várias classes. Entre elas, destaca-se a classe 3 (WLTP-3). É um ciclo de condução composto por quatro níveis de velocidade: baixo, médio, alto e muito alto. A Tabela 1 descreve as características do ciclo.

Tabela 1 - Características do ciclo WLTP-3

Nível	Duração (s)	Duração das paragens (s)	Distância (m)	Velocidade máxima (km/h)	Aceleração máxima (m/s <sup>2</sup> )
<b>Baixo</b>	589	156	3095	56,5	1,5
<b>Médio</b>	433	48	4756	76,6	1,6
<b>Alto</b>	455	31	7158	97,4	1,6
<b>Muito Alto</b>	323	7	8254	131,3	1
<b>Total</b>	1800	242	23262	-	-

### 2.1.1 Ciclos de Condução da Europa

Os ciclos de condução europeus estão inseridos no tipo de testes modais, ou seja, não expressam o que realmente acontece na realidade, sendo por isso testes teóricos constituídos por as acelerações positivas e negativas suaves e constantes, intermediadas por patamares de velocidade constante. Assim sendo, com o objetivo de avaliar um ciclo de condução mais realista foram criados uns ciclos denominados HYZEM que, embora não sendo considerados oficiais, traduzem uma avaliação mais realista do circuito pretendido para avaliação. A Tabela 2 enumera os principais ciclos de condução existentes na Europa. São indicados a distância, duração e velocidade média resultantes do decorrer do teste. Não sendo oficial, o HYZEM não possui valores específicos, mas é composto por um ciclo urbano, extraurbano e um em autoestrada.

Tabela 2 - Lista de principais ciclos de condução europeus

<b>Nome do Ciclo</b>	<b>Distância (km)</b>	<b>Duração (s)</b>	<b>Velocidade Média (km/h)</b>
<b>ARTEMIS (Autoestrada a 130 km/h)</b>	28,735	1068	96,9
<b>ARTEMIS (Autoestrada a 150 km/h )</b>	29,545	1068	99,6
<b>ARTEMIS (Rural)</b>	17,272	1082	57,5
<b>ARTEMIS (Urbano)</b>	4,870	993	17,6
<b>ECE 15</b>	0,995	195	18,4
<b>EUDC</b>	6,955	400	62,6
<b>EUDCL</b>	6,609	400	59,5
<b>HYZEM</b>	-	-	-
<b>NEDC</b>	11,017	1180	33,6

O NEDC é constituído por três ECE15 acrescidos de um EUDC. Apesar de ter sido definido nos anos oitenta, é ainda o utilizado na certificação dos veículos ligeiros na Europa, no que diz respeito aos consumos e poluição. Em breve, será substituído pelo WLTP-3 (Características na Tabela 1), para a definição dos consumos e CO<sub>2</sub> e por um novo ciclo de condução real para as emissões de poluentes, denominado RDE.

### 2.1.2 Ciclos de Condução dos EUA

Encontra-se na Tabela 3 alguns dos principais testes realizados neste grupo bem como alguns dos parâmetros.

Tabela 3 - Lista de principais ciclos de condução nos EUA

<b>Nome do Ciclo</b>	<b>Distância (km)</b>	<b>Duração (s)</b>	<b>Velocidade Média (km/h)</b>
<b>FTP-72</b>	11,997	1369	31,6
<b>FTP-75</b>	17,789	1874	34,2
<b>HWFET</b>	16,503	765	77,7
<b>IM240</b>	3,154	240	47,3
<b>LA 92</b>	15,802	1435	39,6
<b>NYCC</b>	1,903	598	11,5
<b>SC03</b>	5,766	596	34,8
<b>US06</b>	12,894	596	77,9

Em oposição aos ciclos de condução europeus, este grupo tem como objetivo uma avaliação mais realista no que diz respeito aos parâmetros utilizados nos testes, tornando estes ciclos capazes de expressar com mais eficácia os parâmetros dos ciclos de condução.

### 2.1.3 Ciclos de Condução do Japão

De forma semelhante aos ciclos de condução europeus, este grupo é principalmente constituído por ciclos de condução teóricos. A Tabela 4 enumera os principais ciclos de condução Japoneses. O ciclo *JP 10 Mode* é um ciclo urbano. Já o ciclo *JP 15 Mode* é um ciclo extraurbano. Assim sendo, o ciclo *JP 10-15 Mode* resulta da junção de um ciclo urbano, seguido de três extraurbanos e termina com um ciclo urbano novamente.

Tabela 4 - Lista de principais ciclos de condução no Japão

Nome do Ciclo	Distância	Duração	Velocidade
	(km)	(s)	Média (km/h)
<b>JP 10 Mode</b>	0,663	135	17,7
<b>JP 10-15 Mode</b>	4,165	660	22,7

## 2.2 Automóvel

Por automóvel entende-se um veículo capaz de se mover de forma autónoma recorrendo a um motor. A história do automóvel inicia-se em 1885 quando Karl Benz, de origem alemã, com recurso a um motor a gasolina, criou um veículo de três rodas. A partir dessa data, começaram o fabrico e vendas de automóveis.

Atualmente existem vários tipos de motorização. O maior número de veículos é composto por um motor de combustão interna que recorrem a gasolina ou diesel. Também é relevante a existência de veículos movidos a GPL ou a gás natural. Por outro lado, várias marcas já começaram a desenvolver veículos híbridos e elétricos. Em 2014, era estimada a existência de cerca de 884 milhões de automóveis no mundo inteiro [12].

O movimento de um automóvel pode ser descrito recorrendo a um sistema de eixos. A *Society of Automotive Engineers* (SAE) representa uma organização que é responsável pelos estudos em engenharia no setor automóvel. Esta organização definiu um sistema de eixos aplicado ao automóvel.

Através de um modelo energético é possível determinar as energias envolvidas na locomoção do veículo.



### 2.2.1 Sistema de Eixos SAE

O sistema de eixos aplicado ao veículo usado nesta dissertação baseou-se no sistema de eixos da SAE (Figura 5). Esta considera o eixo dos  $xx$  alinhado com o movimento longitudinal do veículo. O eixo  $yy$  representa o eixo lateral e é perpendicular ao eixo  $zz$ . Por fim, o eixo  $zz$  representa o eixo vertical [13].

No que diz respeito à atitude do automóvel, as rotações em  $xx$  estão associadas ao *Roll*. As rotações em  $yy$  estão associadas ao *Pitch*. No eixo  $zz$ , as rotações são associadas ao *Yaw*. O sentido das rotações é em conformidade com o representado na Figura 5.

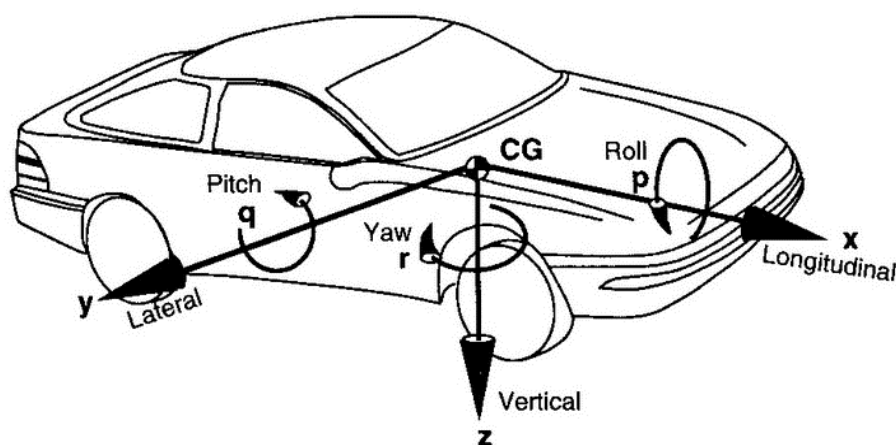


Figura 5 - Sistema de eixos[13]

### 2.2.2 Modelo Energético

O modelo energético foca-se na determinação das energias envolvidas no movimento do veículo. Essas energias são constituídas, entre outras, pela energia fornecida às rodas pelo motor, energia desperdiçada nas travagens (na ausência de travagem regenerativa), energia cinética, potencial gravítica, energia de atrito aerodinâmico, atrito de rolamento e atrito em curva.

Com o objetivo de simplificar, o modelo integra algumas alterações não comprometedoras de fiabilidade. A transferência de peso lateral, os efeitos de suspensão e aumento da deformação do pneu ao longo do ciclo de condução e a rotação ao longo do eixo longitudinal não são considerados no modelo. Porém, deslizamentos longitudinais e laterais já são considerados. Além disso, todas as rodas do veículo são afetadas proporcionalmente pela travagem, resultando assim numa travagem equilibrada por parte

do veículo. O modelo de veículo utilizado é o de duas rodas de modo que as duas rodas traseiras e as duas rodas dianteiras são sujeitas a dinâmicas semelhantes [11].

O modelo de duas rodas, normalmente chamado de modelo de bicicleta, é utilizado como um modelo simplista da dinâmica dos veículos de quatro rodas. Algumas das características deste modelo são diferenciar as propriedades laterais das rodas da frente e de trás e considerar a transferência de peso longitudinal.

As variáveis de entrada do modelo energético estão divididas em quatro grupos: variáveis em função do tempo, em função do veículo, em função dos pneus e superfície de contato e em função do percurso percorrido.

Tabela 5 - Variáveis de entrada do modelo energético

<b>Grupo</b>	<b>Variável</b>
<b>Variáveis em função do tempo</b>	Velocidade
	Altitude
	Aceleração lateral
<b>Variáveis em função do veículo</b>	Massa do veículo
	Inércia de rotação
	Distância entre eixos
	Distância do CG ao solo (ou altura do CG)
	Distância horizontal do CG a um dos eixos
	Coeficiente de resistência aerodinâmica
	Área frontal do veículo
<b>Variáveis em função dos pneus e do contacto</b>	Relação de deslizamento longitudinal
	<i>Cornering Coefficient</i> das rodas frontais
	<i>Cornering Coefficient</i> das rodas traseiras
	Ângulo de deslizamento
<b>Variáveis em função do percurso</b>	Aceleração da gravidade
	Pressão atmosférica
	Temperatura do ar

Como variáveis de saída obtêm-se dois grupos. Um grupo onde se encontram as energias específicas e outro onde se encontram as potências específicas, ambos envolvidos na locomoção do veículo ao longo do ciclo de condução. A Tabela 6 enumera as variáveis de saída existentes no modelo energético.

Tabela 6 - Variáveis de saída do modelo energético

Grupo	Variável
<b>Energias específicas</b>	Atrito [J/(kg.m)]
	Travagem [J/(kg.m)]
	Fornecida pelo motor [J/(kg.m)]
	Dissipada pela resistência de rolamento [J/(kg.m)]
	Dissipada pela resistência da aerodinâmica [J/(kg.m)]
	Dissipada no rolamento sem binário de entrada [J/(kg.m)]
	Dissipada no rolamento devido ao binário motor [J/(kg.m)]
	Dissipada no rolamento devido às curvas [J/(kg.m)]
<b>Energias não específicas</b>	Variação da energia potencial associada às subidas e descidas [W.h]
	Variação da energia potencial entre o início e fim do percurso [W.h]
<b>Potências específicas</b>	Útil fornecida pelo motor [W/kg]
	Atrito [W/kg]
	Travagem [W/kg]

### 2.3 Navegação com GNSS

Os GNSS representam o grupo de sistemas de navegação que proporcionam ao utilizador um posicionamento tridimensional proveniente da transmissão de sinais via rádio entre o terminal e os satélites em órbita geoestacionária que estão aptos para garantir uma cobertura global. Existem vários fatores que podem interferir na precisão do cálculo da posição, velocidade ou nas restantes variáveis calculadas pelos sistemas GNSS. As medições das pseudodistâncias e da fase portadora, tal como a qualidade de transmissão dos sinais são os principais fatores de precisão de um GNSS. A pseudodistância é um erro perante a distância real provocado por diferenças de relógio.

#### 2.3.1 Princípio de Funcionamento e Sistemas Existentes

Os principais sistemas de navegação são o GPS, GLONASS e *Galileo*. Para melhor compreender o funcionamento de um GNSS é possível dividir em três conceitos: arquitetura do sistema, determinação da velocidade e posição e, por último, a estrutura dos sinais transmitidos.

Começando pela arquitetura do sistema verifica-se que esta consiste em três componentes: o terminal do utilizador, o sistema de controlo e a constelação de satélites geoestacionários.

O sistema mais conhecido dos GNSS é o GPS. Foi desenvolvido pelo governo dos EUA para fins militares, embora posteriormente o sinal tenha sido disponibilizado também aos civis. Esse sinal é livre de uso a nível mundial. O sistema tornou-se operacional após cerca de duas décadas de testes e encontra-se em funcionamento sensivelmente há quinze anos [14]. O sistema de coordenadas do GPS é o *World Geodetic System 1984* (WGS-84). Numa primeira fase, este sistema foi concebido através de cerca de 1500 pontos terrestres que derivavam de informações de trânsito. A Figura 6 representa um esquema da rede de satélites [15]. Atualmente, a rede é composta por um total de 27 satélites.

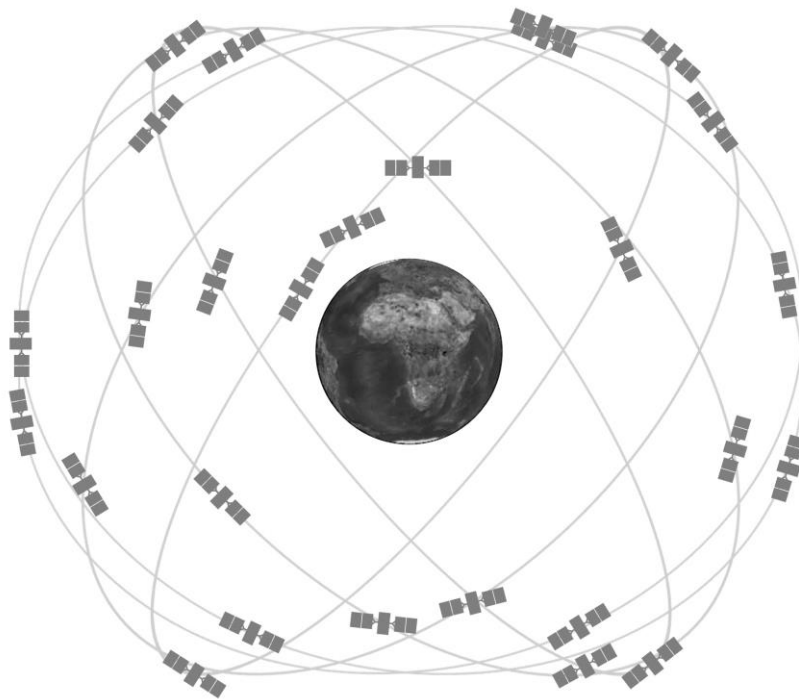


Figura 6 - Representação da rede de satélites GPS [15]

O sistema GPS possui uma implementação que visa melhorar os erros na determinação do posicionamento. Essa implementação denominou-se DGPS, ou seja, GPS diferencial. O processo baseia-se na chegada de dois sinais ao recetor. Um dos sinais é o que normalmente chega dos satélites. O outro é proveniente de uma estação terrestre localizada nas proximidades do recetor. A função desta é receber de igual forma o sinal

proveniente dos satélites e corrigir o erro através da diferença entre a localização da estação e a localização que o satélite emite. Após o cálculo deste erro, a estação envia ao recetor o sinal retificado [16].

O GLONASS é outro sistema que pertence aos GNSS. Este foi desenvolvido pela Rússia na mesma altura que o GPS, aproximadamente. Contudo, comparando com o GPS, teve menos impacto e sucesso. Na implementação do GLONASS, foram lançados vários satélites, contudo as falhas tendem a ser mais elevadas. O pretendido é criarem uma constelação completa de satélites GLONASS.

A União Europeia (UE) também tem planeado desenvolver a sua própria GNSS, denominada *Galileo*. Pretende-se que esta seja equiparável ao GPS pelo que tem sido dedicado bastante tempo e desenvolvido vários métodos para aumentar o desempenho do sistema para que seja possível essa comparação. Já foram lançados satélites com o intuito de providenciar experiências do sistema [17].

### 2.3.2 Geometria dos Satélites

A configuração da constelação dos satélites tem um papel bastante importante na precisão dos cálculos. Dependendo da configuração poderá existir um erro proveniente da geometria dos satélites que tem a designação de *Geometric Dilution of Precision* (GDOP). Observando a Figura 7, quanto menor a amplitude dos ângulos entre os diversos satélites maior será diluição de precisão, o que corresponde a uma geometria mais fraca, ou seja, o sistema está mais propício ao acontecimento de erros. Por outro lado, quando maiores amplos forem os ângulos entre os satélites menor será o erro e assim estaremos na presença de uma boa geometria [18], [19].

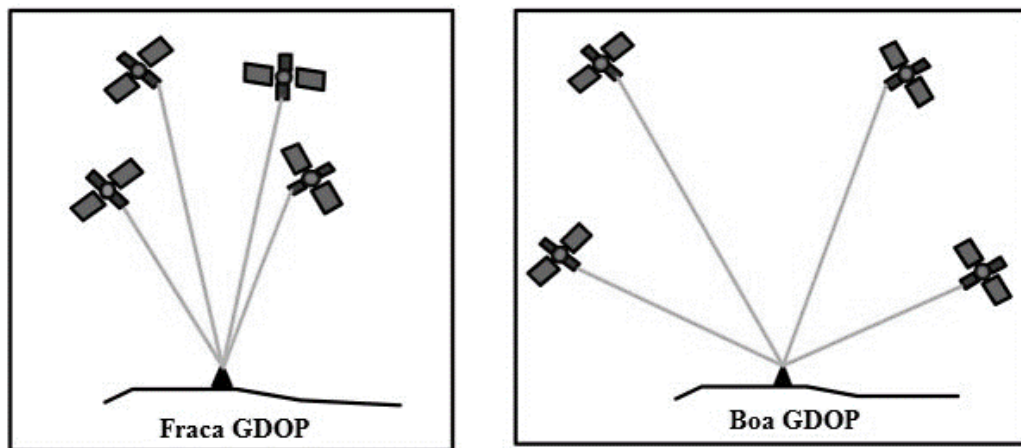


Figura 7 - Exemplos de GDOP. a) Fraca GDOP; b) Boa GDOP

Deste modo, pode-se concluir que, para os satélites visíveis, quanto mais dispersos estiverem melhores serão os resultados obtidos uma vez que irão cobrir um volume superior. Quando se utiliza um recetor num local próximo de edifícios ou em áreas montanhosas a geometria dos satélites é bastante importante pois quando ocorre uma falha na transmissão de sinais, a precisão das medições fica a cargo da posição relativa dos demais satélites. Para avaliar o erro na diluição de precisão a GDOP pode ser dividida em 4 grupos [20]. Esses grupos são enumerados na Tabela 7.

Tabela 7 - Grupos para avaliação de erros de GDOP

<b>Designação</b>	<b>Medidas afetadas</b>
<i>Time Dilution of Precision (TDOP)</i>	Medição no relógio do recetor
<i>Position Dilution of Precision (PDOP)</i>	Medição na posição (tridimensional).
<i>Vertical Dilution of Precision (VDOP)</i>	Medição na posição vertical (altitude)
<i>Horizontal Dilution of Precision (HDOP)</i>	Medição na posição horizontal (latitude e longitude)

### 2.3.3 Multicaminhos

Quando o sinal do GPS chega ao recetor por diferentes caminhos, diferentes do principal, está-se perante um fenómeno de multicaminho. A justificação desta ocorrência deve-se à existência de superfícies refletoras nas proximidades do recetor. A ocorrência deste fenómeno incrementa-se, por exemplo, numa condução em cidade onde o aglomerado de edifícios é mais concentrado [19]. As características do sinal, o processamento do recetor e o ganho da antena são alguns dos fatores que fazem variar significativamente os erros derivados deste fenómeno.

Uma prática para a diminuição deste erro é a implementação de filtros capazes de separar o sinal original das réplicas, eliminando, ou pelo menos reduzindo o erro no recetor. O multicaminho é geralmente inevitável, pelo que um acomodamento cuidadoso da antena do recetor pode diminuir significativamente o erro.

### 2.3.4 Efeitos Atmosféricos

Um dos efeitos atmosféricos foca-se na ocorrência de refração na ionosfera. A ionosfera é a camada atmosférica que se encontra entre 50 e 1000 km da superfície terrestre. O sinal eletromagnético proveniente dos satélites vai ser afetado pela passagem

nesta camada uma vez que a velocidade de propagação sofre alterações [15]. As alterações traduzem-se num atraso na fase do sinal e num avanço na medida das pseudodistâncias. Uma abordagem à remoção deste erro é o uso de recetores de dupla frequência.

Outro efeito atmosférico é o atraso na troposfera. A troposfera é a camada mais próxima da superfície terrestre. A existência de átomos e moléculas neutros afeta o sinal proveniente dos satélites. As principais condicionantes da transmissão do sinal nesta camada são a humidade, pressão atmosférica, temperatura e o ângulo de elevação do satélite.

#### 2.3.5 Erro de Relógio

Para um recetor conseguir determinar com sucesso a sua posição tem como requisito a receção de sinais provenientes de pelo menos quatro satélites. A diferença de precisão entre o relógio dos satélites e o relógio interno do recetor que comunica com ele pode suscitar a ocorrência de erros de sincronização dos sinais transmitidos entre eles [18]. Normalmente existe um erro de sincronização entre os dois relógios.

## 2.4 Navegação sem GNSS

Os métodos utilizados em navegação inercial são por natureza autónomos, ou seja, não dependem de sistemas ou estações externas para realizarem as medições necessárias ao cálculo do posicionamento, sendo uma das principais vantagens em termos de comparação com os sistemas de navegação por satélite. A sua precisão é tipicamente elevada, embora esteja dependente das especificações dos sensores que integram o sistema.

Este método já tem vindo a ser utilizado à varias décadas principalmente em aviões. Os sensores que geralmente servem de base a sistemas de navegação inercial são os acelerómetros e giroscópios. Atualmente, a oferta deste tipo de sensores é bastante alargada, o que levou a uma descida nos custos associados ao desenvolvimento e/ou aquisição de um sistema deste tipo. Existem no mercado módulos de leitura inercial designados de IMU. Geralmente estes módulos são constituídos por um acelerómetro, giroscópio, bússola e barómetro. À exceção do último, normalmente são constituídos por três eixos. Devido a esse facto, normalmente são nomeadas IMU de nove graus de liberdade.

### 2.4.1 Acelerómetro

Deste sensor é esperada a obtenção das acelerações em várias direções. O princípio de funcionamento baseia-se na existência de uma massa e uma mola entre essa massa e uma superfície fixa. Na ocorrência de movimento ( $x$ ) e conhecendo a constante de elasticidade da mola ( $k$ ) obtém-se a força aplicada ( $F$ ).

$$F = kx \quad (2.1)$$

De seguida aplica-se a segunda lei de Newton. Esta lei calcula a força através da multiplicação da massa pela aceleração.

$$F = ma \quad (2.2)$$

Conhecendo a força aplicada resultante de 2.1 e conhecendo a massa ( $m$ ) que é deslocada, obtém-se a aceleração ( $a$ ) dividindo a massa pela força aplicada. Assim sendo, juntando as equações 2.1 e 2.2, resulta o cálculo da aceleração através da medição do deslocamento de uma massa (2.3).

$$a = k \frac{x}{m} \quad (2.3)$$

### 2.4.2 Giroscópio

Os giroscópios são dispositivos que permitem determinar a velocidade angular nos diferentes eixos. Estes dispositivos são compostos por um rotor com rotações muito elevadas e são portadores de duas características importantes: a rigidez e a precessão. Começando pela rigidez, o eixo de rotação de um objeto com inércia tende a manter a mesma direção enquanto se mantiver com rotações elevadas. Este princípio aplica-se, por exemplo, às rodas. A rigidez é determinada por diversos fatores, como por exemplo, a massa do rotor, a velocidade angular. Quando maior o rotor menor será a velocidade angular necessária para o manter em movimento estável.

A precessão é um fenómeno físico associado às alterações da direção do eixo a rodar. Ao aplicar uma força ao rotor com o intuito de o inclinar, a reação deste será uma força numa posição 90 graus desfasada do plano rotacional. Este princípio permite ao



giroscópio determinar a mudança de direção. Assim sendo, quanto maior for a força aplicada ao rotor e menor forem as rotações, menor será o valor da precessão.

#### 2.4.3 Bússola

Este sensor é utilizado desde há muitos anos na navegação marítima. Permite determinar a direção do polo magnético da terra. O princípio baseia-se numa agulha magnetizada e com movimento livre posicionando-se consoante a direção do campo magnético da terra. Conhecendo este e o norte geográfico, rapidamente são conhecidas as restantes posições. O planeta Terra comporta-se como um íman gigante envolvido por um enorme campo magnético. Existem dois polos: o norte e o sul.

Assim sendo, através do campo magnético da Terra e recorrendo à bússola é possível determinar a localização do polo norte. Como as agulhas também são magnetizadas, o polo norte magnético da Terra atrai o polo sul da agulha e vice-versa.

#### 2.4.4 Barómetro

O barómetro é um sensor que mede a pressão atmosférica absoluta. Sabendo a altitude num ponto de referência local e medindo a pressão local, é então possível converter variações da pressão absoluta medida em variações de altitude. Em alternativa, sabendo a pressão atmosférica ao nível do mar, na hora do ensaio e medindo a temperatura é também possível converter a pressão absoluta local em altitude local.



### 3. PLACA DE AQUISIÇÃO

Neste capítulo descreve-se os componentes da placa de aquisição, que é constituída por uma placa de GPS e IMU, um módulo cartão SD, um módulo *Bluetooth* e uma interface OBD-II. São enumeradas as principais características de cada um deles e a forma como são conectados ao microcontrolador. Este último tem a função adquirir, processar e enviar os dados pretendidos.

#### 3.1 Placa de GPS e IMU

Para aquisição de dados de GPS e dados inerciais utilizou-se uma placa que integra GPS e os sensores que normalmente integram um módulo IMU. Esses sensores são o acelerómetro, o giroscópio, a bússola e o barómetro. Foi utilizada a placa, presente na Figura 8, desenvolvida por uma empresa Italiana [21] com 9 graus de liberdade que aglomera todos os sensores numa só placa de 4cm x 4cm.

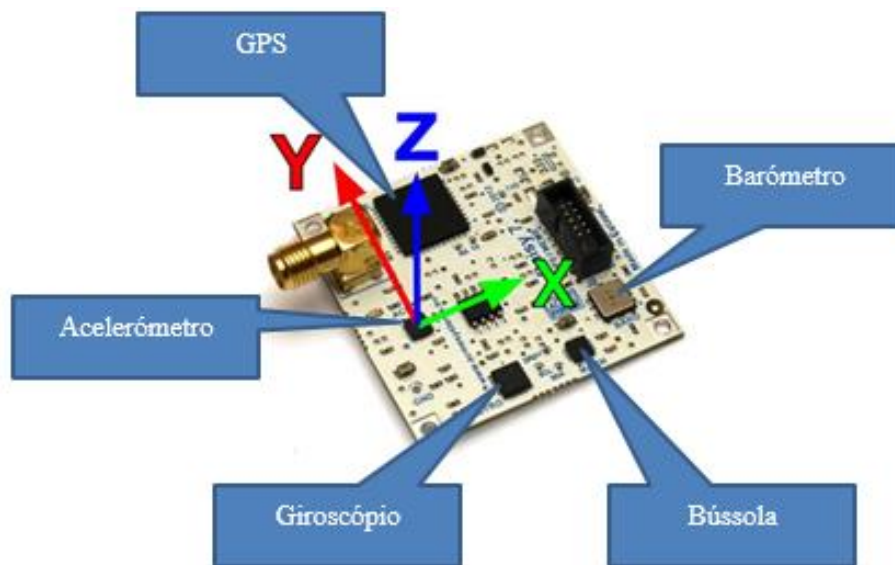


Figura 8 - Localização dos sensores e eixos da placa GPS e IMU

Os pinos de comunicação com a placa estão descritos na Tabela 8. O GPS comunica através de *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter* (UART), utilizando duas ligações, uma para transmissão, outra para recepção. O acelerómetro, giroscópio, bússola e barómetro estão todos ligados a um barramento de *Inter-Integrated Circuit* (I<sup>2</sup>C). Para a comunicação é necessária uma ligação de dados cujo sentido é de entrada e saída e uma

ligação de relógio. Além dos pinos de comunicação são necessárias as ligações de alimentação da placa. Esta requer uma tensão de alimentação de 3,3V.

*Tabela 8 - Pinos de ligação da placa GPS e IMU*

<b>Pino</b>	<b>Sinal</b>	<b>Descrição</b>
<b>1</b>	3,3V	Pino para alimentação
<b>2</b>	TX	Ligação entre um TX externo e o RX do GPS
<b>3</b>	RX	Ligação entre um RX externo e o TX do GPS
<b>7</b>	SDA	Pino de dados do I <sup>2</sup> C
<b>8</b>	SCL	Pino de relógio do I <sup>2</sup> C
<b>10</b>	GND	Pino para alimentação

Os sensores da IMU que são constituídos por eixos foram todos posicionados de forma a que os eixos sejam comuns. Assim simplifica o processo de interpretação dos dados destes sensores. Cada sensor é acessível para comunicação através de um endereço que pode ser consultado na Tabela 9. Estes dados encontram-se na documentação do respetivo sensor.

*Tabela 9 - Endereços I<sup>2</sup>C dos sensores da placa GPS e IMU*

<b>Acelerómetro</b>	0x18
<b>Giroscópio</b>	0x68
<b>Bússola</b>	0x1E
<b>Barómetro</b>	0x77

O protocolo I<sup>2</sup>C permite apenas comunicar com um sensor da cada vez. Assim sendo, para qualquer tipo de comunicação, receção ou envio, em primeiro lugar é necessário selecionar o endereço do sensor pretendido. Após este procedimento, a ligação fica estabelecida e o acesso aos registos do sensor fica disponível. Os sensores têm diversos registos. O processo de escrita e leitura de um registo segue o mesmo processo em todos os sensores. Após se estabelecer a ligação ao sensor pretendido, envia-se o endereço do registo que se pretende alterar. De seguida, escreve-se ou lê-se o valor do respetivo endereço. No caso do acelerómetro e giroscópio, como são do mesmo

fabricante, existem registos cuja a designação e o endereço são comuns, mas tratam-se de registos independentes.

### 3.1.1 GPS

O módulo GPS que integra a placa é um *Skytraq Venus 638LPx* [22]. Segundo as especificações este módulo é constituído por 51 canais de aquisição e 14 canais de rastreamento. A precisão da posição é cerca de 2,5 metros. Este valor pode ser afetado pelas principais causas de degradação do sinal GPS descritas no capítulo 2.3. Quanto à velocidade, a precisão situa-se nos 0,36 km/h. Como descrito na secção 2.3.5, o relógio do recetor é um fator relevante no cálculo da posição, sendo por isso importante o módulo conter uma precisão que o torne fiável. Neste produto, a especificação indica 300ns. O tempo de ativação do sinal GPS pode variar consoante as condições atmosféricas, sendo que, geralmente, situa-se entre 1 e 29 segundos. Por defeito, a frequência de aquisição do módulo é de 1Hz. Porém, tem-se liberdade de aumentar esse valor até aos 10Hz acedendo às configurações internas do módulo. Estas configurações correspondem a um conjunto de comandos sob a forma de mensagens binárias que se podem enviar para o módulo, através do pino RX da placa. As mensagens podem ser consultadas num documento que lista todos os comandos interpretados pelo módulo [23].

A nível de comunicação, o módulo suporta os protocolos *Serial Peripheral Interface* (SPI) e *UART*. para o desenho desta placa de GPS e IMU foi selecionada a comunicação *UART*. Por defeito, a placa está configurada para operar com um baud rate de 115200 bps, mas é possível configurar um baud rate entre os quatro que o módulo aceita: 4800, 9600, 38400 e 115200 bps. Os dados são obtidos segundo a norma *National Marine Electronics Association* (NMEA) - 0183. Uma característica também relevante é o fato de detetar multicaminhos e ser portador da capacidade de suprimir esse efeito. A Tabela 10 contém um resumo das principais características deste sensor.

Tabela 10 - Características do GPS

<b>Designação</b>	<i>Skytraq Venus 638LPx</i>
<b>Frequência de aquisição</b>	1Hz (defeito) – 10Hz (máximo)
<b>Tempo médio para iniciar</b>	1 – 29 segundos
<b>Baud Rate</b>	4800, 9600, 38400, 115200
<b>Precisão da posição</b>	2.5m CEP

Esta placa tem a vantagem de possibilitar a conexão externa de uma antena GPS. Assim é possível posicioná-la num sítio estratégico para melhorar a recepção dos sinais provenientes dos satélites. A Figura 9 mostra a antena utilizada no GPS. O cabo tem uma extensão de 5 metros permitindo, caso se pretenda, colocar a antena no exterior do veículo. Além disso, uma das superfícies é magnética que rapidamente permite fixá-la numa superfície metálica. A frequência da antena é de 1575,42 MHz e possui um conector SMA para conectar à placa GPS e IMU. No que diz respeito às dimensões, esta antena tem cerca de 4,6cm x 4,6cm.



Figura 9 - Antena GPS

### 3.1.2 Acelerómetro

O acelerómetro presente na placa é um *ST LIS331DLH*. A documentação encontra-se em [24]. É constituído por três graus de liberdade, ou seja, obtém-se as acelerações nos eixos horizontal, lateral e vertical. É possível utilizar em três escalas distintas:  $\pm 2$  g,  $\pm 4$  g ou  $\pm 8$  g. A frequência de leitura está dividida em dois grupos: frequências de modo baixo consumo e frequências de modo normal. No primeiro, encontram-se as baixas frequências: 0,5 Hz, 1 Hz, 2 Hz, 5 Hz e 10 Hz. Em modo normal, consegue-se operar com frequências bastante superiores. As frequências possíveis neste modo são 50 Hz, 100 Hz, 400 Hz e 1000 Hz. Os valores obtidos passam por um filtro interno que corta baixas frequências, reduzindo o ruído de saída. Para cada eixo, o valor contém uma resolução de 16 bits. A Tabela 11 enumera as principais características deste sensor.

Tabela 11 - Características do acelerómetro

<b>Designação</b>	<i>ST LIS331DLH</i>
<b>Número de eixos</b>	3 eixos
<b>Frequência de aquisição</b>	0,5 Hz – 10 Hz (baixo consumo) 50 Hz – 1000 Hz (modo normal)
<b>Baixa potência de consumo</b>	10 $\mu$ A
<b>Gama dinâmica</b>	$\pm 2$ g, $\pm 4$ g, $\pm 8$ g
<b>Formato de leitura</b>	16-bits

### 3.1.3 Giroscópio

O giroscópio presente na placa é um *ST L3G4200D*. A documentação encontra-se em [25]. É constituído por três graus de liberdade cuja orientação e localização do sensor podem ser consultadas na Figura 8. Este sensor mede a velocidade de rotação em cada um dos eixos. O sensor tem quatro frequências de funcionamento: 100, 200, 400 e 800 Hz. é também possível configurar a largura de banda através da atribuição de uma frequência de corte. Deste modo, o sensor é configurável. É possível atribuir três escalas de funcionamento distintas: a mais baixa é 250 °/s, a intermédia é 500 °/s e a mais elevada é 2000 °/s. O formato de dados é de 16-bits. A Tabela 12 contém as principais características deste sensor.

Tabela 12 - Características do giroscópio

<b>Designação</b>	<i>ST L3G4200D</i>
<b>Número de eixos</b>	3 eixos
<b>Frequência de aquisição</b>	100 Hz, 200Hz, 400Hz e 800Hz
<b>Escala</b>	250 °/s, 500 °/s, 2000 °/s
<b>Formato de leitura</b>	16-bits

### 3.1.4 Bússola

A bússola presente na placa é um *Honeywell HMC5883L*. A documentação encontra-se em [26]. Tem três graus de liberdade cuja orientação e localização do sensor podem ser consultadas na Figura 8. Deste sensor obtém-se o valor do campo magnético aplicado a cada um dos eixos. Possui uma gama de frequências de aquisição com início nos 0,75

Hz e que vai até aos 75 Hz. Outra variável configurável é o ganho do sensor. Este ganho é aplicado na conversão dos valores das leituras aos registos dos dados para a unidade de medida, que é *Gauss*. Na Tabela 13 estão presentes as principais características da bússola.

Tabela 13 - Características da bússola

<b>Designação</b>	<i>Honeywell HMC5883L</i>
<b>Número de eixos</b>	3 eixos
<b>Frequência de aquisição</b>	0,75 Hz; 1,15 Hz; 3 Hz; 7,5 Hz; 15 Hz; 30 Hz; 75Hz;
<b>Ganho</b>	$\pm 0,88$ Ga; $\pm 1,3$ Ga; $\pm 1,9$ Ga; $\pm 2,5$ Ga; $\pm 4,0$ Ga; $\pm 4,7$ Ga; $\pm 5,6$ Ga; $\pm 8,1$ Ga
<b>Formato de leitura</b>	16-bits

### 3.1.5 Barómetro

O sensor de pressão atmosférica presente na placa é um *Bosch BMP085* e a documentação encontra-se em [27]. Este sensor possui uma gama dinâmica de pressões admissíveis entre 300 e 1100 hPa. Esta característica permite calcular altitudes entre -500 metros e 9000 metros relativamente ao nível médio das águas do mar. A frequência com que se consegue obter leituras de altitude depende do modo escolhido para o funcionamento do sensor. Existem quatro modos que vão de baixo consumo até ultra resolução. Este último baseia-se em oito amostras para calcular o valor final. A Tabela 14 descreve as configurações possíveis e o respetivo tempo necessário até concluir a determinação da pressão.

Tabela 14 - Modos de leitura da pressão no barómetro

<b>Modo</b>	<b>Parâmetro</b>	<b>Amostras internas</b>	<b>Tempo de conversão (ms)</b>
Baixo consumo	0	1	4,5 ms
Normal	1	2	7,5 ms
Alta resolução	2	4	13,5 ms
Ultra resolução	3	8	25,5 ms



### 3.2 Módulo Cartão SD

Este módulo (Figura 10) permite a gravação de dados provenientes do microcontrolador num cartão de memória do tipo *Micro SD*. A comunicação é estabelecida através de *Serial Peripheral Interface (SPI)*. Geralmente este tipo de cartões de memória funcionam a uma tensão de 3,3 V. Este fator implica fazer uma redução do nível de tensão entre os pinos do microcontrolador e os pinos do módulo, o que poderia requerer a implementação de um circuito eletrónico adicional. Porém, neste módulo não é necessário. Pode-se ligar diretamente os pinos do microcontrolador ao módulo, uma vez que este já possui um regulador interno. Este módulo não possui um pino específico para detetar se o cartão de memória está inserido ou não. Pelo que este processo de validação é feito através de *software*.

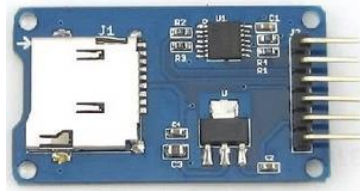


Figura 10 - Módulo cartão SD

### 3.3 Módulo Bluetooth

O módulo *Bluetooth* que integra a placa de aquisição é um HC-06. A comunicação é feita através de UART e estes módulos estão geralmente configurados por defeito para uma taxa de dados de 9600 bps. Porém, este valor pode ser aumentado para valores até 115200 bps. É alimentado a 5V e serve de interface entre o microcontrolador e a aplicação de comando.



Figura 11 - Módulo Bluetooth

Este tipo de dispositivos é configurável por *software* através de comandos denominados “*AT Commands*”. Este tipo de comandos consiste na troca de mensagens binárias entre o microcontrolador e o módulo.

### 3.4 OBD-II

Como interface de OBD para integrar a placa de aquisição utilizou-se o ELM327 Figura 12. O sistema OBD tem como principal função o diagnóstico de veículos, através da obtenção de parâmetros específicos do veículo tais como tensões, temperaturas, rotações por minuto do motor, velocidade, etc. Este dispositivo serve de ponte entre a placa e o barramento CAN do automóvel através do qual se transmite todas as informações entre os vários componentes eletrônicos. A conexão é feita através de *Universal Serial Bus (USB)*, pelo que este sistema pode ser facilmente utilizado recorrendo a um computador. Uma vez que o pretendido é uma conexão direta ao microcontrolador houve necessidade de intervir no dispositivo original.



Figura 12 - Interface OBD-II

A alteração previamente realizada neste dispositivo consiste na remoção das ligações do EML327 ao controlador USB. Ou seja, os dados eram enviados do ELM327 para o controlador USB e, após passarem pelo controlador, é que o utilizador tinha acesso aos dados. Após a alteração, os dados são transmitidos diretamente da UART do ELM327 para o terminal USB. Esse terminal irá ligar a uma entrada USB da placa de aquisição. As vantagens desta alteração focam-se na diminuição de latência na comunicação e na possibilidade de utilizar este dispositivo através da comunicação UART presente na maioria dos microcontroladores.

### 3.5 Placa de Microcontrolador

O *arduino mega 2560* é uma placa que incorpora um microcontrolador *ATmega 2560* da *Atmel*. A placa incorpora todas as conexões necessárias para uma completa utilização das possibilidades de comunicação do microcontrolador. Trata-se de uma placa de baixo custo e é acompanhada de uma plataforma de desenvolvimento, denominada *Arduino IDE*, que facilita a sua utilização. Esta plataforma incorpora várias bibliotecas documentadas e de utilização gratuita. No desenvolvimento deste projeto recorreu-se à utilização de algumas delas, adaptando-as conforme a necessidade requerida.



Figura 13 - Microcontrolador Arduino Mega 2560

A nível de comunicação está equipado com quatro canais UART, I<sup>2</sup>C e SPI. Estes canais são suficientes para a comunicação com todos os componentes presentes na placa de aquisição. A Tabela 15 resume as principais características do microcontrolador.

Tabela 15 - Características do microcontrolador ATmega2560

Microcontrolador	ATmega2560
Tensão de operação	5V
Pinos digitais	54
Pinos analógicos	16
Corrente DC	20mA~50mA
Memória flash	256 KB
Velocidade relógio	16 MHz
Comunicação	UART, I <sup>2</sup> C e SPI

### 3.6 Desenho da Placa de Aquisição

A placa de aquisição é constituída pelo um total de dezanove ligações entre o microcontrolador e os restantes componentes, conforme se pode ver na Figura 14. No conector USB, utilizado para a conexão com o interface OBD-II, são necessárias três ligações. Essas ligações são as duas necessárias para a comunicação UART, ou seja, TX, RX e massa, e foram ligadas à porta série número dois do microcontrolador. Não é necessária alimentação uma vez que o dispositivo de interface OBD-II é alimentado pelo veículo. O módulo cartão SD requer seis ligações ao microcontrolador. Como alimentação são necessárias as ligações de 5V e GND e para comunicação são necessárias quatro ligações, sendo elas MISO, MOSI, SCK e SS. O módulo *Bluetooth* é ligado via quatro conexões. É alimentado através das ligações de 5V e GND e comunica com a porta série número zero do microcontrolador. Por fim, completa-se a placa de aquisição com a placa GPS e IMU. Esta requer seis ligações. Como alimentação tem-se 3,3V e GND e como comunicação tem-se os 2 canais UART utilizados para o GPS ligados à porta série número um do microcontrolador e os ligações I<sub>2</sub>C (SDA e SCL) utilizados pela IMU.

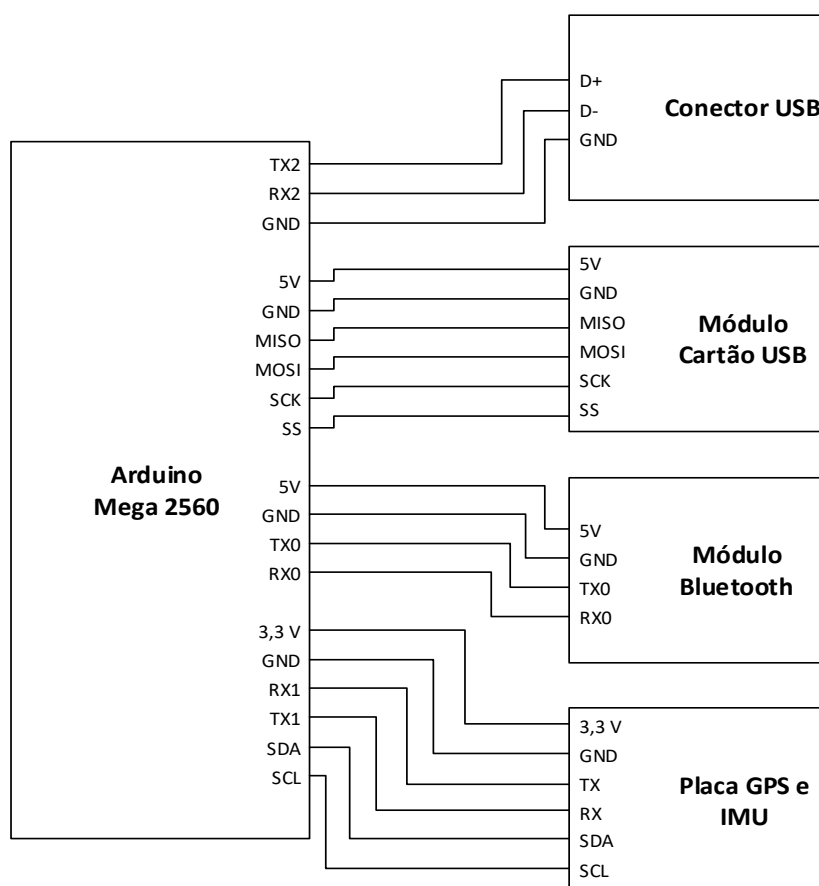
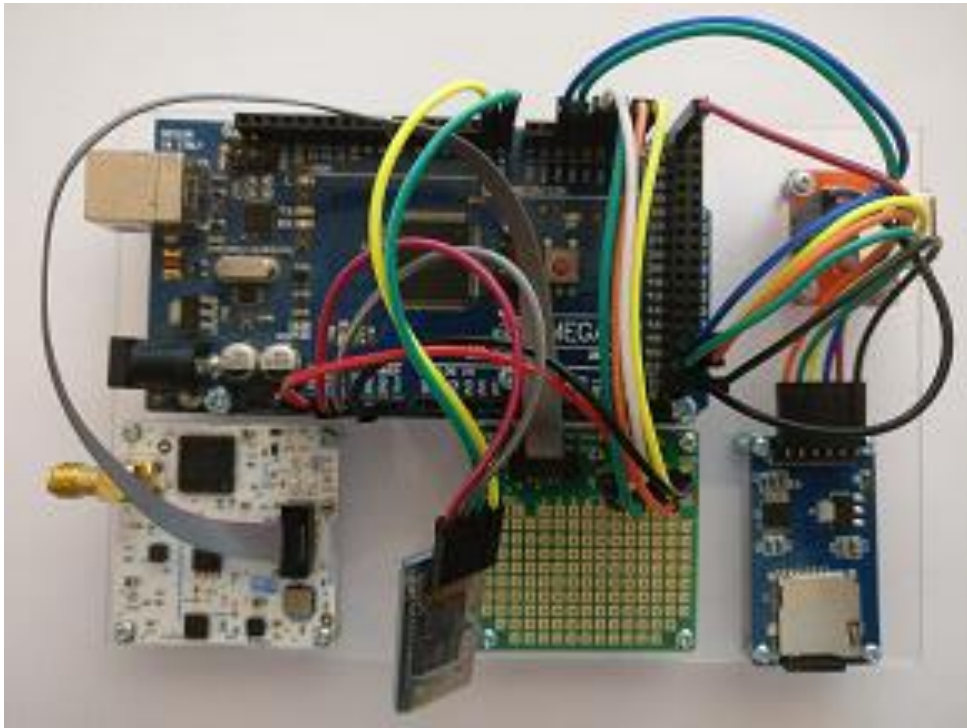


Figura 14 - Esquemático de ligações dos componentes

A placa de aquisição dados está montada numa plataforma de acrílico com cerca de 12cm x 10 cm, como é possível verificar na Figura 15. Esta implementação tem como desvantagens, por exemplo, a de proporcionar facilmente a desconexão de uma ligação e no que diz respeito a questões estéticas. Porém, tem como grande vantagem proporcionar mais rapidamente a substituição ou alteração dos componentes nela presentes.



*Figura 15 - Placa de aquisição de dados*

A nível de conexões externas são necessárias a antena do GPS, a comunicação OBD através do cabo USB, a conexão *Bluetooth* com a aplicação de comando e a alimentação da placa.



## 4. AQUISIÇÃO DE DADOS

Neste capítulo descreve-se todo o processo de aquisição de dados. Começa-se por descrever o modo de leitura em cada um dos sensores presentes na placa e, de seguida, descreve-se o modo de funcionamento do programa implementado no microcontrolador para aquisição de todos os dados. Por fim, descreve-se os dados de saída da placa de aquisição e a interface que esta disponibiliza à aplicação de comando.

### 4.1 GPS

O recetor GPS está configurado com uma frequência de transmissão de 1Hz, ou seja, as mensagens de dados são transmitidas para o microcontrolador com um período de um segundo, e com uma taxa de transmissão de 115200 bps. Uma vez que a receção de dados é realizada segundo o protocolo UART e os dados chegam ao microcontrolador de forma contínua e sem qualquer pedido não é possível a aquisição síncrona destes dados. A biblioteca do *Arduino* tem implementados *buffers* nos canais destinados à comunicação série que armazenam dados até que a leitura seja feita. Porém, o número de dados possíveis de armazenar é limitado e para evitar que esse limite seja atingido, a leitura deve ser feita sempre que possível. Estes *buffers* são do tipo *First In First Out* (FIFO). Por outro lado, no caso do limite ser atingido, os caracteres seguintes serão perdidos até que seja libertado espaço. Para evitar esta situação, recorreu-se à interrupção UART existente no microcontrolador. Esta interrupção deteta a chegada de um carácter ao *buffer* e procede logo que possível à leitura do carácter guardando-o num vetor interno de caracteres dedicado às mensagens do GPS.

Do sensor GPS é possível obter-se vários tipos de dados agrupados em várias mensagens, que podem ser consultadas na documentação do recetor [22]. Porém, configurou-se o recetor para enviar somente dois tipos de mensagens, presentes na Figura 16. Com essa configuração diminuiu-se o número de caracteres que chegam ao microcontrolador e simplificou-se o processo de análise e separação de valores das mensagens.

```
!$GPGGA,215707.438,4127.1549,N,00817.4055,W,0,00,03.8,0.0,M,55.1,M,,0000*7F  
!$GPRMC,215707.438,V,4127.1549,N,00817.4055,W,002.5,000.0,290216,,N*67
```

Figura 16 - Composição das mensagens NMEA

As mensagens NMEA são constituídas por um carácter de início de mensagem (“\$”), a designação do tipo de mensagem, o corpo da mensagem com valores separados por vírgulas e termina com uma verificação de soma de caracteres, *checksum*, e um carácter final de quebra de linha. Detetando o início e fim das mensagens e conhecendo as posições dos dados pretendidos, rapidamente se obtém os dados pretendidos. Porém, é sempre necessário identificar o tipo de mensagem a interpretar uma vez que existem dados presentes em mensagens distintas com posições diferentes, como por exemplo, a latitude e longitude. A Tabela 16 apresenta os dados que se pretende obter das mensagens GPS.

Tabela 16 - Composição da mensagem das mensagens GPS

Mensagem	Descrição	Exemplo	Posição
<b>Ambas</b>	Identificador da mensagem	\$GPGGA	1
	Hora do GPS	215707.438	2
	Latitude	4127.1549 N	3, 4 / 4, 5
	Longitude	00817.4055 W	5, 6 / 6, 7
<b>“GPGGA”</b>	Número de satélites	00	8
	HDOP	03.8	9
	Altitude	0.0 M	10, 11
<b>“GPRMC”</b>	Velocidade	002.5	8
	Direção	000.0	9
	Data	290216	10

## 4.2 Acelerómetro

No processo de inicialização deste sensor é necessário definir o modo de funcionamento. Para isso é necessário alterar o seu registo designado por “CTRL\_REG1” acessível através do endereço “0x20” [24]. Trata-se de um registo de 8-*bits*. Os três bits mais significativos destinam-se à configuração do modo de funcionamento. Por defeito estão os três a zero fazendo com que o sensor esteja desligado. Neste sensor decidiu-se utilizar o modo normal, sendo por isso necessário alterar de “000” para “001”. Os dois *bits* seguintes destinam-se à configuração da frequência do sensor. A esses *bits* foi atribuído “10” fazendo com que o sensor trabalhe a uma frequência de 400Hz, garantindo assim uma taxa de atualização elevada dos valores provenientes deste sensor. Por fim, os



três *bits* menos significativos correspondem ao estado dos três eixos: ligado ou desligado. Por defeito já se encontram ligados. Tendo os *bits* todos definidos escreve-se o valor resultante no registo. O valor a atribuído no seu registo “CTRL\_REG1” foi “0x37”.

Para se obter as medidas dos três eixos procede-se à leitura dos endereços dos registos respetivos. Como os dados são 16-*bits* e os registos são 8-*bits*, para a leitura de cada eixo procede-se à leitura de dois registos. Neste sensor, os endereços dos registos que contêm os dados de saída estão ordenados sequencialmente. Os valores do eixo x são obtidos através do endereço “0x28”, representando o *byte* menos significativo, e “0x29”, que representa o *byte* mais significativo. Seguindo a mesma ordem, para o eixo y os endereços são “0x2A” e “0x2B”. Por fim, para o eixo z, os endereços são o “0x2C” e “0x2D”.

### 4.3 Giroscópio

Tal como referido em 3.1, o acelerómetro e o giroscópio são do mesmo fabricante, fazendo com que grande parte dos endereços e designações dos registos seja a mesma. Para a inicialização deste sensor começa-se por configurar o modo de funcionamento através do seu registo “CTRL\_REG1” presente no endereço “0x20”. Os quatro *bits* mais significativos destinam-se à configuração do modo de leitura. Os dois mais significativos correspondem à frequência e os outros dois à largura de banda. Segundo a documentação [25], por defeito a combinação destes bits é “1010” que corresponde a uma frequência de leitura de 400 Hz com uma frequência de corte de 50 Hz. Porém, esses valores foram alterados para “1100” para ler à frequência mais elevada, 800 Hz, e colocar o filtro passa baixo com a frequência de corte de 30 Hz. De seguida está presente o bit que determina se o sensor está ligado ou desligado. Atribuiu-se o valor “1” para ligar o sensor. Por fim, restam três bits que correspondem aos bits de configuração do estado dos três eixos. Pretende-se todos ativos pelo que o valor a atribuir é “111”. Assim sendo, o valor resultante a escrever no seu registo é “0xCF”.

Outra configuração é a escala a utilizar no sensor. Este possui três distintas. Para a dinâmica de um veículo concluiu-se que a escala de 250 graus por segundo é suficiente para descrever a rotação segundo os três eixos, pois em condições normais a dinâmica normal de um veículo não é esperado que esse valor seja ultrapassado. Esse valor de escala já está definido por defeito e encontra-se no registo “CTRL\_REG4” que está definido com o valor “0x00”, pelo que não é necessário alterar este registo.

O processo de leitura deste sensor é igual ao do acelerómetro. Os valores do eixo x são obtidos através do endereço “0x28”, representando o *byte* menos significativo, e “0x29”, que representa o *byte* mais significativo. Seguindo a mesma ordem, para o eixo y os endereços são “0x2A” e “0x2B”. Por fim, para o eixo z, os endereços são o “0x2C” e “0x2D”.

#### 4.4 Bússola

A configuração deste sensor requer a alteração de três registos. Começando pelo modo de funcionamento é necessário alterar o registo “Mode Register”, cujo o endereço é “0x02”. Trata-se de um registo de 8-bits e que, para as configurações necessárias, apenas é necessário alterar os dois *bits* à direita, ou seja, os menos significativos. Para o modo de leitura contínua, a configuração dos *bits* é “00”. Assim sendo, o valor a definir neste registo é “0x00”.

Outra configuração necessária é a frequência de leitura do sensor. Neste ponto o registo responsável é o “Configuration Register A”. O endereço deste registo é “0x00”. Apenas é necessário alterar três bits que se posicionam na quarta, quinta e sexta posição. Pretende-se configurar uma frequência de aquisição elevada. Neste sensor a mais alta é 75 Hz e o valor atribuir é “110”. O valor resultante a definir neste registo é “0x78”.

O ganho é alterado no registo “Configuration Register B” através do endereço “0x01”. Este registo apenas utiliza três bits dos oito disponíveis, os mais significativos. Por defeito, está definido “001” que corresponde a  $\pm 1,3$  Ga, valor esse utilizado na configuração deste sensor. Deste modo, o valor resultante a atribuir a este registo é “0x20”.

O processo de leitura deste sensor tem algumas alterações em relação aos anteriormente descritos. O registo com o *byte* mais significativo do eixo x encontra-se no endereço “0x03”. O menos significativo da *word* encontra-se no endereço “0x04”. De seguida, seguindo os endereços por ordem, lê-se os dados do eixo z nos registos “0x05” e “0x06”. Por fim, os registos com os valores do eixo y estão endereçados com “0x07” e “0x08”.

## 4.5 Barómetro

Como há variações de pressão que são independentes da altitude, pretende-se causar o menor impacto possível dessas variações. As variações da altitude num veículo têm frequências pouco elevadas. Assim sendo, configurou-se o sensor para calcular a pressão atmosférica em modo ultra resolução, aumentando o número de amostras e o tempo de medição. Para calcular a altitude é necessário começar por determinar a temperatura. Esse processo demora cerca de 4,5 milissegundos. De seguida, é necessário determinar a pressão que demora cerca de 25,5 milissegundos. Somando os dois tempos de leitura das grandezas necessárias ao cálculo da altitude, obtêm-se cerca de 30 milissegundos. que corresponde a uma frequência de leituras de cerca de 33 Hz

Na inicialização do sensor, é necessário ler dados que serão usados para calibração dos resultados obtidos.

As etapas de cálculo da temperatura e pressão estão descritas no documento informativo do sensor [27] e resultam de operações aritméticas entre valores provenientes de diversos registos. Tendo essas duas variáveis calculadas, passa-se ao cálculo da altitude segundo a equação 4.1.

$$altitude = 44330 * \left(1 - \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\frac{1}{5,225}}\right) \quad (4.1)$$

Na equação 4.1, “p” corresponde à pressão calculada (a partir da amostra) “p<sub>0</sub>” corresponde à pressão atmosférica definida por defeito, geralmente, corresponde à pressão medida ao nível médio das águas do mar, ou seja, 1013,25 hPa. A Figura 17 é o fluxograma da função que calcula as variáveis necessárias ao cálculo da altitude. Esta função foi implementada de forma a não esperar pelo cálculo da temperatura e da pressão. Assim que a função é executada, verifica se os tempos necessários para a determinação da temperatura e pressão foram ultrapassados. Se foram ultrapassados, são ativadas sinalizadores (*flags*) monitorizadas por esta função. Se os sinalizadores estiverem ativos, desencadeia-se as operações de leitura e cálculos. Caso contrário, o programa sai da função e prossegue para a iteração seguinte.

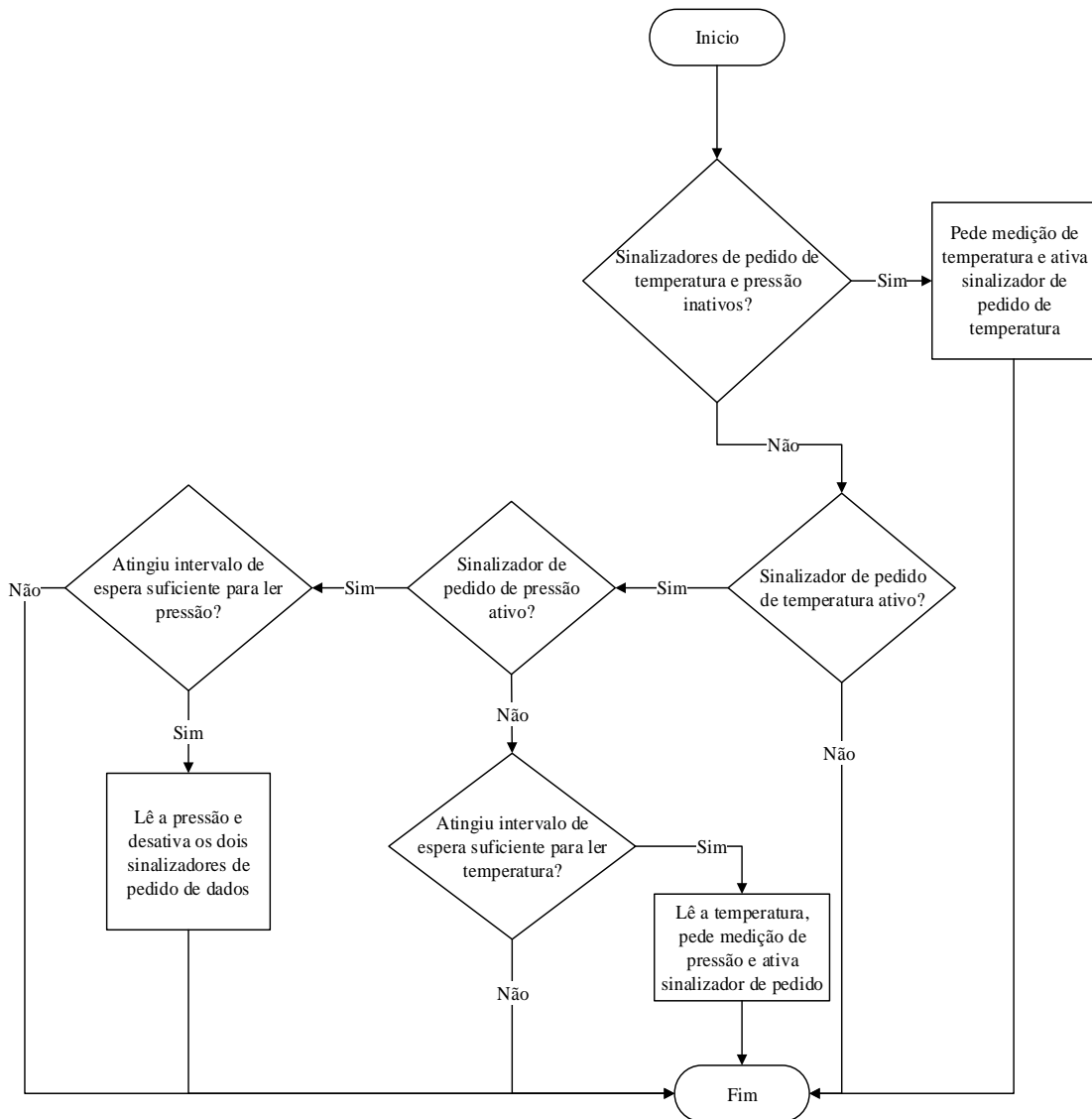


Figura 17 - Fluxograma do funcionamento do barômetro

Para este sensor, foram implementadas duas funções de ajuste de altitude. Uma delas recebe como parâmetro um valor de pressão atmosférica. Esse valor irá substituir o valor da pressão atmosférica medida ao nível médio das águas do mar implementado por defeito. Outra recebe como parâmetro um valor de altitude. Através desse valor e alterando a equação 4.1 em ordem a “ $p_0$ ”, calcula-se um novo valor para a pressão atmosférica definida por defeito.

## 4.6 OBD-II

Tal como explicado em 3.4, o OBD disponibiliza várias variáveis. Neste sistema apenas se procedeu à aquisição da velocidade do automóvel. Esta métrica é bastante importante uma vez que está livre de ruído e garante um valor mais correto do que o obtido pelo sensor GPS. Para a aquisição da velocidade é necessário enviar a mensagem “01 0D” para o OBD, através da comunicação UART. Na Figura 18 é apresentado o fluxograma do funcionamento da aquisição de dados do OBD.

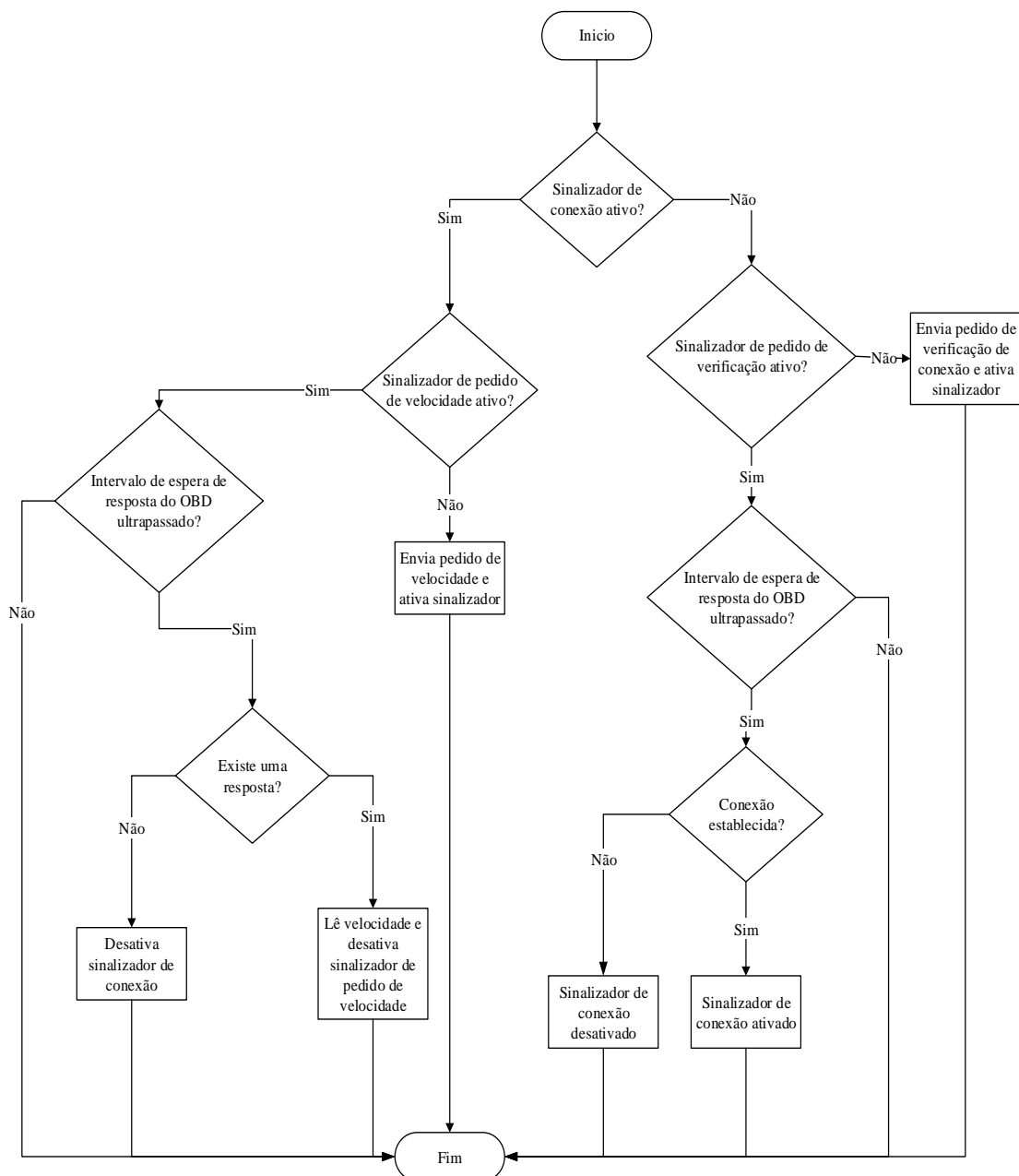


Figura 18 - Fluxograma da leitura do OBD-II

Quando a placa de aquisição é ligada, esta envia uma mensagem ao OBD a verificar a existência de conexão. Caso exista resposta, significa que a conexão entre os dois sistemas está estabelecida. Como a comunicação OBD é assíncrona e possui variações da ordem dos 250 milissegundos no tempo de resposta que não são possíveis de se controlar, definiu-se um tempo de espera de 500 milissegundos para a confirmação da ligação e leitura de dados. Dificilmente a resposta do OBD ultrapassará esse tempo. Os *bytes* correspondentes à resposta ficam armazenados no *buffer* até que se atinga o intervalo definido. No caso da conexão não se estabelecer, o microcontrolador permanece continuamente a enviar as mensagens de verificação da ligação OBD até que esta seja estabelecida.

Após os 500 milissegundos de espera para a leitura estar ultrapassado, no caso de haver resposta do OBD é interpretada e o valor que se encontra em hexadecimal é convertido para decimal. A resposta destinada ao valor da velocidade do automóvel é representada por dois *bytes*. Assim sendo, o intervalo de valores que se obtém é entre os 0 km/h e os 255 km/h. Com esta implementação garante-se, caso a conexão esteja estabelecida, que o valor da velocidade proveniente do OBD é atualizado a 2 Hz.

#### 4.7 Modo de Funcionamento

Para gerir o funcionamento da placa de aquisição de dados implementou-se três rotinas para executarem atividades independentes. A Figura 19 representa o fluxo de dados entre as rotinas.

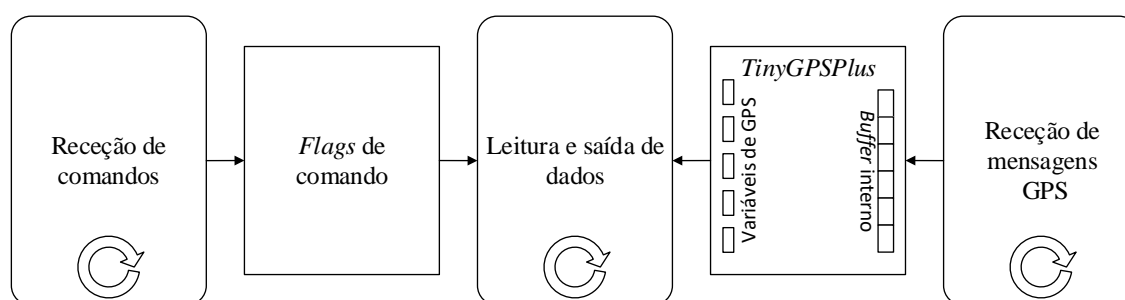


Figura 19 - Fluxo de dados entre as rotinas do firmware de aquisição de dados

A receção de comandos está a cargo de uma rotina da interrupção do canal UART0, associado à transmissão de dados por *Bluetooth*. Para leitura e saída de dados

implementou-se uma rotina de interrupção por *timer*. Esta rotina tem acesso às diversas *flags* de comandos geridas pela rotina de recepção de comandos. Para simplificar a interpretação das mensagens do GPS, recorreu-se à utilização de algumas funções da biblioteca *Arduino TinyGPS++*. Esta biblioteca para além das funções que permitem repartir as mensagens NMEA, incorpora funções de conversão de variáveis, por exemplo, converte a latitude e longitude para graus. Também tem acesso às variáveis de GPS através do objeto *TinyGPSPlus*. Esse objeto tem um *buffer* interno que é atualizado pela rotina de recepção de dados GPS.

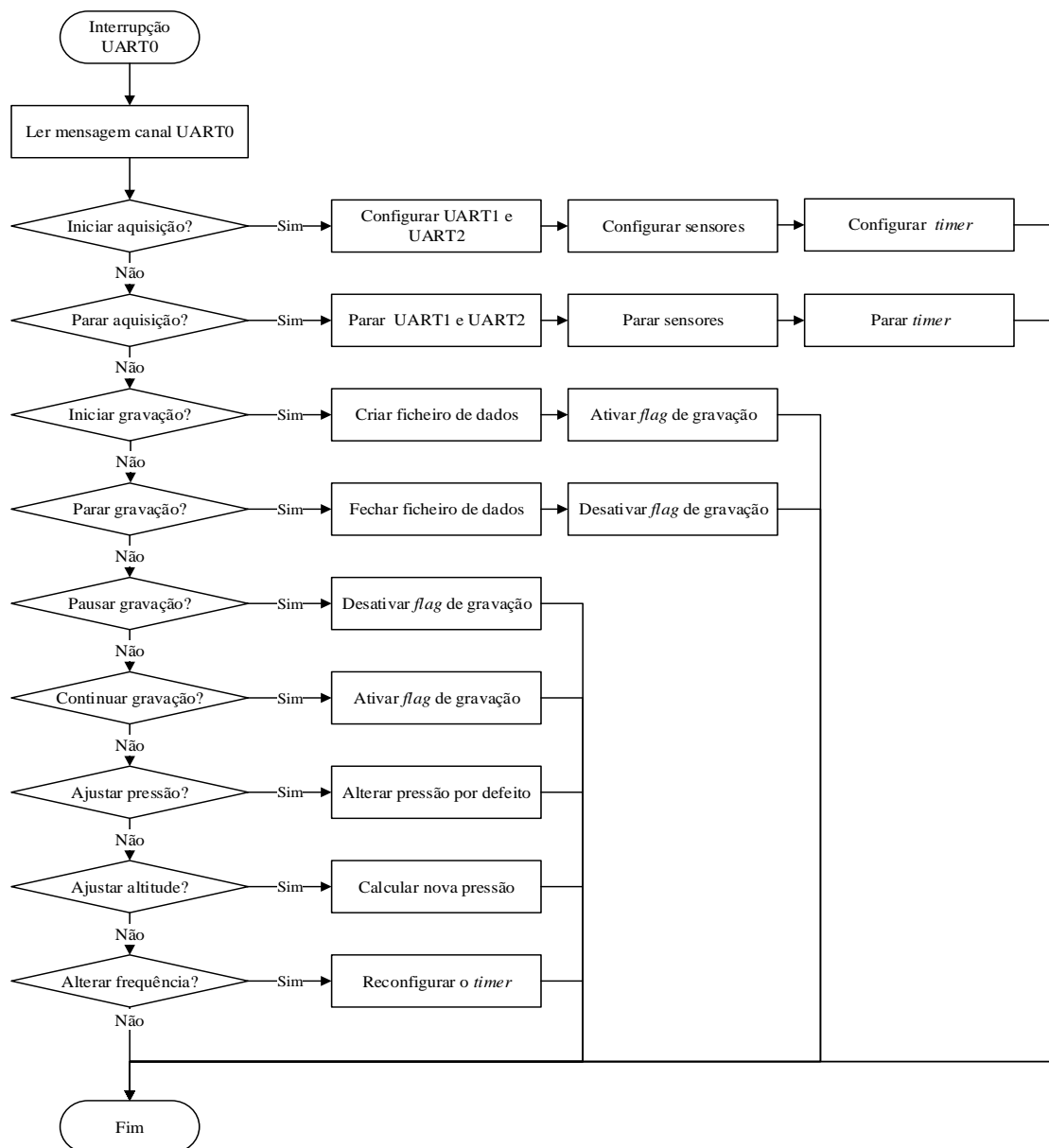


Figura 20 - Fluxograma dos comandos da placa de aquisição

No arranque (quando o microcontrolador é alimentado), apenas é configurado o canal UART0 responsável pela comunicação *Bluetooth*, para que a interrupção fique ativa. O microcontrolador permanece em modo “*stand-by*” à espera de algum comando externo.

Quando a interrupção deteta a chegada de caracteres ao *buffer*, armazena-os numa *string* até ser detetado o fim da mensagem. Esta parte é representada na figura pela primeira ação. Quando a mensagem estiver completa, verifica se existem ações associadas ao comando recebido. A Figura 20 representa um fluxograma das ações realizadas perante cada comando.

Foi implementado um comando para iniciar a aquisição, retirando o microcontrolador do modo “*stand-by*”. Assim que esse comando é recebido, são configurados os canais de comunicação com o GPS (UART1) e OBD (UART2), são realizadas todas as configurações do acelerómetro, giroscópio, bússola e barómetro, e é configurado o *timer* responsável pela aquisição e saída de dados.

Quando a placa recebe o comando para parar a aquisição, caso esta esteja a decorrer, começa logo por fechar o ficheiro de dados. De seguida, pára-se o temporizador da função de recolha e saída de dados e desliga-se os canais UART do GPS e do OBD. O acelerómetro, giroscópio e bússola também são desligados. Apenas fica em funcionamento a interrupção para atender aos comandos recebidos por *Bluetooth*.

O processamento dos restantes comandos é mais simples, e a maior parte deles consiste em disponibilizar indicações através das *flags* de comando (Figura 19) para a rotina de aquisição.

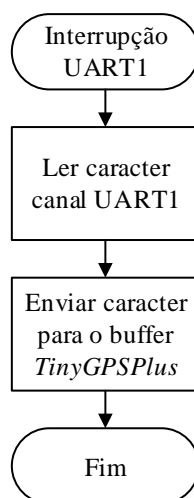


Figura 21 - Fluxograma da rotina dos dados do GPS



O fluxograma presente na Figura 21 descreve a rotina de recepção de dados do GPS. Esta é uma rotina simples que, quando ocorre a interrupção UART1, lê o caracter recebido e coloca-o no *buffer* interno do objeto *TinyGPSPlus*. Este objeto trata da detecção de uma mensagem completa, validação da fixação da posição, e do *parsing* dos dados para um conjunto de variáveis *string* individuais que contêm os dados GPS da ultima mensagem completa. As rotinas de interrupção não são interrompidas por outras rotinas. Assim sendo, garante-se que a atualização das variáveis não é interrompida. Essas variáveis são lidas pela rotina de aquisição.

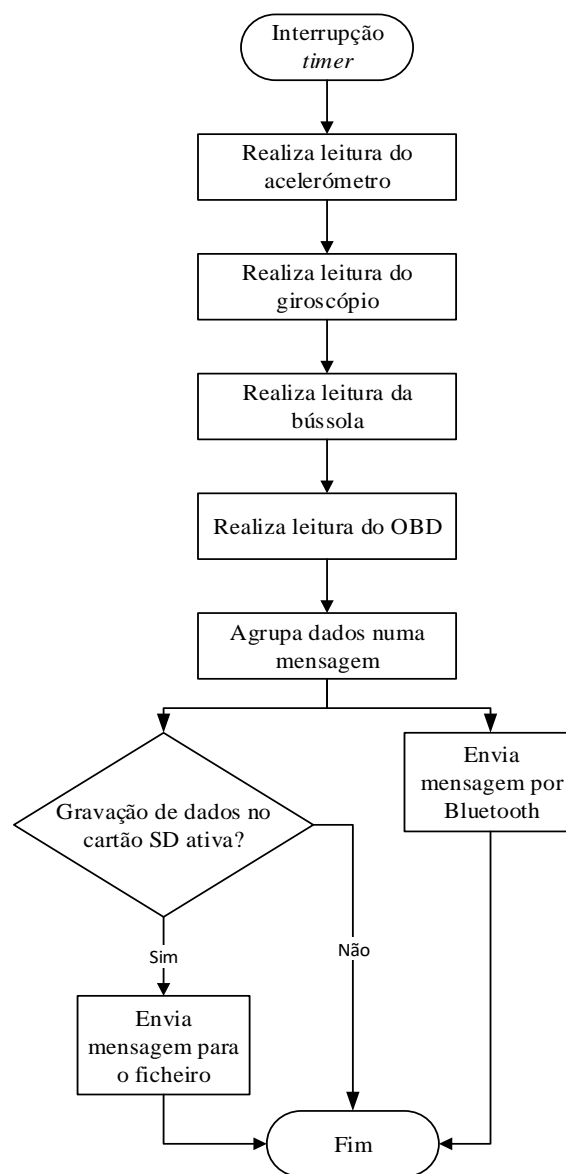


Figura 22 - Fluxograma do ciclo de aquisição e saída de dados

O fluxograma presente na Figura 22 descreve a rotina do *timer* que contempla todo o processo de recolha e saída de dados da placa de aquisição. Começa-se por realizar as leituras dos sensores. A ordem de leitura é arbitrária, e definiu-se a seguinte ordem: acelerómetro, giroscópio, bússola, barómetro e OBD. Após aquisição destes dados, é construída uma mensagem de caracteres composta por todos os dados recebidos separados por ponto e vírgula. Esta mensagem é enviada por *Bluetooth* para a aplicação de comando e, se o utilizador ativou a gravação dos dados, é guardada no cartão de memória.

Este processo começou por ser implementada dentro da função de interrupção do canal UART1, destinado ao GPS, que é executada que assim que é detetada a chegada de um carácter ao *buffer* da ligação UART. Após alguns testes desta implementação do modo de funcionamento da placa de aquisição o resultado obtido não foi satisfatório. Como a ativação da interrupção da chegada de um carácter GPS não se realiza sincronamente, uma vez que são enviados pelo recetor GPS de forma ininterrupta, o período entre execuções da interrupção não é constante e os dados dos sensores não eram recolhidos e enviados com frequência controlada. Por outro lado, esta implementação impossibilitaria o processo de seleção da frequência de aquisição de dados por parte do utilizador. Assim sendo, optou-se por uma abordagem diferente.

A plataforma *Arduino IDE* contempla uma biblioteca denominada *TimerOne*. Esta biblioteca temporiza os eventos em função do tempo de relógio do processador. A utilização é relativamente simples. Após se iniciar uma variável do tipo “*Timer1*”, define-se a frequência com que se deseja repetir a função recorrendo a uma função chamada *initialize*. Esta função recebe como parâmetro o período que se pretende definir. De seguida, através da função *attachInterrupt* associa-se ao *timer* a função que se pretende temporizar. Para alterar o período do temporizador recorre-se à função *setPeriod*. Este método permite ao utilizador definir facilmente a frequência pretendida. Contudo é preciso ter cuidado com as frequências a atribuir uma vez que é necessário ter em conta a duração da execução da função que realiza a leitura dos sensores. O período do temporizador não deve ser inferior ao tempo de execução da função. Outra vantagem desta implementação é o facto de o programa de aquisição estar independente da receção assíncrona dos dados GPS. Após alguns testes verificou-se uma frequência estável da leitura e envio dos dados, proporcionado, deste modo, um melhor controlo da placa de aquisição.

A interpretação de comandos do programa é independente da leitura e saída de dados, uma vez que existe a interrupção para atender aos comandos recebidos via *Bluetooth*. Isto é vantajoso pois permite que a qualquer momento seja acionado um comando. Porém, para não interferir com o processo de recolha e saída de dados, os comandos só são executados no fim do ciclo da rotina, descrita pela Figura 22. Caso se pretenda alterar, por exemplo, alterar a frequência de aquisição poderá fazê-lo a qualquer momento, porém só terá efeito no ciclo seguinte.

Assim que a recolha e saída de dados entra em funcionamento, os dados são constantemente enviados via *Bluetooth*. A gravação de dados no cartão SD da placa está dependente das *flags* definidas para iniciar, parar e pausar. Quando o utilizador pretender gravar dados no cartão, após acionar o comando destinado a esse efeito, é criado um novo ficheiro e é escrito de imediato o cabeçalho das colunas de dados com a designação de cada variável. Se falhar a criação do ficheiro, o programa avisa o utilizador do sucedido e continua a correr normalmente. Caso não haja erros, o ficheiro permanece aberto para escrita. Quando o utilizador desejar parar a gravação, altera-se o valor da *flag* de gravação, o ficheiro é fechado e são enviadas para o utilizador informações como a localização do ficheiro e o tamanho deste.

Devido à abertura e fecho do ficheiro para escrita de dados no cartão SD demorar algum tempo, o ficheiro é criado e aberto aquando a ordem de gravação e apenas fechado aquando a ordem de paragem. Porém, esta implementação requer algum cuidado, pois, se por alguma razão, houver um corte de energia ou o cabo de alimentação for desconectado acidentalmente, pode levar à perda do ficheiro no cartão de memória presente na placa. Porém, uma abordagem à resolução deste problema é a implementação de condensadores com capacidade suficiente para, após corte de energia, alimentarem o microcontrolador num período de tempo suficiente para este processar, por exemplo, uma interrupção externa que ao detetar falha de energia apenas termina a escrita do ficheiro.

## 4.8 Saída de Dados

Os dados obtidos diretamente das leituras dos diversos sensores são guardados num ficheiro de texto com os campos separados por ponto e vírgula, *Comma Separated Values* (CSV). Os dados são apresentados verticalmente sendo que cada coluna corresponde a uma variável distinta e cada linha corresponde a um ciclo de execução do funcionamento da aplicação.

```
935920;9;90;41,504227;-8,369248;19:35:48;222;255,1;65,19;
0,95;0,16;9,6;-0,78;6,95;-3,48;218,96;-299;155,48;267,16;67
```

Figura 23 - Caracteres de saída de dados da placa de aquisição

A Figura 23 ilustra uma linha com os caracteres de saída da placa de aquisição, que neste caso foi repartida em duas para melhorar a visualização dos dados. A descrição destes dados encontra-se presente na Tabela 17, cuja ordem corresponde à posição na linha de caracteres.

Tabela 17 - Descrição dos dados guardados no Cartão SD da placa de aquisição

<b>Cabeçalho</b>	<b>Descrição</b>
<b>RUN_TIME</b>	Tempo desde arranque do microcontrolador
<b>SATS</b>	Número de satélites
<b>HDOP</b>	Indicador de qualidade do sinal. Quanto menor for o seu valor, maior será a fiabilidade da amostra recolhida
<b>LATITUDE</b>	Latitude da posição da amostra
<b>LONGITUDE</b>	Longitude da posição da amostra
<b>GPS_TIME</b>	Tempo do relógio proveniente das mensagens do módulo GPS
<b>ALTITUDE_GPS</b>	Altitude proveniente do GPS
<b>HEADING_GPS</b>	Direção proveniente do GPS
<b>SPEED_GPS</b>	Velocidade proveniente do GPS
<b>ACCEL_X</b>	Valor do eixo x do acelerómetro
<b>ACCEL_Y</b>	Valor do eixo y do acelerómetro
<b>ACCEL_Z</b>	Valor do eixo z do acelerómetro
<b>GYRO_X</b>	Valor do eixo x do giroscópio
<b>GYRO_Y</b>	Valor do eixo y do giroscópio
<b>GYRO_Z</b>	Valor do eixo z do giroscópio
<b>MAG_X</b>	Valor do eixo x da bússola
<b>MAG_Y</b>	Valor do eixo y da bússola
<b>MAG_Z</b>	Valor do eixo z da bússola
<b>ALTITUDE_IMU</b>	Altitude proveniente do barómetro da IMU
<b>SPEED_OBD</b>	Velocidade proveniente do OBD

O nome do ficheiro corresponde à hora, proveniente do GPS, a que se deu início à gravação de dados. Esse ficheiro será alocado numa pasta na raiz do cartão SD, cujo nome corresponde à data de em que se iniciou a gravação. A data também é obtida através do GPS. Além dos dados dos sensores, também são guardados os tempos de relógio do microcontrolador no início de cada ciclo de funcionamento.

Via *Bluetooth*, os dados transmitidos são os mesmos que os guardados no cartão de memória, representados na Figura 23. Como é pretendido enviar um conjunto de dados a rondar os 150 caracteres a frequência elevada, a taxa de transmissão de dados de 9600 bps definida por defeito neste módulo não era suficiente. A Tabela 18 contém uma comparação entre diferentes valores de taxa de transmissão de dados no que diz respeito ao tempo e frequência máxima de envio. Assim sendo, optou-se por aumentar a taxa de transmissão de dados para o valor mais elevado.

Tabela 18 - Comparação de taxas de transmissão no módulo *Bluetooth*

Baud Rate(bps)	Transmissão de 150 bytes (s)	Frequência(Hz)
9600	0,125	8
38400	0,031	32
57600	0,021	48
115200	0,010	96

#### 4.9 Comando da Placa de Aquisição

A placa de aquisição é controlada recorrendo a uma aplicação desenvolvida para *Smartphones Android*. Esta aplicação estabelece uma conexão entre o módulo de *Bluetooth* incorporado na placa e o módulo *Bluetooth* presente no *Smartphone*. Os comandos que a placa de aquisição de dados suporta encontram-se na Tabela 19. A aplicação para além de executar os comandos funciona como ferramenta de análise e tratamento dos dados em tempo real. O capítulo seguinte descreve esta aplicação detalhadamente.

Tabela 19 - Comandos da placa de aquisição

<b>Descrição</b>	<b>Formato</b>
Iniciar placa	Ex: WAKEUP
Colocar placa em modo <i>stand-by</i>	Ex: STANDBY
Iniciar gravação	Ex: START
Parar gravação	Ex: STOP
Pausar gravação	Ex: PAUSE
Continuar gravação	Ex: CONTINUE
Definir pressão atmosférica	“PRESS” + valor (Ex: PRESS1100)
Definir altitude	“ALT” + valor (Ex: ALT80)
Definir período do temporizador	“PERIOD” + valor (Ex: PERIOD100)

## 5. EXTRAÇÃO DE MEDIDAS E VISUALIZAÇÃO

Neste capítulo é descrito o processo de extração e visualização de medidas provenientes dos dados da placa de aquisição. Para isso, recorre-se a uma aplicação *Android*. Essa aplicação recebe os dados em tempo real, filtra-os e permite visualizar alguns deles através do valor instantâneo da medida ou através de um gráfico. Para fundir as variáveis recorreu-se à implementação de um filtro de Kalman na aplicação *Android*. As variáveis são guardadas num ficheiro de dados na memória do telemóvel. Por fim, descreve-se a ferramenta desenvolvida para criação dos ficheiros dos trajetos que podem ser visualizados recorrendo ao *Google Earth* ou *Google Maps*.

### 5.1 Medidas

Todos os dados recolhidos na placa de aquisição estão presentes na aplicação. Porém, alguns podem ser fundidos e filtrados num único resultado. Esta secção descreve essas medidas.

#### 5.1.1 *Pitch, Roll e Yaw*

A *Application Programming Interface* (API) da Google para desenvolvimento *Android* integra uma forma simples de se obter a atitude do telemóvel, segundo os três eixos, recorrendo aos sensores existentes no dispositivo, nomeadamente o acelerómetro e a bússola [28]. Assim sendo, utilizando o desenvolvimento presente na API, alterou-se o funcionamento da obtenção da atitude para, em vez de se basear nos dados provenientes dos sensores do telemóvel, basear-se nos dados recebidos por *Bluetooth* provenientes do mesmo tipo de sensores existentes na placa de aquisição. Com esta alteração conseguiu-se aplicar um método consistente já desenvolvido para lidar com os valores provenientes da placa de aquisição no que diz respeito ao cálculo do *Roll*, *Pitch* e *Yaw*. No automóvel, essas medidas são aplicadas segundo o sistema de eixos SAE. A Figura 5 ilustra o sistema de eixos aplicado ao automóvel.

A matriz de rotação presente na API utiliza apenas o acelerómetro e a bússola no cálculo das rotações nos eixos. Os dados destes dois sensores são suficientes para calcular a orientação. Adicionalmente, o giroscópio tem uma resposta muito rápida e precisa no que diz respeito à velocidade angular nos eixos. Porém esse valor não permanece estável.

Implementando um filtro complementar segundo a equação 5.1, obtém-se um resultado equilibrado entre as duas medidas [29].

$$ang = C * (ang + gyr * dt) + (1 - C) * ac\_b \quad (5.1)$$

Na equação 5.1, “ang” corresponde ao ângulo de um dos eixos. O valor de “C” corresponde ao coeficiente dado ao filtro. O valor a atribuir deve ser compreendido entre zero e um. O valor “gyr” corresponde aos dados provenientes do giroscópio e o valor “ac\_b” corresponde aos dados de ângulo provenientes do acelerómetro e da bússola. Assim, consegue-se ajustar o coeficiente do filtro para obter melhores resultados na junção dos dados provenientes dos três sensores.

Os valores provenientes dos três sensores envolvidos no cálculo destas medidas, assim que chegam à aplicação são sujeitos a uma pré-filtragem para eliminar o ruído branco. Este ruído é caracterizado por uma componente de sinal aleatório presente no sinal original. Esse sinal aleatório é composto pela mesma intensidade em diferentes frequências. Assim sendo, pretende-se obter uma filtragem que elimine parte desse ruído. Para isso, para cada valor, foi implementado um filtro de Kalman de uma dimensão para estimar o valor corrigido em função do valor anterior.

### 5.1.2 Velocidade

A velocidade é obtida por dois meios distintos. Um corresponde à velocidade obtida através do sensor GPS. Neste caso, o valor obtido pode ser influenciado por diversos fatores, entre eles o número de satélites e a qualidade do sinal. Por outro lado, o facto das aquisições serem a uma frequência de 1 Hz provoca um atraso em relação ao valor real da velocidade.

Outra forma de se obter este valor é através dos valores de velocidade obtidos pelo OBD, cuja a frequência de aquisição é 2 Hz. Este valor como não é afetado por fatores externos pode ser considerado mais fiável sendo que o seu resultado é realista.

Estas duas formas de obter a velocidade serão fundidas numa só saída onde se espera obter um resultado otimizado e o mais descritivo possível do valor real desta grandeza.



### 5.1.3 Altitude

A altitude filtrada resulta da fusão da altitude do GPS com a altitude do barómetro presente na IMU. De igual modo à velocidade, a altitude não necessita de cálculos adicionais na aplicação. O valor proveniente do GPS já é representativo da altitude em metros e o valor da IMU é calculado no microcontrolador com a mesma unidade. A altitude do GPS está também sujeita às condições do sinal GPS. Já o valor proveniente da IMU como é atualizado com frequência mais elevada e está sujeito a diferenças de pressão de ar apresenta uma evolução com oscilações frequentes.

Estas duas formas de obter a altitude a que o automóvel se encontra serão fundidas numa só saída onde se espera obter um resultado otimizado e o mais descritivo possível do valor real desta medida.

### 5.1.4 Direção

A direção, tal como as medidas anteriormente descritas, também é possível de se obter diretamente do GPS. Este valor consiste no ângulo que a direção do movimento longitudinal do automóvel faz com o norte geográfico. Assim sendo o valor que se obtém está compreendido entre os 0° e os 360°. Por outro lado, pode-se obter este valor utilizando o valor do *Yaw* descrito na secção 5.1.1. Como este último é obtido através da bússola e do acelerómetro, proporciona um resultado parecido ao do GPS, embora esteja sempre associado a algum ruído.

Estas duas formas de obter a direção do movimento longitudinal do automóvel serão fundidas numa só saída onde se espera obter um resultado otimizado e o mais descritivo possível do valor real desta medida.

### 5.1.5 Aceleração Lateral

A aceleração lateral pode-se obter de duas formas. Uma das formas é através da multiplicação da velocidade longitudinal pela velocidade angular proveniente da leitura direta do giroscópio, segundo a equação 5.2. Esta é forma mais direta de se obter esta medida. Porém é afetada pelo ruído proveniente do giroscópio.

$$a_{lat} = w * v_{long} \quad (5.2)$$

Outra forma de se obter esta medida resulta da derivação da direção do movimento. Ou seja, a mudança de direção faz com que ocorra aceleração lateral. Assim sendo, tendo a direção em radianos e derivando esse valor em função do tempo obtém-se a velocidade angular (5.3). Esse valor multiplicado pela velocidade longitudinal tem como resultado a aceleração lateral (5.2).

$$w = \frac{dHeading_{rad}}{dt} \quad (5.3)$$

#### 5.1.6 Potência Específica do Percurso

Esta medida, conhecida como *Vehicle Specific Power* (VSP), determina a potência específica por unidade de massa do veículo ao longo do percurso. A determinação desta medida baseia-se na equação 5.4. A base do cálculo é o produto da aceleração longitudinal pela velocidade longitudinal. Porém, devido às inclinações a que o veículo se sujeita ao longo de um percurso, ao valor da aceleração longitudinal, soma-se o produto da gravidade com o ângulo de inclinação do veículo em relação ao plano horizontal.

$$P_{esp} = (a_{long} + g * \sin(\theta)) * v_{long} \quad (5.4)$$

O resultado desta variável é um valor de potência expresso em W/kg ou m<sup>2</sup>/s<sup>3</sup>. O ângulo de inclinação do veículo em relação ao plano horizontal, segundo os dados envolvidos no sistema de aquisição, será possível de se obter por vários métodos, permitindo assim um meio de comparação. Um dos métodos baseia-se no das diferenças de altitude (h) e distância percorrida (x) numa amostra temporal, segundo a equação 5.5. Conhecendo esses valores e recorrendo à trigonometria obtém-se o ângulo de inclinação. Por outro lado, já é pretendido com o sistema obter uma medida que mede diretamente a inclinação do veículo com o plano horizontal. Essa medida é o *pitch* e o seu valor já é expresso em graus.

$$\theta = \sin^{-1} \frac{h}{x} \quad (5.5)$$

## 5.2 Filtro de Kalman

Para consolidar as métricas que se obtêm com recurso a pelo menos dois sensores ou cálculos individuais implementou-se um filtro de Kalman que funde estas métricas. Primeiramente descreve-se o seu conceito e posteriormente passa-se à implementação do mesmo.

### 5.2.1 Conceito

O filtro de Kalman é um estimador linear quadrático. Produz uma estimativa de um estado instantâneo de um sistema linear influenciado por ruído branco. Assim sendo, produz estimativas dos valores reais das grandezas medidas, estimando o erro e calculando uma média ponderada entre o valor previsto e o valor medido. As medidas e cálculos baseados em modelos são estimativas [30].

O filtro de Kalman é composto por dois grupos de equações: a fase de previsão e a fase correção. As equações 5.6 e 5.7 descrevem o modelo do sistema. A primeira representa o estado e a segunda representa as medidas. Na equação 5.6, é expresso o cálculo do estado real (“ $x_k$ ”) que depende do estado anterior (“ $x_{k-1}$ ”) multiplicado pelo modelo de transição de estados (“ $A$ ”). Opcionalmente, pode ser adicionado o modelo de entradas de controlo (“ $B$ ”) multiplicado pelo vetor de entradas de controlo (“ $u_k$ ”). A equação 5.7 representa uma amostra (“ $z_k$ ”) do estado real (“ $x_k$ ”), onde (“ $C$ ”) é o modelo de observação e (“ $v_k$ ”) é o ruído branco da amostra.

$$x_k = Ax_{k-1} + Bu_k \quad (5.6)$$

$$z_k = Cx_k + v_k \quad (5.7)$$

No estado de previsão começa-se por estimar o novo estado em função do anterior. Esta operação é realizada através da equação 5.6 que expressa o cálculo do estado real do modelo dinâmico do filtro de Kalman. De seguida, estima-se a covariância (“ $P_k$ ”) através da equação 5.8. A covariância é uma medida de interdependência numérica entre duas variáveis que resulta da incerteza estimada da predição do estado do sistema. Este cálculo depende da matriz “ $A$ ”, do valor anterior da covariância (“ $P_{k-1}$ ”) e do peso dado ao erro da covariância do processo (“ $Q_k$ ”). Os valores calculados no estado de previsão são denominados valores à priori.

$$P_k = AP_{k-1}A^T + Q_k \quad (5.8)$$

Na fase de correção, o estado é atualizado pelo modelo de observação, de modo a que o erro do estado estimado seja minimizado. Os resultados são denominados valores à posteriori e são atualizados em função dos valores à priori determinados no estado de previsão e em função das variáveis de entrada. A equação 5.9 representa o cálculo do ganho (“ $G_k$ ”) do filtro de Kalman. O resultado é obtido através da multiplicação do que seria o ganho “ótimo” do filtro (“ $P_k C^T$ ”) pelo inverso do ruído de covariância da amostra, onde o valor resultante é influenciado pelo peso dado ao ruído da covariância da amostra (“ $R_k$ ”).

$$G_k = P_k C^T (C P_k C^T + R_k)^{-1} \quad (5.9)$$

Após o cálculo do ganho do filtro, procede-se ao cálculo da estimativa do estado atual corrigido segundo a equação 5.10. Para isso recorre-se ao estado calculado na fase de previsão, ao ganho calculado pela equação 5.9 e ao erro da amostra que resulta da equação do modelo do filtro descrita pela Equação 5.7.

$$x'_k = x'_k + G_k (z_k - C x'_k) \quad (5.10)$$

Tendo o estado corrigido, é necessário determinar o novo valor da covariância (“ $P_k$ ”) que será utilizado no próximo ciclo do filtro na fase de previsão. O cálculo é expresso pela equação 5.11, onde “ $I$ ” corresponde à matriz identidade.

$$P_k = (I - G_k C) P_k \quad (5.11)$$

À exceção do ganho do filtro, os valores calculados na etapa de correção, normalmente denominados valores à posteriori, são utilizados na etapa de previsão do ciclo seguinte. Este aspeto torna o filtro num estimador recursivo. Como pesos do filtro existem as matrizes de erro da covariância do processo (“ $Q$ ”) e erro da covariância das amostras (“ $R$ ”). O cálculo dos seus valores é um procedimento difícil e requer uma fase

experimental até se determinar valores apropriados que proporcionem uma boa estimativa dos estados.

### 5.2.2 Implementação

Para a implementação do filtro segundo os conceitos anteriormente descritos, procedeu-se à elaboração de uma classe em *Java* destinada para o efeito. Para isso foi utilizada uma biblioteca de cálculo matricial desenvolvida para essa linguagem de programação. O uso desta biblioteca simplifica bastante a implementação das equações anteriormente descritas.

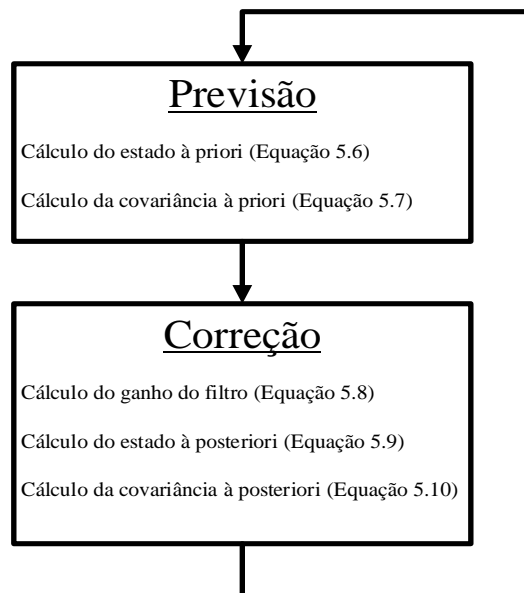


Figura 24 - Fluxograma das iterações do filtro de Kalman

A Figura 24 ilustra o fluxograma das iterações da função que implementa cada ciclo do filtro de Kalman. A função recebe como parâmetros os valores  $Q$ ,  $R$  e as os valores das variáveis que se pretende fundir. Como os parâmetros são enviados em vetores, começa-se por colocar os valores nas respetivas posições nas matrizes a que pertencem. De seguida, começa-se por implementar o estado de predição, onde se processam as equações 5.7 e 5.8. Concluído este estado à priori, passa-se ao estado de correção. Neste são implementadas as equações 5.9, 5.10 e 5.11. A função tem como retorno o valor do estado atual corrigido.

O funcionamento do filtro de Kalman é em modo recursivo: apenas requer a última estimativa do estado do sistema e as medidas para o cálculo do novo estado; não requer

o histórico completo das variáveis que compõem o sistema. Assim sendo, simplifica a implementação do filtro e proporciona a realização das estimativas dos estados em tempo real. Outro fator que pode ser alterado em tempo real é a atribuição dos pesos do filtro, ou seja, a matriz Q e R. Com estes pesos consegue-se ajustar o nível de confiança dado às medidas de cada sensor e à dinâmica do sistema. Ou seja, se na matriz R, o peso de um sensor tender para zero, significa que se pretende dar mais confiança às leituras desse sensor. Por outro lado, com um valor de Q a tender para zero, torna-se a dinâmica do sistema mais confiável, tornando-o mais estável.

O procedimento de atribuição dos valores Q e R não é simples. Porém pensou-se num procedimento que ajuste estas variáveis automaticamente e em tempo real, em função de indicadores de qualidade dos sinais obtidos neste sistema. Ora, as medidas que estão sujeitas a maiores alterações ao longo do tempo são provenientes do GPS, pois dependem de condições externas. Do GPS consegue-se obter o número de satélites e valor da variável HDOP, descrita em 2.3.2, que foram as variáveis escolhidas como indicadores de qualidade dos valores GPS.

Quanto maior o número de satélites, maior o nível de fiabilidade dos dados provenientes do recetor. Por outro lado, quanto maior o valor da variável HDOP, menor o grau de confiança nos resultados obtidos. Com estes dados, pretende-se ajustar automaticamente, na matriz R do filtro de Kalman, o peso dado ao GPS. Conforme estas condições descritas, formalizou-se a equação 5.12.

$$Peso_{GPS} = 0.001 * \frac{HDOP}{Satélites} \quad (5.12)$$

Como referido em 5.2.1, a atribuição dos pesos do filtro é um processo complexo e requer experiências. Este procedimento não garante que os valores determinados sejam os mais apropriados para o controlo do filtro de Kalman.. Apenas faz variar os pesos dados aos sensores em função da qualidade do sinal GPS, o que já representa uma grande vantagem deste sistema.

Em forma de conclusão, desta implementação resultam dois modos de funcionamento: modo manual e modo automático. No modo manual, o utilizador pode livremente definir os pesos Q e R do filtro. No modo automático, o peso do GPS presente na matriz R é calculado automaticamente segundo a equação 5.12.

### 5.3 Desenho da Aplicação *Android*

Esta secção descreve a aplicação *Android*. Inicialmente são descritos os requisitos que fundamentam a estrutura definida para a aplicação, que tem como principal objetivo de funcionalidade o processamento e obtenção das medidas pretendidas.

#### 5.3.1 Requisitos

Antes dos requisitos da aplicação, esta requer que o dispositivo móvel de destino suporte comunicação *Bluetooth*, para que a aplicação se possa ligar ao dispositivo *Bluetooth* presente na placa de aquisição. Sem a existência de uma conexão à placa não é possível visualizar ou processar qualquer dado nem enviar comandos à placa de aquisição.

A aplicação tem de ser capaz de receber e interpretar os dados provenientes da placa de aquisição. Os dados chegam agrupados segundo o formato definido em 4.8. Com base nos valores recebidos da placa de aquisição a aplicação deve calcular a velocidade, altitude, direção, aceleração lateral, potência específica, *Pitch*, *Roll* e *Yaw*, descritas em 5.1.

A aplicação deve aplicar o filtro de Kalman definido em 5.2.2 às variáveis que se pretende fundir, sendo elas a velocidade, direção, altitude, aceleração lateral e potência específica, obtendo um valor único e filtrado para essas mesmas medidas. Ainda relacionado com este filtro, requer-se que a aplicação ofereça o ajuste manual dos pesos *Q* e *R* para cada uma das medidas filtradas.

A aplicação deve suportar todos os comandos da placa de aquisição descritos na Tabela 19. Entre eles encontram-se os comandos de início e fim de gravação de dados e alteração de frequência de aquisição e envio de dados para a aplicação.

Outro requisito da aplicação é o armazenamento dos dados descritos em 5.1, em ficheiro e de forma que fiquem acessíveis ao utilizador independentemente da aplicação. Pretende-se que o utilizador tenha acesso livre aos dados e não corra risco de os perder. No sistema operativo *Android* há dois tipos memória: memória interna e externa. Na primeira, por defeito, os dados guardados pela aplicação apenas são acessíveis pela mesma. Isto é, os dados guardados na memória interna do telemóvel não são acessíveis por outras aplicações nem pelo utilizador e são automaticamente removidos quando a aplicação é desinstalada. O armazenamento de dados em memória externa fica acessível ao utilizador e não é apagado no caso de desinstalação da aplicação.

A aplicação deve ser capaz de manter a conexão *Bluetooth*, o processamento e a gravação de dados em funcionamento mesmo que o utilizador minimize a aplicação para, por exemplo, abrir temporariamente outra aplicação. Deve manter os processos a correr em *background* garantindo que não existe perda de dados. Isto não se aplica ao caso de o utilizador decidir encerrar a aplicação utilizando, por exemplo, o botão *back* do *smartphone* ou forçando o fecho da aplicação no gestor de aplicações .

Por fim, faltam as questões relacionadas com o aspeto gráfico da aplicação. A sua utilização deve ser o mais simples possível no ponto de vista do utilizador. As medidas devem ser mostradas, caso se justifique, em gráfico, permitindo uma melhor interpretação e visualização de histórico numa janela de tempo.

Do ponto de vista de segurança existe um aspeto importante. A aplicação deve zelar o máximo possível pela integridade do ficheiro de dados, quando a gravação de dados está ativa. Por isso, devem ser implementadas ações que fechem o ficheiro quando existir uma ocorrência anormal no funcionamento da aplicação.

### 5.3.2 Estrutura

A aplicação conta com duas *activities*, que servem de ponto de interação do utilizador com a aplicação, conforme ilustrado na figura 25. Quando se inicia a aplicação é criada a “*DeviceList Activity*” onde são localizadas ações relativas ao estado do *Bluetooth* e onde o utilizador seleciona o dispositivo OBD ao qual se quer conectar. Uma vez escolhido um dispositivo, a aplicação transita para a atividade seguinte, a “*Main Activity*”, onde se concretiza todo o processamento dos dados recebidos por *Bluetooth*.

A “*DeviceList Activity*” começa por verificar o estado do *Bluetooth* do telemóvel. Caso se encontre ativo, são imediatamente listados os dispositivos emparelhados com o telemóvel. Caso contrário, permite ativá-lo sem sair da aplicação, recorrendo a um *slide bar*. O emparelhamento com outros dispositivos não foi implementado na aplicação. Pelo que o utilizador deverá previamente emparelhar os dispositivos a partir das definições do telemóvel. Assim que o utilizador seleciona um dispositivo da lista, esta atividade lança a “*Main Activity*”, passando-lhe o endereço do dispositivo *Bluetooth* selecionado.

A “*Main Activity*” começa por tentar estabelecer conexão com o dispositivo. Em caso de sucesso, a *activity* mantém-se e o utilizador tem acesso a todas as funcionalidades. Caso contrário, a aplicação retorna para a *activity* anterior para nova seleção do dispositivo *Bluetooth*. Após a conexão, é enviado para o microcontrolador o comando “WAKEUP” para que este inicialize o processo de recolha e saída de dados e aplicação



permanece em espera de recepção de dados. Após trinta segundos sem recepção de dados, a aplicação retorna à “*DeviceList Activity*”. Por outro lado, se o utilizador pretender retornar, ou em caso de desconexão *Bluetooth*, a “*Main Activity*” é “destruída” e retorna-se à *activity* inicial.

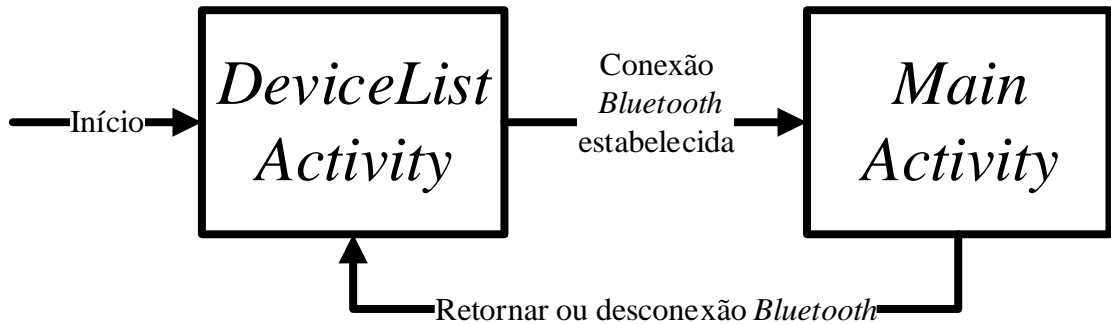


Figura 25 - Diagrama das activities da aplicação Android

Na “*Main Activity*” desencadeiam-se as tarefas principais da aplicação e que são realizadas por duas *threads*. Uma é responsável pela recepção, interpretação, processamento e gravação de dados. A sua frequência de execução é a mesma que o utilizador define para a placa de aquisição de dados. Ou seja, as frequências de aquisição e saída de dados na placa de aquisição e de recepção e saída de dados na aplicação *Android* são comuns. A outra *thread* é responsável apenas pela atualização de dados no ecrã do telemóvel e a frequência é configurável pelo utilizador na aplicação. A implementação destas *threads* fez com que fosse possível minimizar a aplicação sem interferir com o processamento dos dados, pois os processos ficam a correr em *background*.

O funcionamento da *thread* de processamento dos dados é descrito pelo fluxograma presente na Figura 26. À medida que a aplicação recebe os dados caracter a caracter, armazena-os num *buffer* até ser detetada a recepção completa de uma mensagem de dados, descrita em 4.8. O fim de mensagem é detetado através dos “\r” e “\n”, que representam, respetivamente, o caracter de *carriage return* e o caracter de fim de linha. Após a mensagem estar completa, o *buffer* é copiado para uma *string* e fica vazio à espera de novos caracteres. De seguida, desencadeiam-se uma série de ações com os dados presentes na *string*.

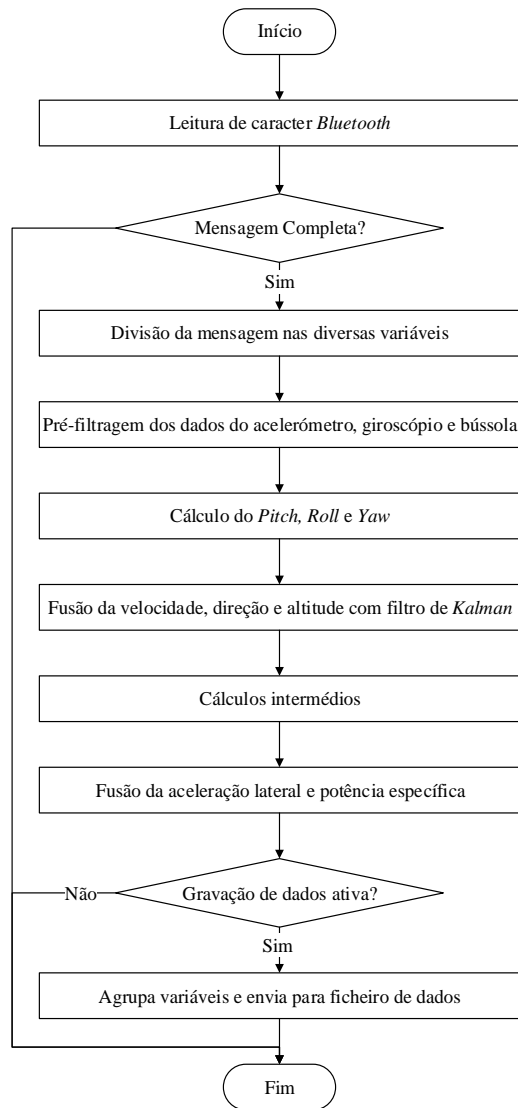


Figura 26 - Fluxograma das ações realizadas aos dados recebidos na aplicação

Os métodos utilizados para realizar as ações descritas na Figura 26 estão organizados em classes, representadas na Figura 27 através de um diagrama *Unified Modeling Language* (UML) de classes.

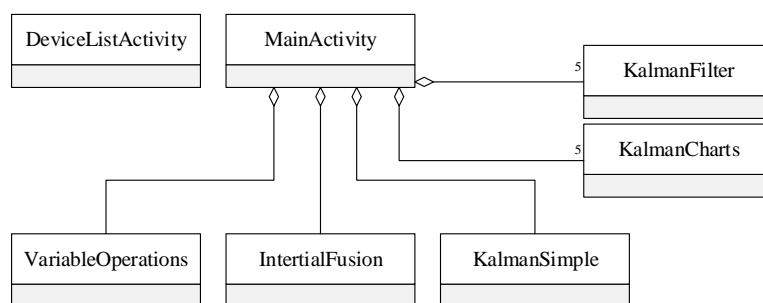


Figura 27 - Diagrama UML das classes

O *parsing* das mensagens é realizado na própria classe da atividade, ou seja, a classe “*Main Activity*”. De seguida, faz-se a pré-filtragem aos dados do acelerómetro, do giroscópio e da bússola. Os métodos utilizados encontram-se na classe “*KalmanSimple*”. Posteriormente, recorre-se aos métodos da classe “*InertialFusion*” que, através dos dados pré-filtrados anteriormente, permitem calcular variáveis tais como o *Pitch*, *Roll* e *Yaw*.

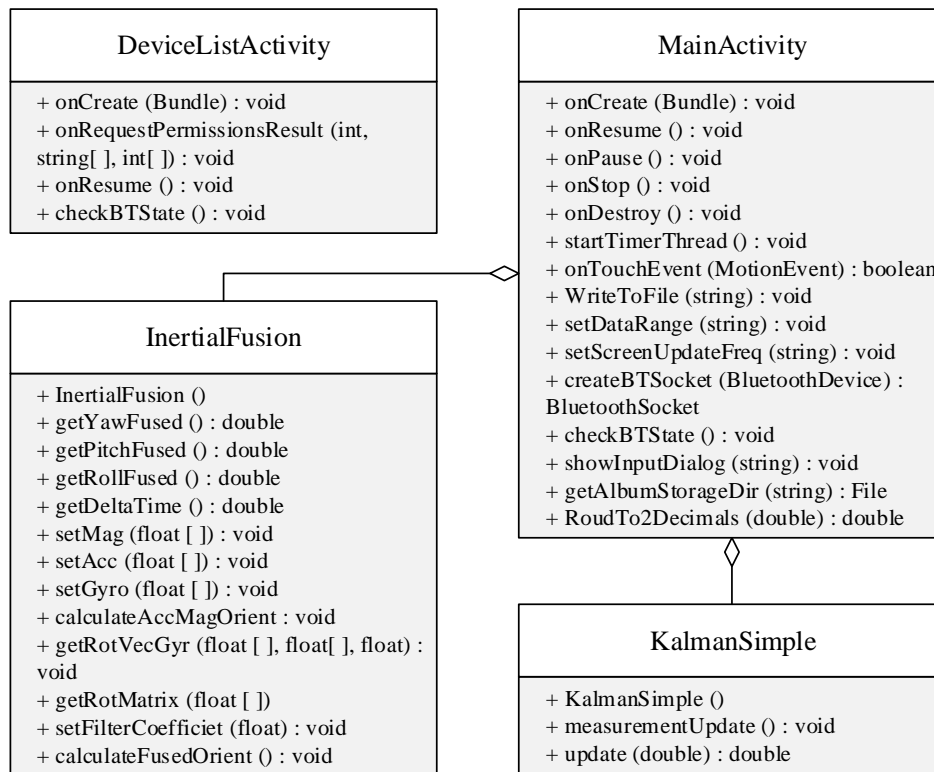


Figura 28 - Diagrama UML das activities, *InertialFusion* e *KalmanSimple*

O passo seguinte é fundir a velocidade, direção e altitude, tal como indicado na Figura 26. Para isso recorre-se aos métodos da classe “*KalmanFilter*”. A fusão da aceleração lateral e da potência específica também recorre aos métodos dessa classe, porém é necessário proceder a cálculos intermédios que são suportados pela classe “*VariableOperations*”. As restantes ações, como gravação dos dados, são realizadas na classe “*Main Activity*”. A questão da gravação de dados, tal como descrito em 5.3.1, tem um requisito importante, que é garantir a integridade do ficheiro de dados, que só é fechado no final da gravação. Para cumprir esse requisito, sempre que a “*Main Activity*” é fechada, o evento de saída verifica se existe algum ficheiro de dados aberto. Se existir fecha-o garantindo, assim, que este permaneça intacto no caso, por exemplo, de uma desconexão à placa de aquisição, ou até, caso o telefone fique sem bateria.

A *thread* responsável pela atualização dos dados visualizados nos diversos ecrãs da “*Main Activity*” recorre aos métodos presentes na classe “*KalmanCharts*” para atualizar os gráficos das variáveis que são fundidas pelo filtro de Kalman. Cada um dos gráficos tem três séries de dados: duas correspondem às variáveis de entrada do filtro de Kalman, e a terceira corresponde à variável de saída.

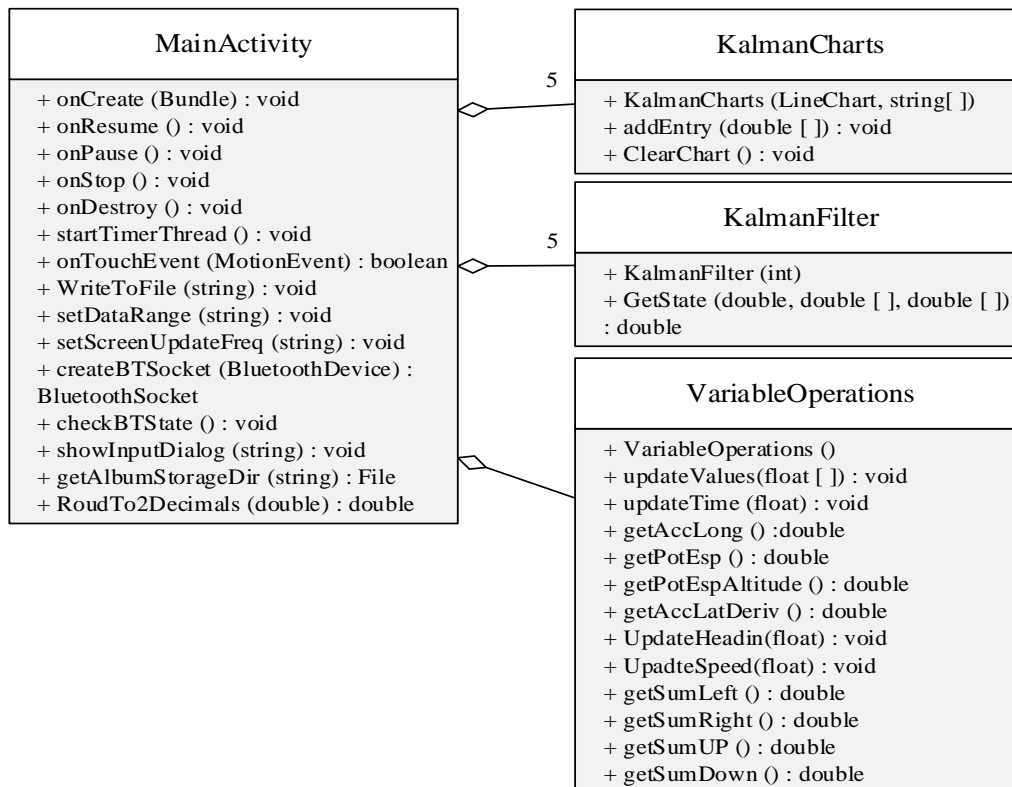


Figura 29 - Diagrama UML da classe *KalmanCharts*, *KalmanFilter* e *VariableOperations*

Como se pode verificar na Figura 29, a relação entre a “*Main Activity*” e as classes “*KalmanFilter*” e “*KalmanCharts*” é de um para cinco, pois estas classes suportam cada um dos cinco gráficos apresentados: velocidade, altitude, direção, aceleração lateral e potência específica do percurso. As restantes ligações entre classes são de um para um. Isto deve-se ao facto de a aplicação tratar de forma isolada cada uma das variáveis que é fundida com o filtro Kalman. Esta implementação do filtro proporciona, por exemplo, a vantagem de simplificar a atribuição às diferentes medidas, diferentes pesos *Q* e *R*.

No que fiz respeito a bibliotecas utilizadas no desenvolvimento da aplicação *Android*, para além das APIs da *Google*, que servem de base aos projetos realizados nesta plataforma, utilizaram-se duas: a “*MPAndroidChart*” e a “*JAMA*”. Ambas são bibliotecas *opensource*. A primeira foi utilizada na geração dos gráficos para visualização

das variáveis fundidas com o filtro de Kalman. Suporta diversos tipos de gráficos e configurações. Neste projeto recorreu-se apenas aos gráficos de linhas. A segunda corresponde a uma biblioteca de cálculo matricial. A própria *Google API* já contém algum desenvolvimento em matrizes, mas esta simplifica bastante todas as operações necessárias, pois contém já os métodos necessários para, por exemplo, determinar matrizes transpostas e multiplicar matrizes. A Figura 30 representa o diagrama de camadas desde o *Android*, que é a camada inferior, até à aplicação, que corresponde à camada superior.

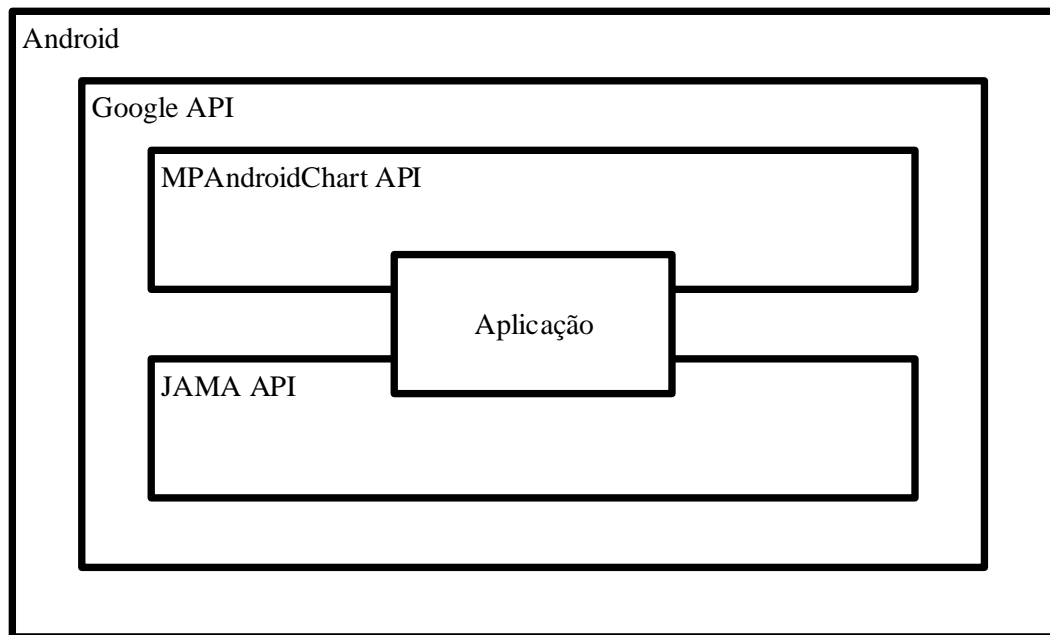


Figura 30 - Diagrama de camadas da aplicação Android

### 5.3.3 Processamento e Saída de Dados

Na memória do telemóvel são guardados todos os dados existentes no sistema. Para evitar perdas de dados, no ficheiro criado no telemóvel são guardados os dados provenientes da placa de aquisição e os dados calculados pela aplicação móvel descritos em 5.1. Optou-se por guardar os dados na memória externa do telemóvel. Para isso, é necessária permissão do utilizador para escrita na memória externa do telemóvel.

A Figura 31 representa um diagrama que descreve a filtragem de maior parte das variáveis envolvidas no sistema.

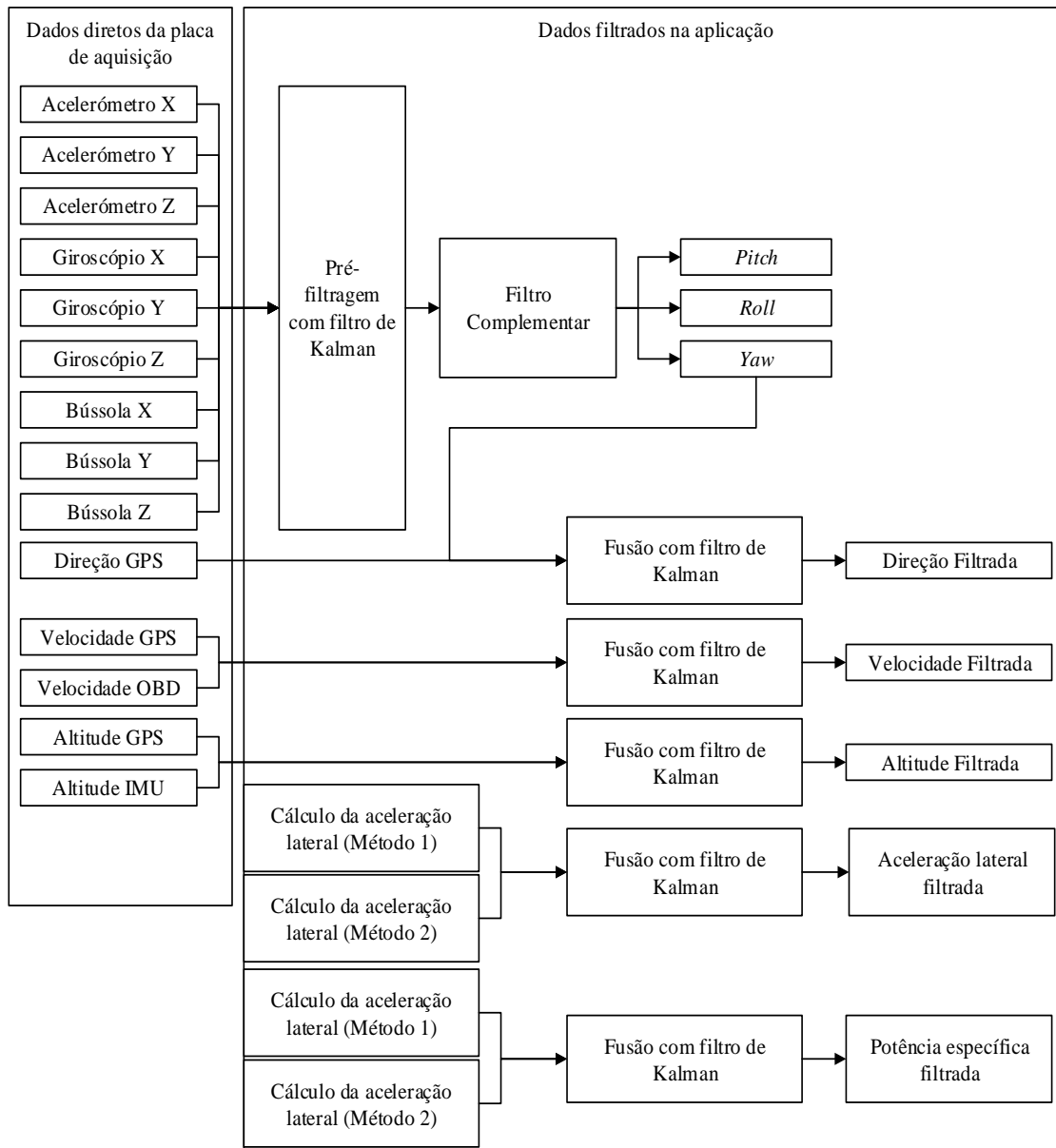


Figura 31 - Filtragem de dados na aplicação

Como algumas variáveis são calculadas a partir de dados filtrados não constam na Figura 31. Resultam desta implementação trinta e oito variáveis que são distribuídos por colunas de dados no ficheiro. Os dados foram posicionados estrategicamente de forma a facilitar análises posteriores. Na Tabela 20 encontram-se os cabeçalhos e as descrições das variáveis que são guardadas no ficheiro de dados do telemóvel. Em comparação com a Tabela 17, que apenas descreve os dados provenientes diretamente dos sensores da placa de aquisição, esta engloba as variáveis filtradas ou calculadas pela aplicação.

Tabela 20 - Descrição dos dados guardados na memória do Smartphone

<b>Cabeçalho</b>	<b>Descrição</b>
<b>RUN_TIME</b>	Tempo desde arranque do microcontrolador
<b>DELTA_TIME</b>	Diferença entre amostra e amostra anterior
<b>SATS</b>	Número de satélites
<b>HDOP</b>	Valor da variável utilizada como indicador de qualidade do sinal. Quanto menor for o seu valor, maior será a fiabilidade da amostra recolhida
<b>LATITUDE</b>	Latitude da posição da amostra
<b>LONGITUDE</b>	Longitude da posição da amostra
<b>ACCEL_X</b>	Valor do eixo x do acelerómetro filtrado
<b>ACCEL_Y</b>	Valor do eixo y do acelerómetro filtrado
<b>ACCEL_Z</b>	Valor do eixo z do acelerómetro filtrado
<b>GYRO_X</b>	Valor do eixo x do giroscópio filtrado
<b>GYRO_Y</b>	Valor do eixo y do giroscópio filtrado
<b>GYRO_Z</b>	Valor do eixo z do giroscópio filtrado
<b>MAG_X</b>	Valor do eixo x do magnetómetro filtrado
<b>MAG_Y</b>	Valor do eixo y do magnetómetro filtrado
<b>MAG_Z</b>	Valor do eixo z do magnetómetro filtrado
<b>SPEED_GPS</b>	Velocidade proveniente do GPS
<b>SPEED_OBD</b>	Velocidade proveniente do OBD
<b>SPEED_FILTERED</b>	Velocidade resultante do filtro de Kalman
<b>ALTITUDE_GPS</b>	Altitude proveniente do GPS
<b>ALTITUDE_IMU</b>	Altitude proveniente do barómetro da IMU
<b>ALTITUDE_FILTERED</b>	Altitude resultante do filtro de Kalman
<b>HEADING_GPS</b>	Direção proveniente do GPS
<b>HEADING_IMU</b>	Direção proveniente da IMU
<b>HEADING_FILTERED</b>	Direção resultante do filtro de Kalman
<b>ACC_LAT_GYRO</b>	Aceleração lateral proveniente da velocidade angular do giroscópio dividido o seu valor pelo tempo da amostra (DELTA_TIME)

<b>ACC_LAT_HEAD</b>	Aceleração lateral proveniente da derivação da diferença da direção resultante do filtro de Kalman (HEADING_FILTERED)
<b>ACC_LAT_FILTERED</b>	Aceleração lateral resultante do filtro de Kalman
<b>POT_ESP_PITCH</b>	Potência específica calculada com recurso ao <i>Pitch</i> do veículo e à velocidade resultante do filtro de Kalman (SPEED_FILTERED)
<b>POT_ESP_ALTITUDE</b>	Potência específica calculada através da diferença de altitude e à velocidade resultante do filtro de Kalman (SPEED_FILTERED)
<b>POT_ESP_FILTERED</b>	Potência específica resultante do filtro de Kalman
<b>ACCE_LONG</b>	Aceleração longitudinal resultante da derivação da velocidade filtrada (SPEED_FILTERED)
<b>PITCH</b>	Ângulo em relação ao eixo y resultante da fusão do acelerómetro, giroscópio e bússola.
<b>ROLL</b>	Ângulo em relação ao eixo x resultante da fusão do acelerómetro, giroscópio e bússola.
<b>SUM_UP</b>	Soma das subidas de altitude recorrendo às variações positivas da altitude filtrada (ALTITUDE_FILTERED)
<b>SUM_DOWN</b>	Soma das descidas de altitude recorrendo às variações negativas da altitude filtrada (ALTITUDE_FILTERED)
<b>SUM_LEFT</b>	Soma das diferenças de direção no sentido contrário aos ponteiros do relógio. A direção utilizada no cálculo é a direção filtrada (HEADING_FILTERED). A soma é dividida por 360° sendo que este é um indicador de voltas completas em torno do eixo z.
<b>SUM_RIGHT</b>	Soma das diferenças de direção no sentido dos ponteiros do relógio. A direção utilizada no cálculo é a direção filtrada (HEADING_FILTERED). A soma é dividida por 360° sendo que este é um indicador de voltas completas em torno do eixo z.
<b>GPS_TIME</b>	Tempo do relógio proveniente das mensagens recebidas do módulo GPS



## 5.4 Interface com o Utilizador

Quando se executa o ficheiro de instalação da aplicação é necessário realizar alguns procedimentos normais do sistema operativo *Android* no que diz respeito à instalação de aplicações de “fontes desconhecidas”. É necessário ir às definições do dispositivo e ativar as permissões de instalação destas aplicações. Após este passo já é possível instalar a aplicação. Durante o processo será requerido ao utilizador as permissões anteriormente descritas. Pelo que este deve aceitá-las.

### 5.4.1 Conexão à Placa de Aquisição

Como descrito na secção anterior, o telemóvel necessita de comunicar via *Bluetooth*. O primeiro passo foca-se da conexão à placa de aquisição. Antes de iniciar a aplicação, o utilizador necessita de ir às definições do *smartphone* para proceder ao emparelhamento dispositivos dois dispositivos. O dispositivo da placa tem a designação “HC-06\_MODULE”. O emparelhamento com o dispositivo requer a inserção de uma palavra passe. Nestas situações, geralmente estes códigos são “0000” ou “1234”. Para este módulo, o utilizador deve inserir “1234”. Após este processo já se pode prosseguir à abertura da aplicação. A Figura 32 ilustra o procedimento descrito.



Figura 32 - Emparelhamento dos dispositivos Bluetooth

Ao iniciar a aplicação o utilizador depara-se com um de dois ecrãs possíveis. Se for apresentado o ecrã da Figura 33a significa que o *Bluetooth* está desligado. O procedimento será ativá-lo através do *slide bar* implementado para o efeito. Caso seja

apresentado o ecrã presente na Figura 33b, significa que a ligação já se encontra estabelecida.



Figura 33 - Ecrãs iniciais da aplicação. a) Bluetooth desligado; b) Bluetooth ligado

Quando o *Bluetooth* no telemóvel está ativo, são mostrados os dispositivos que se encontram emparelhados com o do utilizador. Neste ponto, o utilizador deve selecionar o dispositivo correspondente à placa de aquisição. Por vezes pode ocorrer um erro de ligação relacionado com tempo excessivo na tentativa de conexão dos dispositivos. Este fenómeno não depende dos procedimentos do utilizador uma vez que é intrínseco ao sistema. Porém, repetindo o procedimento normalmente a conexão estabelece-se com sucesso.

Após a conexão à placa de aquisição ter sido estabelecida, inicia-se a *activity* seguinte que contém múltiplos ecrãs cada um com o seu *layout*. Para trocar de ecrã desliza-se para a esquerda ou direita, consoante o pretendido. A aplicação disponibiliza uma vista de comando, onde se encontram os botões e configurações que comandam a placa de aquisição e, em alguns casos, a aplicação. Noutro tipo de vista visualiza-se valores instantâneos de algumas variáveis. Por fim, existe a vista medidas em gráfico, onde, como o próprio nome indica, as variáveis são amostradas sob a forma de um gráfico.

#### 5.4.2 Vista de Comando

A vista de comando, ilustrada na Figura 34, é apresentada logo após a conexão à placa estar estabelecida e disponibiliza o painel de controlo de todas as configurações implementadas para comando da placa de aquisição.

Ao clicar no botão gravar é desencadeada a ordem de início de gravação no cartão SD da placa de aquisição e é também criado um ficheiro para gravação de dados no telemóvel. Após a confirmação da receção da mensagem de início de gravação por parte da placa de aquisição, o botão de gravar é desativado e os botões de pausar e parar são ativados.

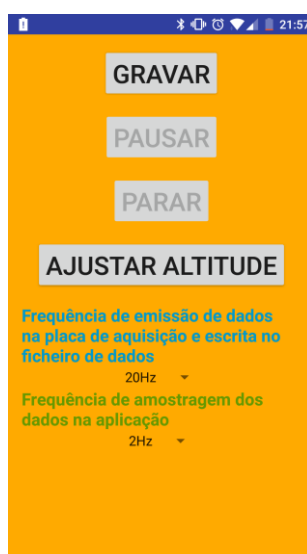


Figura 34 - Ecrã principal da aplicação

O botão “PAUSAR” destina-se a parar momentaneamente a escrita de dados em ambos os ficheiros. Apesar dessa paragem os dados continuam a ser mostrados. Deste modo, faz que seja possível, após a pausa pretendida, continuar a gravação de dados no mesmo ficheiro ao invés de desencadear a criação de um novo. Além deste apeto, tem-se a possibilidade, por exemplo, de querer verificar o impacto do ajuste da altitude ou dos pesos do filtro de Kalman, sem registar os dados no ficheiro. Após pausar, pode-se continuar a gravação de dados clicando novamente no botão, cuja designação passou a ser “CONTINUAR”, ou então terminar completamente escrita de dados através do clique no botão “PARAR”.

O botão “PARAR” envia para a placa a mensagem de paragem de gravação de dados. Este botão requer especial atenção uma vez que o fecho do ficheiro da placa apenas é executado aquando desta ordem de paragem. Assim sendo, se esta ação não for desencadeada pode-se perder o ficheiro criado pelo microcontrolador.

Ao clicar no botão “AJUSTAR ALTITUDE” são mostradas duas opções de ajuste: ajuste da altitude através da inserção de uma altitude local conhecida ou ajuste da altitude através da pressão atmosférica local conhecida.

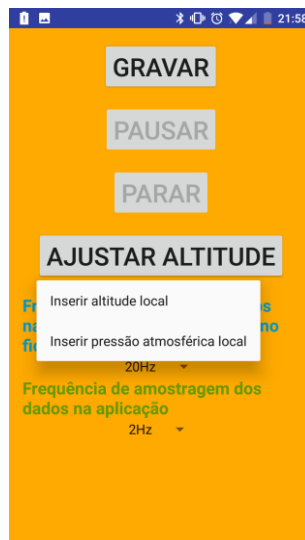


Figura 35 - Ajuste da altitude na aplicação Android

Na primeira opção, inserindo a altitude local, é enviada uma mensagem com o valor da altitude que o utilizador escrever numa caixa de texto que será apresentada. Essa mensagem após processada pelo microcontrolador desencadeia o cálculo da pressão em função da altitude dada pelo utilizador.

Por outro lado, se o pretendido for um ajuste da altitude através da inserção de um valor de pressão atmosférica, no microcontrolador apenas é alterada a variável que guarda o valor de pressão definido por defeito.

Na vista de comando, além dos botões de controlo da gravação de dados, é possível configurar, duas frequências: frequência de aquisição de dados na placa e escrita de dados nos ficheiros, e a frequência de atualização dos valores na interface da aplicação móvel. A Figura 36 ilustra os valores possíveis de configurar em cada caso.

Para o primeiro caso estão disponíveis algumas frequências entre 1Hz e 20Hz. Esta frequência define o período em que o microcontrolador desencadeia a função de leitura e envio de dados para o cartão SD da placa e para a aplicação. Deste modo, indiretamente também controla o período de gravação de dados no ficheiro do telemóvel uma vez que este escreve no ficheiro cada vez que recebe uma mensagem de dados provenientes da placa de aquisição. Por defeito a placa está definida para uma frequência de 20Hz. Usando

o maior valor disponível aumenta-se a eficácia de algumas métricas uma vez que os dados são atualizados num espaço de tempo inferior.

No caso da frequência de atualização dos valores na interface da aplicação móvel o utilizador pode seleccionar um valor entre 1Hz e 5Hz. Esta funcionalidade destina-se apenas à aplicação *Android* e apenas em termos visuais, ou seja, permite ao utilizador definir o período pretendido para atualização dos dados quer numéricos quer gráficos. Por defeito este valor está definido com 2Hz.



Figura 36 - Configurações das frequências no menu principal

Todas as alterações aos valores predefinidos dos controlos da aplicação ficam guardadas no telemóvel para posteriores utilizações e, aquando da abertura da aplicação é automaticamente enviada para o microcontrolador a frequência seleccionada.

#### 5.4.3 Disponibilização de Variáveis de Forma Instantânea

O ecrã onde é possível observar o valor instantâneo de algumas métricas está exemplificado na Figura 37. Os número de satélites em vista, HDOP, latitude e longitude são valores meramente informativos provenientes diretamente dos dados recebidos pelo GPS. O *Pitch* e o *Roll* também são mostrados neste ecrã. Os seus valores são mostrados em graus (°) e resultam da implementação de um filtro complementar sobre os valores provenientes da matriz de rotação. Esta implementação foi descrita em 5.1.1. Estes valores, juntamente com o *Yaw*, ditam a atitude instantânea do veículo. O *Yaw* não está

representado neste ecrã uma vez que é utilizado na direção do veículo e é apresentado no ecrã respetivo.



The screenshot shows a mobile application interface with a yellow background. At the top, there is a status bar with icons for signal, Wi-Fi, and battery, and the time 22:00. Below the status bar, the data is presented in two columns. The first column contains labels and values: Satélites (0), Latitute (0.0), Pitch (1.0), Descidas (0.35), Voltas Esq. (0.0), and Aceleração Longitudinal (0.0). The second column contains labels and values: HDOP (0), Longitude (0.0), Roll (1.72), Subidas (0.39), and Voltas Dir. (0.0). At the bottom of the screen, there is a grey button labeled 'RESET SOMAS'.

Satélites	HDOP
0	0
Latitute	Longitude
0.0	0.0
Pitch	Roll
1.0	1.72
Descidas	Subidas
0.35	0.39
Voltas Esq.	Voltas Dir.
0.0	0.0
Aceleração Longitudinal	
0.0	
RESET SOMAS	

Figura 37 - Ecrã onde se encontram os dados visualizados em formato numérico

Além destes valores, são também mostrados o acumulado dos somatórios das subidas e descidas. Este valor resulta das diferenças de altitude ao longo do percurso percorrido. As voltas à esquerda e as voltas à direita correspondem aos somatórios de incrementos e decrementos da variação da direção. Esse valor é dividido pelo valor de uma volta completa, ou seja  $360^\circ$ , dando origem ao valor ilustrado nos campos correspondentes a estas variáveis. Se o utilizador desejar recomeçar a contagem destas quatro métricas tem a possibilidade de fazê-lo clicando no botão “RESET SOMAS” também presente no ecrã. Este botão apenas desencadeia o processo de atribuir às variáveis em questão o valor zero. A aceleração longitudinal também é apresentada neste ecrã.

#### 5.4.4 Disponibilização de Variáveis em Gráfico

Para facilitar a visualização e interação com o filtro de Kalman, as variáveis que passam por este processo são mostradas num ecrã à parte com recurso a um gráfico. Essas variáveis são a velocidade, altitude, direção, aceleração lateral e potência específica. A Figura 27 exemplifica um desses ecrãs, o da altitude. Os cinco ecrãs em termos de opções e funcionalidades são clones uns dos outros. Mas a nível de configurações dos parâmetros (Q e R) do filtro, o utilizador pode configurar cada um deles individualmente.

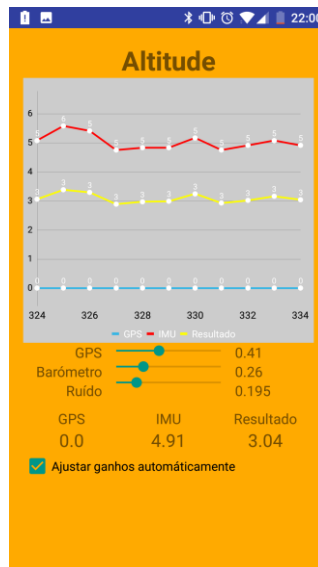


Figura 38 - Visualização das variáveis processadas com o filtro de Kalman

O gráfico mostra as entradas e a saída do sistema, no caso a altitude vinda do GPS e do barómetro como entrada e a altitude fundida como saída. O utilizador tem a liberdade de configurar os pesos da matriz R de cada um dos sensores nos *slide bar* e consegue visualizar as alterações em tempo real. Também é possível controlar o peso Q, cujo o *slide bar* é designado por ruído uma vez que o peso Q está associado ao erro do processo, como descrito em 5.2.1. Com método pode-se facilmente desligar uma entrada para o cálculo da saída através do ajuste dos parâmetros do filtro, dando importância máxima à outra entrada. A janela do gráfico está limitada a exibir dez amostras. Porém é possível deslizar o gráfico para a frente e para trás caso se pretenda visualizar dados anteriores. Ações como zoom também estão implementadas nos gráficos.

Os valores numéricos que se encontram por baixo do nome das variáveis correspondem ao seu último valor. A frequência de amostragem de dados nos gráficos é configurável no menu principal da aplicação. De igual modo aos valores das frequências que são guardados nos dados da aplicação, estas configurações também são guardadas garantindo deste modo, que os valores permanecem de utilizações para utilizações.

A *checkbox* permite ativar ou desativar o ajuste automático dos pesos do filtro de Kalman. Este ajuste foi descrito na secção 5.2.2.

## 5.5 Exportação de Trajetos

Os ficheiros *Keyhole Markup Language* (KML) destinam-se à visualização de dados de itinerários, pontos, entre outras formas no *Google Earth* ou *Google Maps*. Com este tipo de ficheiros conseguimos facilmente ilustrar o percurso realizado através da latitude e longitude adquiridas com o sistema de aquisição. Existem páginas na internet que convertem dados de latitude e longitude de formatos específicos neste tipo de ficheiros, porém requerem que os dados estejam organizados sob formatos específicos, como por exemplo, respeitando uma ordem e separados por vírgulas. Para fornecer o mesmo tipo de facilidade e comodidade para os ficheiros gravados na placa de aquisição e guardados pela aplicação *Android* desenvolveu-se uma aplicação em C#.NET que rapidamente cria o ficheiro KML através de qualquer um dos ficheiros gerados pelo sistema de aquisição. Deste modo, o executável recebe como argumento a localização do ficheiro que contem os dados do ciclo de condução, processa esse ficheiro e cria o ficheiro KML com os dados pretendidos. Este método torna esta operação bastante simples uma vez que apenas tem-se de arrastar o ficheiro de dados sobre o executável e este automaticamente inicia as ações que serão descritas a seguir. O funcionamento é descrito pelo fluxograma presente na Figura 39.

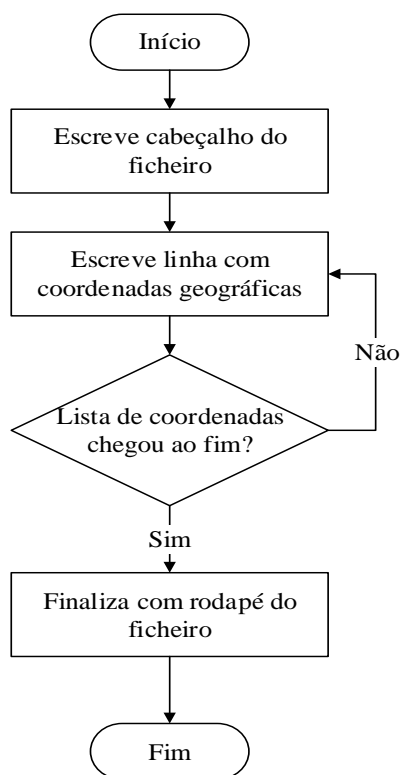


Figura 39 - Fluxograma da criação de ficheiros KML



Ao criar o ficheiro começa-se por escrever o cabeçalho com as configurações pretendidas. Neste ponto pode-se configurar, entre outras, como se quer mostrar a trajetória, por exemplo, através de pontos ou linhas. Após a criação do cabeçalho inicia-se a escrita dos diversos pontos em ciclo. Por cada iteração escreve-se a localização atual e a localização anterior. Por fim, quando todas as linhas estiverem registadas no ficheiro, é necessário concluir adicionando o conteúdo que finaliza o ficheiro.



## 6. RESULTADOS

Neste capítulo são descritos os resultados obtidos dos testes realizados ao sistema de aquisição e filtragem de dados. São ilustrados resultados provenientes de percursos diferentes. Apresenta-se graficamente os resultados das gravações realizadas bem como os percursos utilizados em mapa, resultado do procedimento descrito em 5.7.

### 6.1 Ficheiros de Dados

Os dados obtidos estão divididos em dois ficheiros presentes em locais distintos, segundo o descrito em 4.8 e 5.3.3. No cartão de memória da placa encontram-se os dados diretos dos sensores ao passo que no telemóvel encontram-se os dados filtrados. Os ficheiros são do tipo CSV e podem ser lidos facilmente com a ferramenta *Microsoft Excel*, como ilustra a Figura 40.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	RUN_TIME	DELTA_T	SATS	HDOP	LATITUDE	LONGITUDE	ACCEL_X	ACCEL_Y	ACCEL_Z	GYRO_X	GYRO_Y	GYRO_Z	MAG_X	MAG_Y	MAG_Z	SPEED_GP	SPEED_OE	SPEED_FIL	ALTITUDE	ALTITUDE	
2	410061	0.0509999	9.0	100.0	41.450237	-8.293735	0.77	-0.27	10.24	-2.91	2.15	-9.92	521.64	-195.96	155.48	0.0	0.0	0.0	196.3	199.09	197.66
3	411369	1.3079999	9.0	100.0	41.450237	-8.293735	0.83	-0.16	10.16	-0.31	3.03	-11.19	523.48	-195.04	138.92	0.0	0.0	0.0	196.3	199.09	197.61
4	411394	0.0250000	9.0	100.0	41.450237	-8.293735	0.8	-0.16	10.32	-1.24	0.28	-11.71	523.48	-195.96	134.32	0.0	0.0	0.0	196.3	199.09	197.68
5	411443	0.0489999	9.0	100.0	41.450237	-8.293735	0.87	-0.24	10.4	-1.17	0.65	-11.46	521.64	-197.8	143.52	0.0	0.0	0.0	196.3	198.75	197.54
6	411492	0.0489999	9.0	100.0	41.450237	-8.293735	0.8	-0.29	10.13	-2.55	3.47	-9.73	521.64	-194.12	145.36	0.0	0.0	0.0	196.3	198.75	197.53
7	411543	0.0509999	9.0	100.0	41.450237	-8.293735	0.77	-0.22	10.11	-4.44	2.3	-9.44	523.48	-196.88	134.32	0.0	0.0	0.0	196.3	198.75	197.51
8	411593	0.0500000	9.0	100.0	41.450237	-8.293735	0.79	-0.04	10.28	-0.87	2.25	-11.26	524.4	-195.96	149.96	0.0	0.0	0.0	196.3	198.67	197.45
9	411642	0.0489999	9.0	100.0	41.450237	-8.293735	0.86	-0.24	10.24	-5.24	0.28	-10.23	522.56	-195.04	144.44	0.0	0.0	0.0	196.3	198.67	197.46
10	411694	0.0520000	9.0	100.0	41.450237	-8.293735	0.77	-0.17	10.19	-0.26	4.34	-10.67	524.4	-195.04	139.84	0.0	0.0	0.0	196.3	198.67	197.44
11	411743	0.0489999	9.0	100.0	41.450237	-8.293735	0.8	-0.15	10.31	-1.75	3.65	-10.0	522.56	-195.96	147.2	0.0	0.0	0.0	196.3	198.84	197.54
12	411792	0.0489999	9.0	100.0	41.450237	-8.293735	0.8	-0.25	10.26	-0.13	3.86	-10.7	521.64	-195.96	142.6	0.0	0.0	0.0	196.3	198.84	197.56
13	411843	0.0509999	9.0	100.0	41.450237	-8.293735	0.83	-0.15	10.15	0.24	2.0	-11.13	523.48	-197.8	139.84	0.0	0.0	0.0	196.3	198.84	197.56
14	411893	0.0500000	9.0	100.0	41.450237	-8.293735	0.8	-0.26	10.19	-2.28	0.98	-11.61	522.56	-197.8	139.84	0.0	0.0	0.0	196.3	198.84	197.56
15	411942	0.0489999	9.0	100.0	41.450237	-8.293735	0.72	-0.2	10.36	-3.48	0.06	-11.22	523.48	-194.12	144.44	0.0	0.0	0.0	196.3	198.84	197.56
16	411994	0.0520000	9.0	100.0	41.450237	-8.293735	0.74	-0.2	10.5	0.46	3.26	-10.67	522.56	-196.88	138.92	0.0	0.0	0.0	196.3	198.84	197.56
17	412044	0.0500000	9.0	100.0	41.450237	-8.293735	0.85	-0.31	10.27	-2.69	2.04	-10.88	524.4	-189.52	125.12	0.0	0.0	0.0	196.3	198.5	197.44
18	412092	0.0480000	9.0	100.0	41.450237	-8.293735	0.82	-0.19	10.18	-1.08	2.22	-11.5	522.56	-190.44	125.12	0.0	0.0	0.0	196.3	198.5	197.41
19	412143	0.0509999	9.0	100.0	41.450237	-8.293735	0.81	-0.24	10.36	-0.99	2.62	-11.16	522.56	-187.68	109.48	0.0	0.0	0.0	196.3	198.5	197.46
20	412193	0.0500000	9.0	100.0	41.450237	-8.293735	0.89	-0.25	10.21	-3.03	2.81	-10.06	522.56	-192.28	133.4	0.0	0.0	0.0	196.3	198.92	197.55
21	412242	0.0489999	9.0	100.0	41.450237	-8.293735	0.83	-0.22	10.12	-4.47	1.24	-11.39	523.48	-186.76	125.12	0.0	0.0	0.0	196.3	198.92	197.55

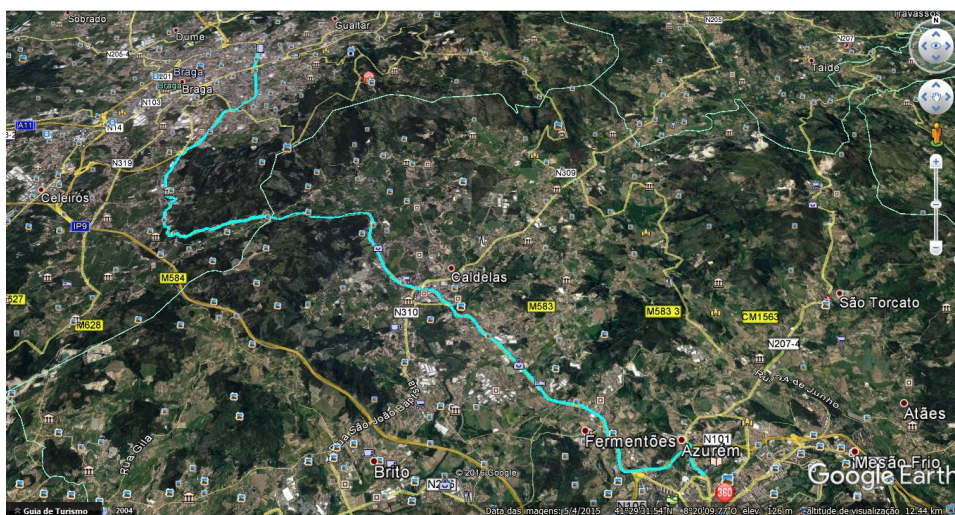
Figura 40 - Ficheiro de dados no Microsoft Excel

A partir destes ficheiros consegue-se fazer livremente gráficos, estatísticas, entre outros, dos dados guardados dos ciclos de condução. Porém, em alguns casos, pode ser previamente exigido pelo menos um procedimento. Os valores decimais são guardados recorrendo ao ponto. Assim sendo, se o *Excel* utilizado para ler o ficheiro recorrer à virgula como separador decimal, será necessário configurá-lo para utilizar o ponto como

separador ou então substituir nos dados o ponto por vírgula. Sem estas alterações o *Excel* interpreta os dados como texto ao invés de números.

## 6.2 Percursos

Para se obter os resultados do sistema de aquisição de dados foram realizados três percursos diferentes. O primeiro corresponde a um percurso entre Guimarães e Braga pela estrada Nacional 101. Teve início na passadeira junto à entrada da Universidade do Minho em Guimarães e terminou na zona da torre Europa, perto do Braga Parque em Braga, como ilustra a Figura 41. Com este percurso pretendeu-se verificar principalmente os resultados do GPS.



*Figura 41 - Percurso entre Guimarães e Braga pela estrada Nacional 101. Distância percorrida de 22,6 km em 27 minutos e 29 segundos*

Para verificar os resultados dos acelerómetros, giroscópios e da bússola procedeu-se à execução de um percurso citadino nos arredores de Vila do Conde. Como ilustra a Figura 42, passou-se por cinco rotundas.



*Figura 42- Primeiro percurso citadino*

Porém, após análise dos resultados obtidos verificou-se a necessidade de realizar alguns ajustes à implementação para corrigir um problema detetado nos sensores inerciais e para realizar alterações nos cálculos do *Yaw*. Assim sendo, procedeu-se novamente à realização de um percurso citadino na mesma zona, mas diferente do anterior. A Figura 43 representa esse percurso.



*Figura 43 - Segundo percurso citadino*

Para verificar a consistência da posição ao longo das diversas passagens numa das rotundas obteve-se o resultado ilustrada na Figura 44. Verifica-se que o resultado dado pelo GPS não é perfeito, mas apresenta uma consistência muito boa e um desvio posicional que é desprezável.

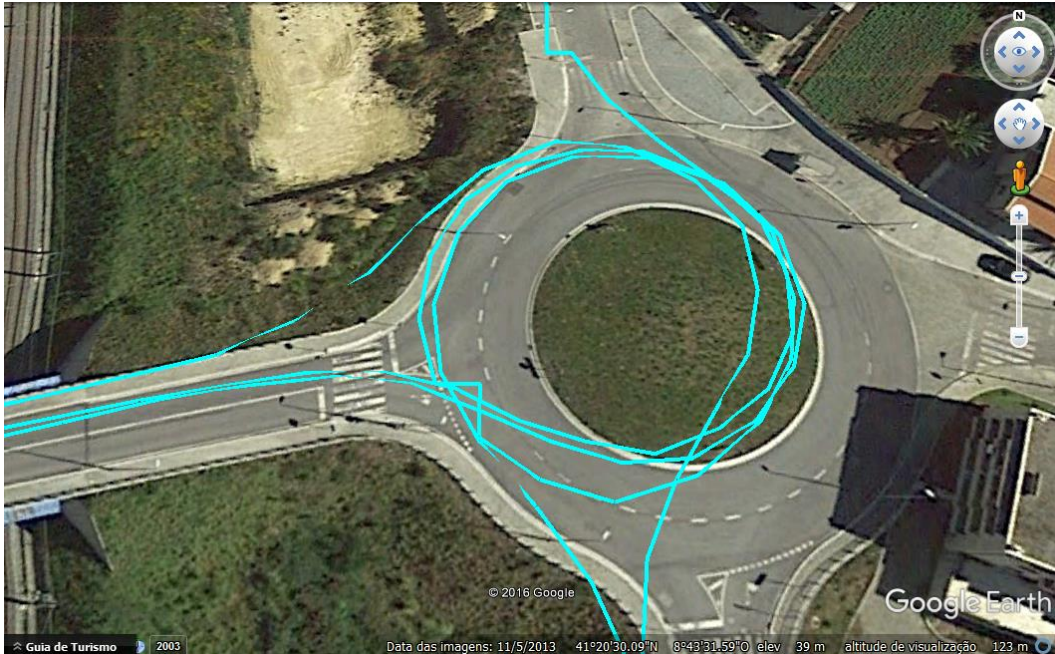


Figura 44 - Verificação da posição nas diferentes passagens numa rotunda

### 6.3 Acelerómetro

Os valores provenientes do acelerómetro ilustram as acelerações perante os três eixos que integram o sensor. Este sensor é influenciado pela força gravítica da Terra. Prova disso é o facto do eixo vertical (eixo z) permanecer constantemente com um valor próximo dos  $9,8 \text{ m/s}^2$ , sendo este o valor aceleração gravítica. Além disso, este sensor é afetado pelo ruído branco. A Figura 45 ilustra o resultado do sensor ao longo de um percurso.

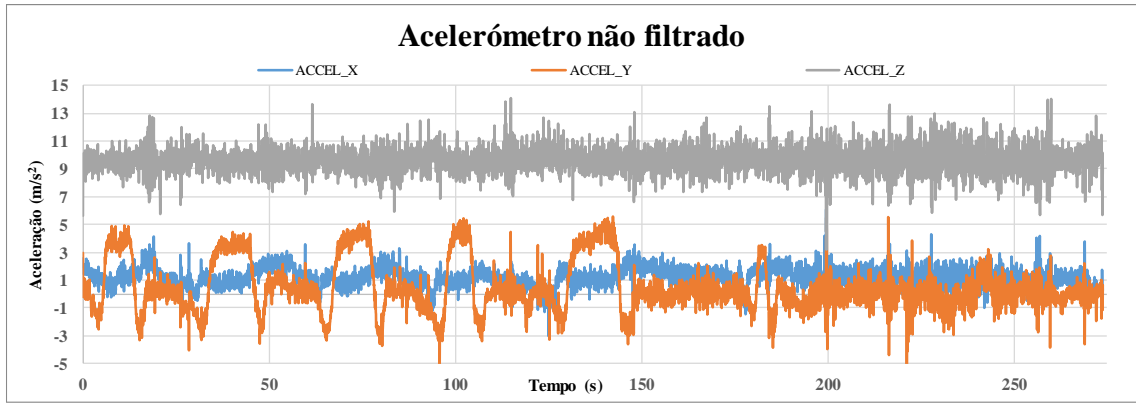


Figura 45 - Resultados sem filtros do acelerómetro

Para melhorar o sinal obtido procedeu-se à filtragem dos três eixos com recurso a um filtro de Kalman. Este estimou a evolução dos sensores produzindo uma saída que, segundo ilustra a Figura 46, aparenta ter removido grande parte do ruído inicial.

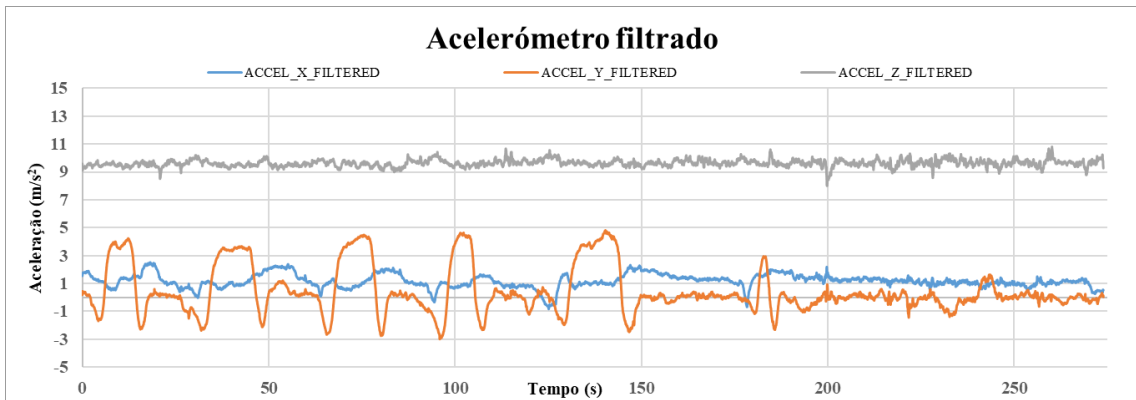


Figura 46 - Resultados com filtros no acelerómetro

Analisando o resultado do eixo x, o valor médio estará muito próximo de 1 m/s<sup>2</sup>. Seria esperado um valor mais próximo de 0 m/s<sup>2</sup>. Ora, isto pode dever-se ao facto de a placa estar com alguma inclinação.

$$A = g \sin \theta \quad (6.1)$$

Segundo a equação 6.1, em que “A” representa o valor médio do eixo x (1 m/s<sup>2</sup>) e “g” a força gravítica, obtém-se que a placa no decorrer deste teste estaria com uma inclinação para baixo de cerca de 6 graus. As oscilações no eixo y, cujo os valores atingem os 4 m/s<sup>2</sup> correspondem à passagem pelas quatro rotundas consecutivas.

A Figura 47 ilustra os resultados sobrepostos do acelerómetro. Foi destacada uma zona do gráfico para permitir visualizar melhor a influência do filtro de Kalman.

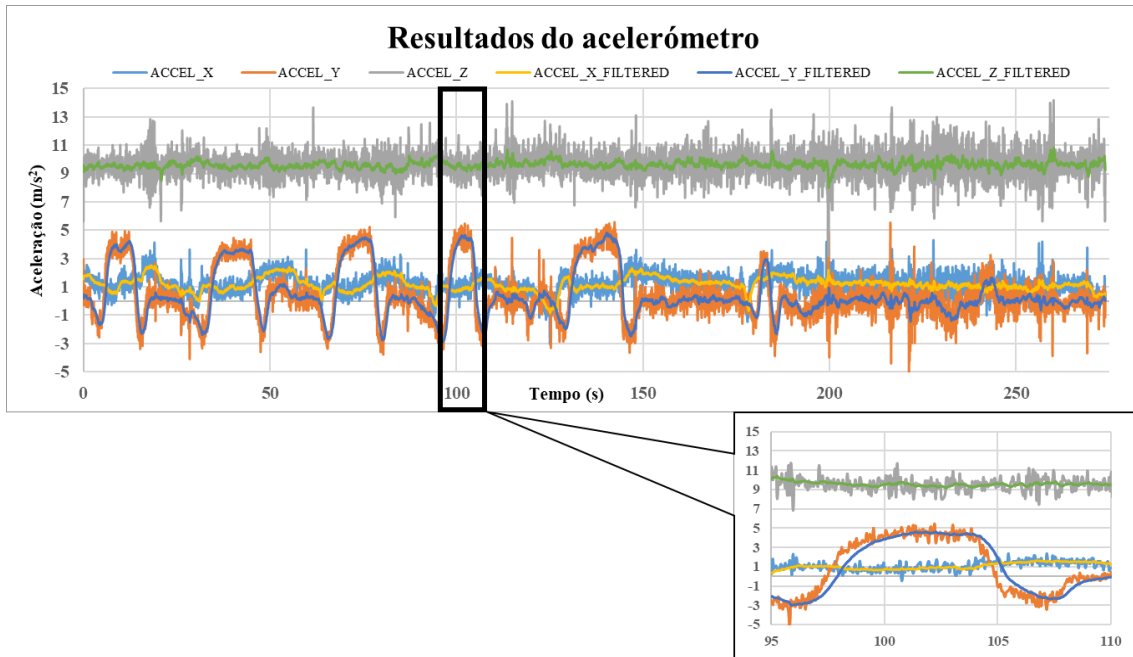


Figura 47 - Resultados obtidos do acelerómetro (com e sem filtro)

#### 6.4 Giroscópio

Deste sensor resultam as velocidades angulares segundo os três eixos. Este sensor também é bastante afetado pelo ruído branco, tal como se verifica na Figura 48. Na mesma figura são apresentados os resultados após filtragem. Com este sensor consegue-se de forma rápida e precisa determinar mudanças de orientação no percurso. Nos resultados verifica-se perfeitamente neste sensor a diferença de velocidade angular no eixo vertical (eixo z) causada pela passagem em cinco rotundas consecutivas no percurso utilizado para gerar estes dados. As rotações atingiram valores de 0,4 rad/s.



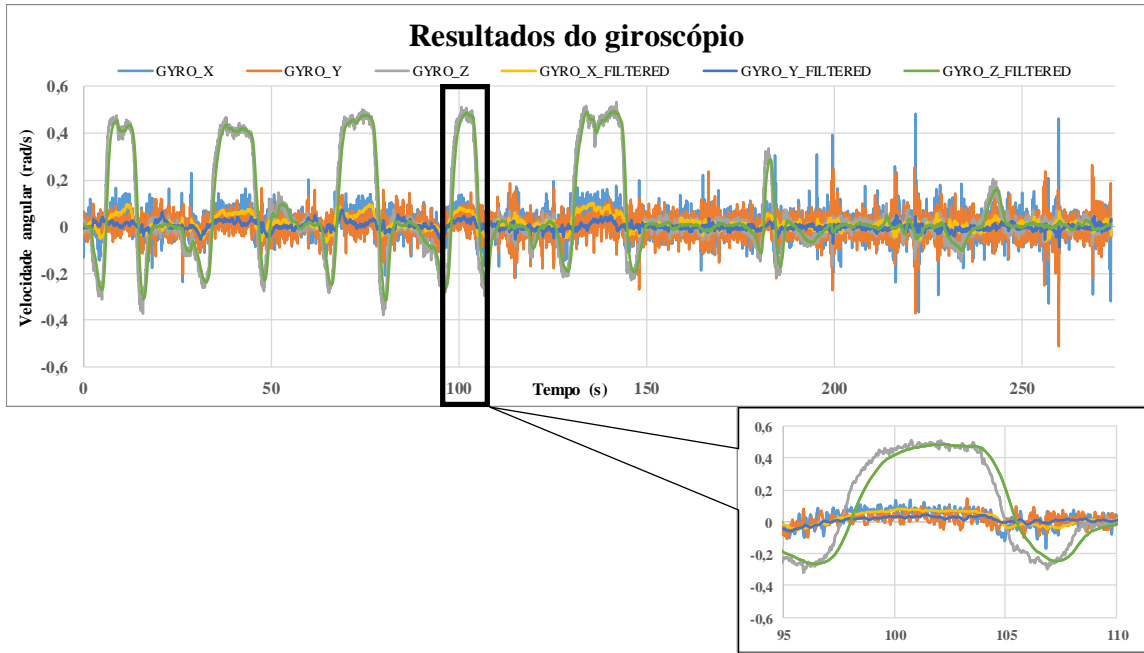


Figura 48 - Resultados obtidos do giroscópio (com e sem filtro)

## 6.5 Bússola

Este sensor tem como saída o valor do campo magnético aplicado a cada um dos eixos. O valor é expresso em micro Tesla ( $\mu\text{T}$ ). Na Figura 49 verifica-se que, sem relação aos sensores anteriores apresenta ter um nível menor de ruído branco.

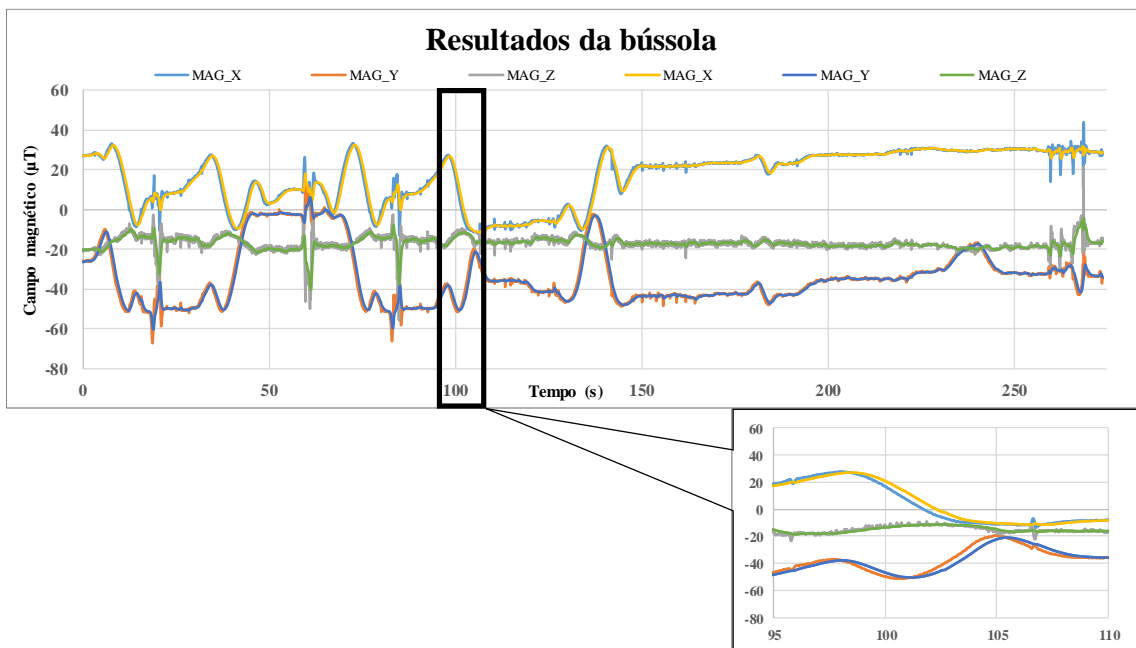


Figura 49 - Resultados obtidos da bússola (com e sem filtro)

Este sensor é muito influenciado por superfícies ou objetos magnéticos. Verifica-se no fim do percurso ilustrado na imagem o aparecimento de oscilações que poderão ter sido causadas por interferência magnética. Assim sendo, tal como os sensores anteriores, este também passa pelo processo de filtragem com filtro de Kalman, cujo o resultado também está presente na Figura 49. Estes dados, juntamente com os dados do acelerómetro e giroscópio, foram utilizados, tal como descrito em 5.1.1, no cálculo do *Pitch*, *Roll* e *Yaw*. No filtro de Kalman para filtragem dos dados do acelerómetro, giroscópio e bússola utilizou-se um Q com valor de 0,0001 e um R igual a 0,001.

## 6.6 Velocidade

Como já foi referido anteriormente, a velocidade obtém-se através de duas fontes diferentes. A Figura 50 apresenta o resultado dessas duas fontes. Verifica-se que os valores ao longo do tempo do percurso são muito próximos. A taxa de atualização da velocidade GPS é menor que a do OBD. Este facto leva à ocorrência de algum atraso do valor do GPS. Já a velocidade OBD é bastante precisa.

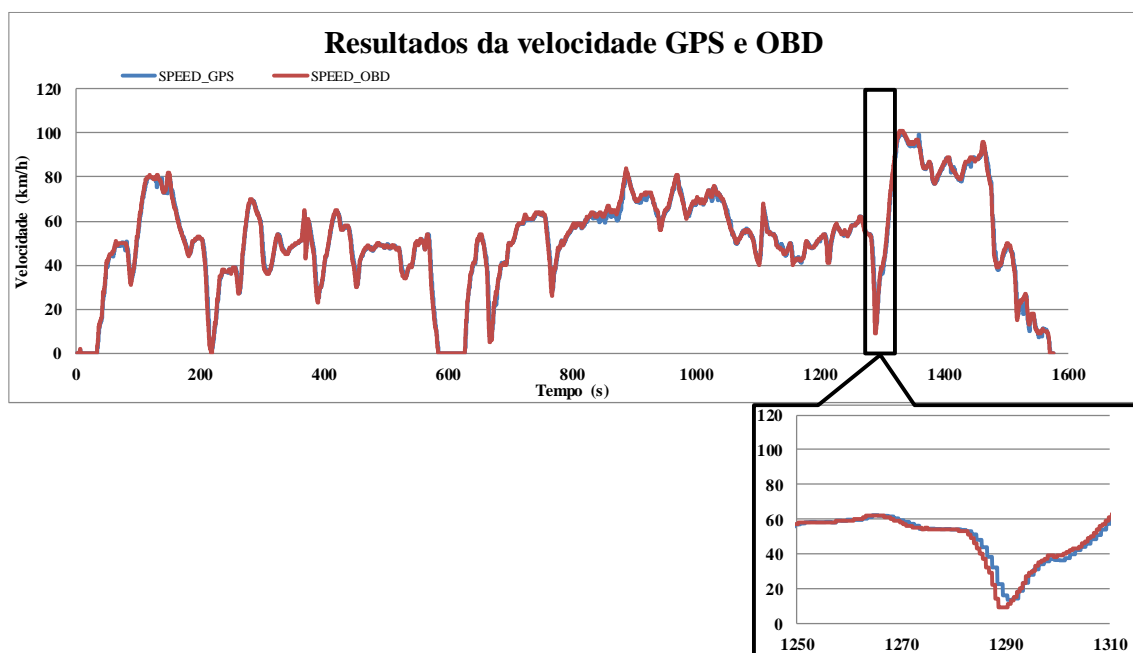


Figura 50 - Comparação da velocidade GPS e OBD

Apesar dos resultados aparentarem ser bastante próximos, estas variáveis são fundidas num único valor cujo o resultado está presente na Figura 51. Neste teste, os pesos Q e R utilizados tinham valor igual a 1, que é o valor definido por defeito. Com a

velocidade calcula-se a distância do percurso. Neste percurso foram percorridos cerca de 22 km. A diferença de distância entre o resultado do GPS e do OBD foi cerca de 40 metros. O OBD apresentou um resultado superior. Porém, nem sempre este resultado é válido, pois verificou-se casos em que a distância era superior no GPS. Em todo caso, perante o percurso realizado, uma diferença de 40 metros pode ser considerada um bom resultado.

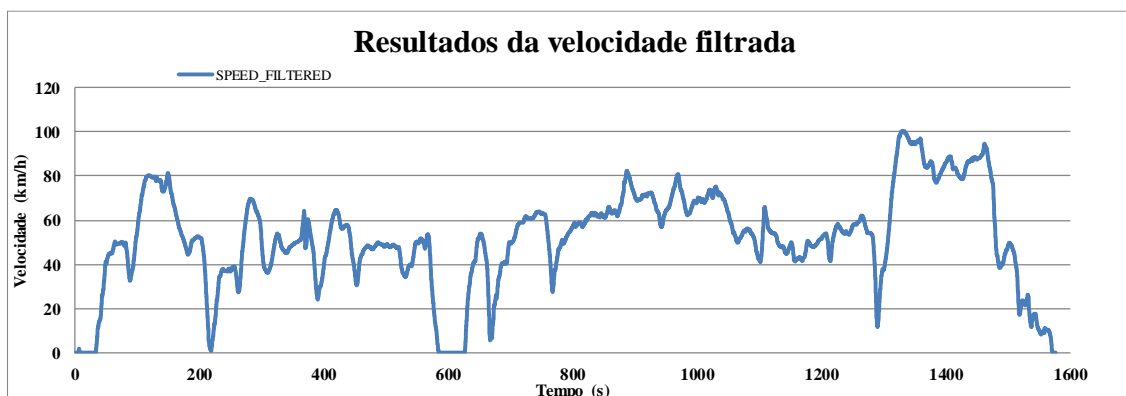


Figura 51 - Resultado da filtragem da velocidade

## 6.7 Altitude

Outra variável que se pretende obter é a altitude. Este valor provém do sensor GPS e do barómetro presente na IMU. No barómetro, o valor da pressão atmosférica é calculado em comparação à pressão ao nível médio das águas do mar. Porém, quando a placa é inicializada este sensor deve ser calibrado pois as pressões atmosféricas variam com frequência. A Figura 52 ilustra o resultado de um teste em função do tempo sem calibração do barómetro.

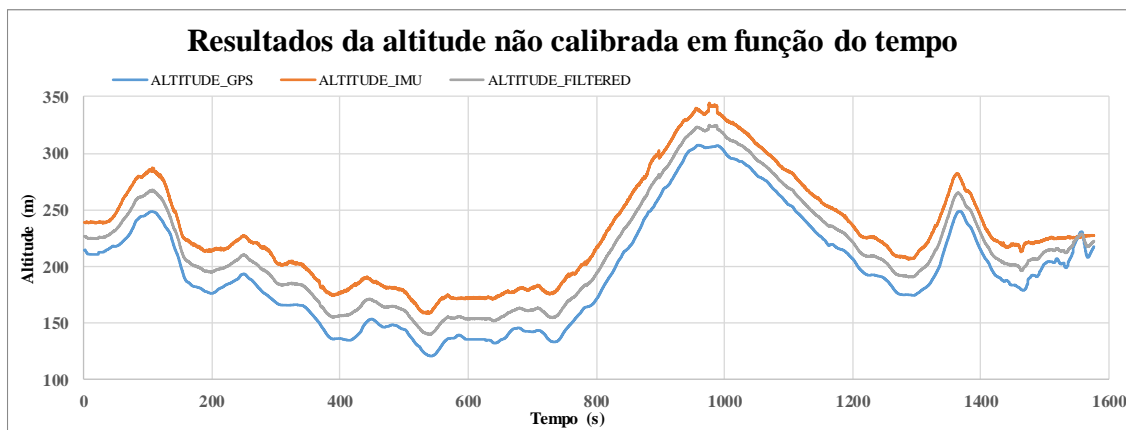


Figura 52 - Resultado da altitude não calibrada ao longo do tempo para o percurso Azurém-Braga

SE não calibrado, o sensor proporciona uma saída com um *offset* relativamente ao valor do GPS. A Figura 53 apresenta o mesmo resultado proveniente do mesmo teste, porém apresenta a altitude em função do espaço. Esta forma de apresentação descreve com mais rigor a variação de altitude ao longo percurso, uma vez que não apresenta as paragens ao longo do percurso.

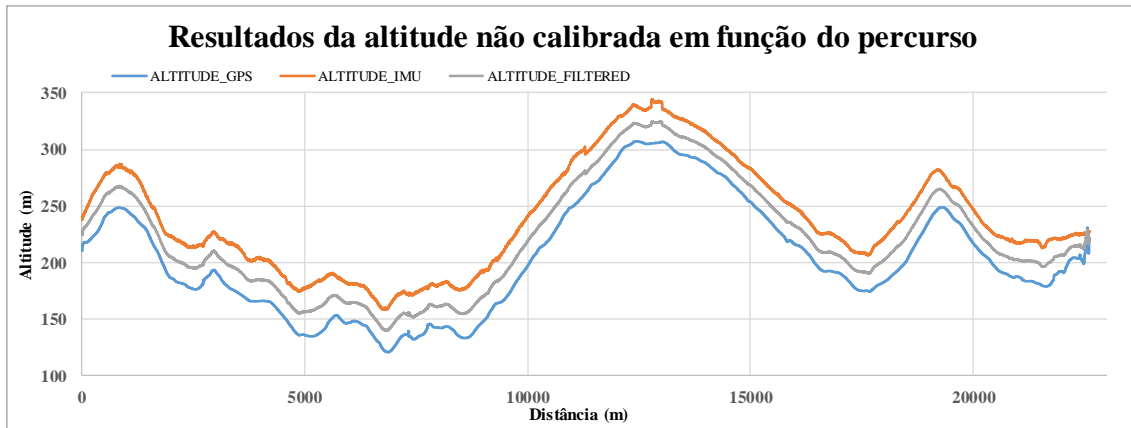


Figura 53 - Resultado da altitude não calibrada em função da distância percorrida

Posteriormente aos resultados anteriores, realizou-se um novo teste ao mesmo percurso, mas desta vez com calibração do barómetro na passadeira à entrada da UM para um valor de 199 m, em acordo com o *Google Maps*. Desta vez verificou-se um resultado muito semelhante dos dois sensores, presente na Figura 54. Verifica-se algumas oscilações em ambos sensores, porém o filtro de Kalman que funde as duas variáveis suaviza essas oscilações.

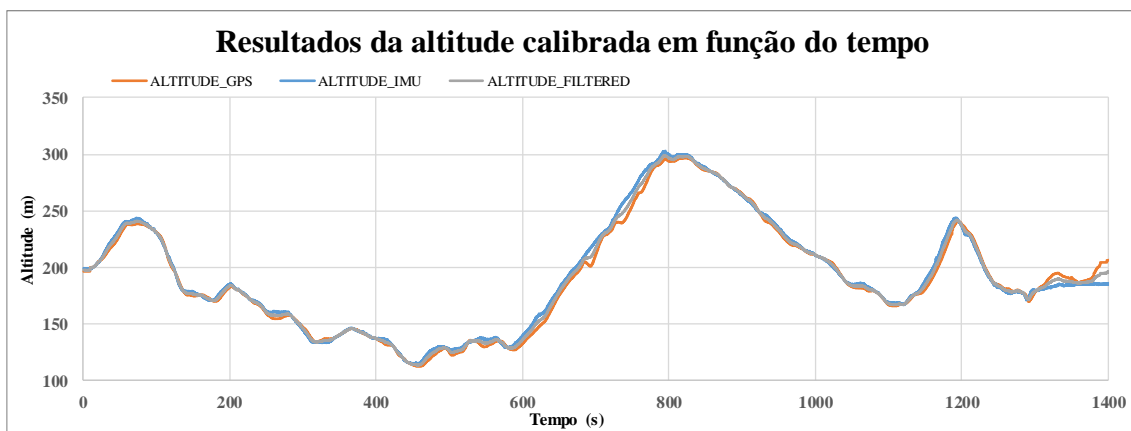


Figura 54 - Resultado da altitude calibrada no tempo

Na Figura 54, verifica-se um acontecimento importante. Na fase final do percurso o automóvel encontra-se numa zona de cidade rodeada de prédios. Ora, a altitude do GPS subiu cerca de 20 metros em relação à altitude do barómetro. Isto demonstra houve uma perda de eficácia do sinal GPS. Neste caso, os pesos dos dois sensores no filtro de Kalman seriam muito próximos um do outro, uma vez que a saída do filtro é próxima de um valor médio das entradas. Porém, com o modo automático são este tipo de situações que se pretende corrigir de forma automática. Neste caso, seria necessário dar maior importância à medida realizada pelo barómetro.

A Figura 55 expressa o resultado da altitude, com o barómetro calibrado, em função do espaço. Como já referido, permite verificar o perfil do percurso uma vez que não incluiu paragens ao longo deste. Todos os resultados da altitude foram obtidos com os pesos do filtro de Kalman com valor igual 1.

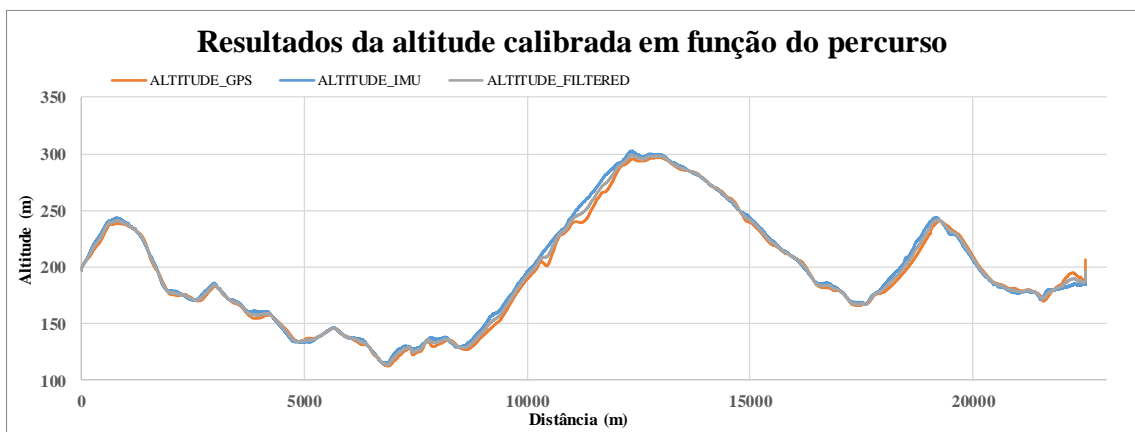


Figura 55 - Resultado da altitude calibrada no espaço

## 6.8 Direção

Para ilustrar a direção em relação ao norte geográfico recorreu-se à utilização desta medida em graus. A Figura 56 compara os resultados obtidos na direção GPS e na direção calculada através do filtro complementar (implementado na aplicação *Android*) que funde as variáveis da IMU recorrendo às matrizes de rotações para sensores de movimento da API da *Google*, tal como descrito em 5.1.1. Devido à representação das variáveis em graus, as linhas verticais presentes no resultado desta medida devem-se à passagem da direção de 360° para 0° e vice-versa.

Ao longo do percurso verifica-se a existência de um *offset* entre a direção de GPS e a direção da IMU. Para validar qual dos resultados é o mais fiável analisou-se um troço do percurso. Através do mapa verificou-se que o ângulo relativamente ao Norte é cerca de  $130^\circ$  (ligeiramente inferior à direção SE). Assim sendo, conclui-se que o valor obtido a partir do GPS é claramente melhor.

Um procedimento para corrigir estas diferenças seria a implementação de uma calibração semelhante ao método utilizado para calibrar a altitude proveniente do barómetro com a altitude fornecida pelo GPS. Outros procedimentos seriam melhorar a implementação ou ajustar os coeficientes do filtro complementar e ajustar os pesos do filtro de Kalman dando mais peso ao GPS. Na direção a partir da IMU, o valor do coeficiente utilizado no filtro complementar foi 0,98.

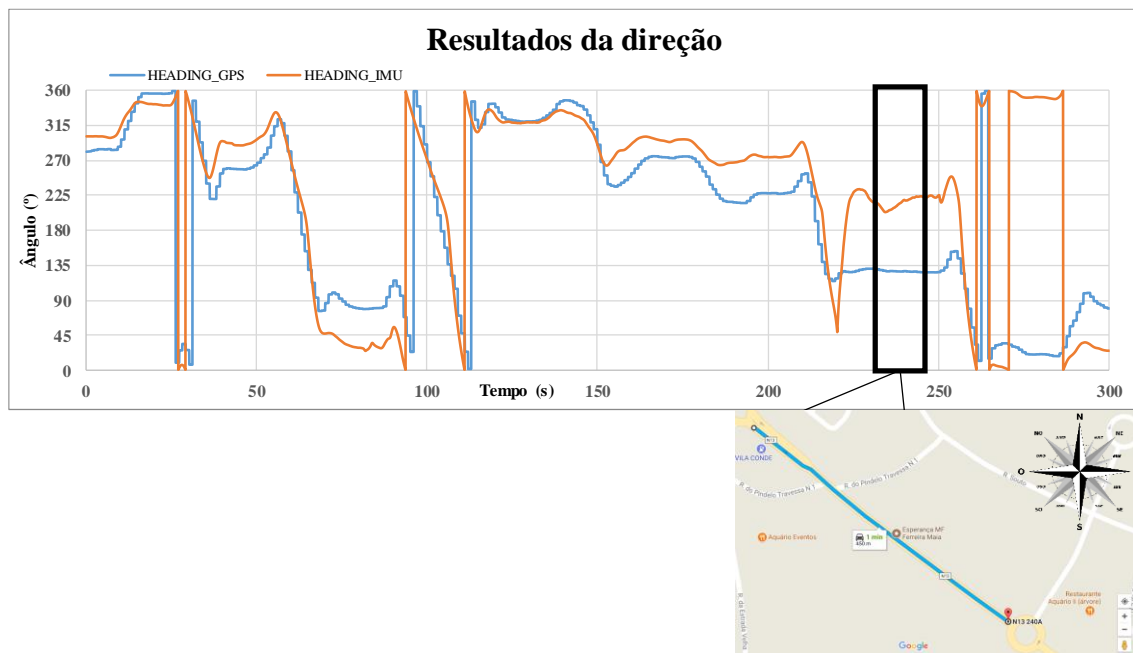


Figura 56 - Comparação dos resultados da direção

## 6.9 Aceleração Longitudinal

A aceleração longitudinal obtém-se diretamente da derivação da velocidade no tempo. Como referido anteriormente, a velocidade é obtida através do GPS e do OBD. A Figura 57 ilustra compara o valor obtido através dos dois meios. Compara-se também com a variação de velocidade. Comparando os dois resultados verifica-se que são consistentes um com o outro. Já o resultado da velocidade tinha indicado essa

similaridade. Verificam-se algumas diferenças principalmente no diz respeito à amplitude das oscilações que podem ser justificadas pelo atraso do sinal proveniente do GPS.

Comparando com a velocidade, verificam-se valores positivos da aceleração aquando o aumento da velocidade e valores negativos da aceleração quando a velocidade longitudinal diminui.

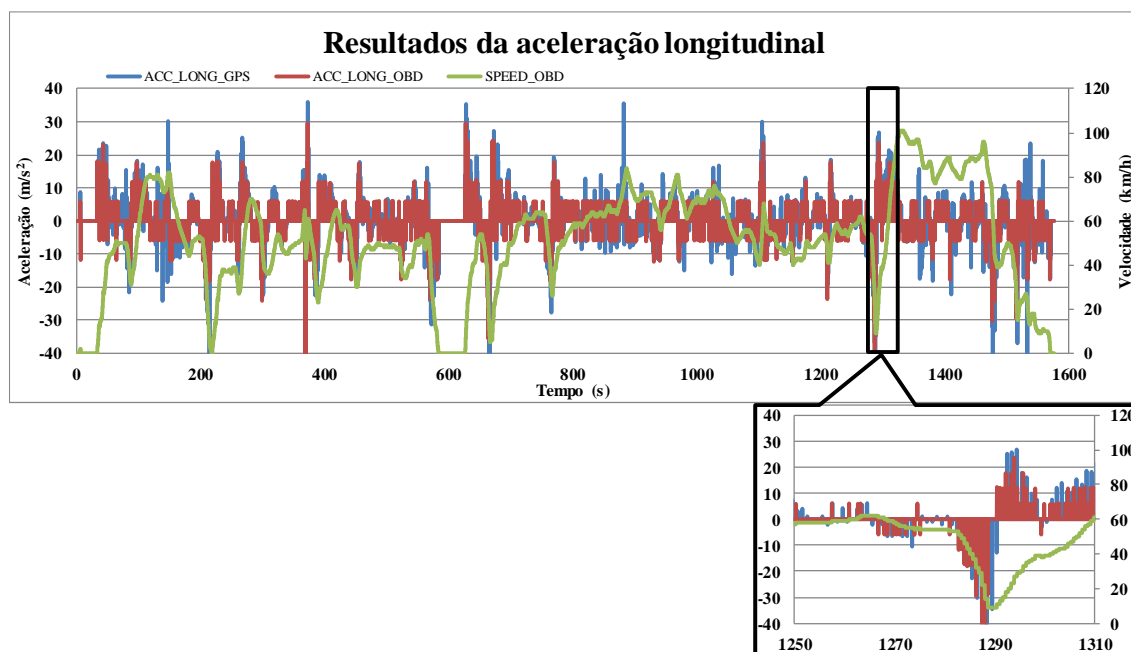


Figura 57 - Resultados da aceleração longitudinal

### 6.10 Aceleração Lateral

Para o cálculo aceleração lateral pretendia-se comparar a velocidade angular do giroscópio com a derivada da direção do GPS (*Heading*) no tempo, segundo a equação 5.3, ambas multiplicadas pela velocidade longitudinal. O cálculo através da derivada da direção do GPS origina um resultado em forma de degraus, devido à baixa taxa de atualização do GPS (1 Hz). Esta curva apresenta, pela mesma razão, um atraso na ordem de 1 segundo.

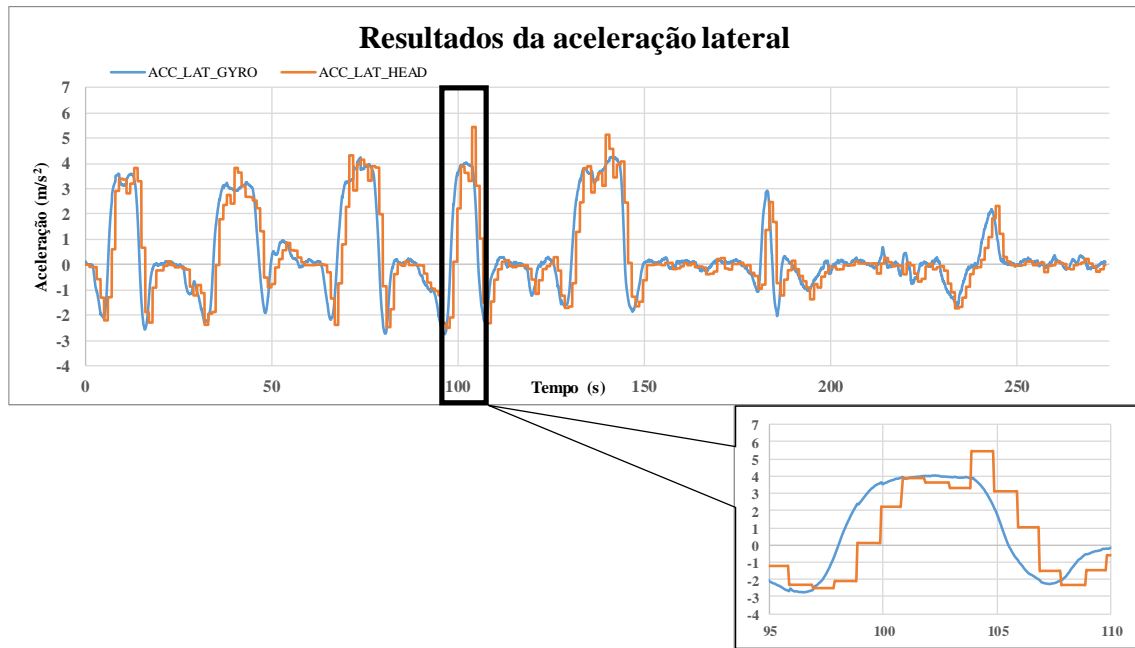


Figura 58 - Resultado da aceleração lateral obtida através do GPS e do giroscópio

Para validar o cálculo da aceleração lateral através dos giroscópios decidiu-se comparar o valor resultante com o valor proveniente do eixo lateral do acelerómetro. Essa comparação está ilustrada na Figura 59.

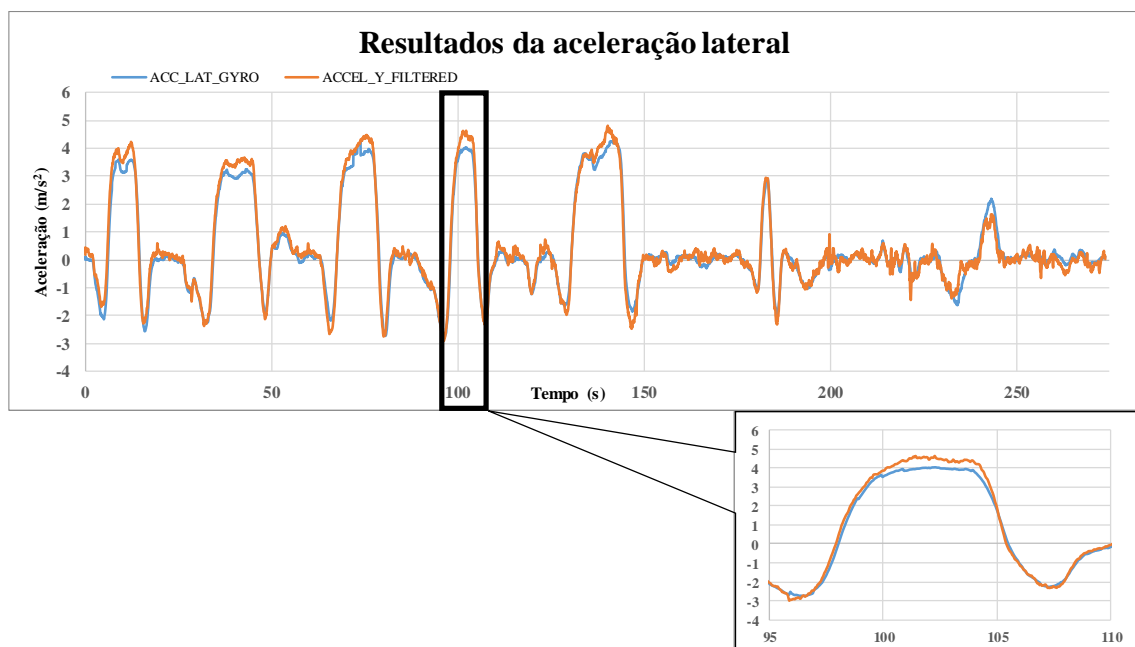


Figura 59 - Resultado da aceleração lateral obtida do giroscópio e do acelerómetro



No percurso utilizado para descrever esta medida passou-se por cinco rotundas. Verifica-se um resultado muito similar entre estes dois sensores. Facilmente verifica-se a influência da passagem pelas rotundas no resultado obtido desta medida. Assim sendo, será vantajoso introduzir o valor proveniente do eixo lateral do acelerómetro no filtro que funde a aceleração lateral.

### 6.11 Pitch

Esta medida expressa o ângulo do veículo com o plano horizontal, segundo a equação 5.5. A Figura 60 expressa o resultado obtido para esta medida comparando com o *pitch* do percurso calculado através das variações de altitude ao longo do percurso. Apesar de haver semelhanças, esta medida claramente precisa de ser melhorada.



Figura 60 - Resultado do pitch

### 6.12 Roll

Esta medida expressa o ângulo do veículo com o plano lateral, ou seja, indica o grau de inclinação do veículo para a esquerda ou direita. Analisando a Figura 61 verifica-se que o resultado é predominantemente negativo. Isto significa que o veículo estaria inclinado para o lado esquerdo. Este resultado, parece indicar que a placa não foi colocada de forma perfeitamente paralela à transversal do veículo. Em todo o caso, verifica-se o efeito da passagem por rotundas, como por exemplo, aos 60 e aos 100 segundos do percurso.



Figura 61 - Resultado do Roll

### 6.13 Potência Específica do Percurso

A Figura 62 representa o resultado da potência específica do percurso recorrendo às duas medidas de *pitch* representadas em 6.11. Estas medidas, sendo obtidas pela equação 5.4, só podem ser comparadas com o cálculo utilizando outras medições (externas ao sistema implementado) das variáveis de entrada.

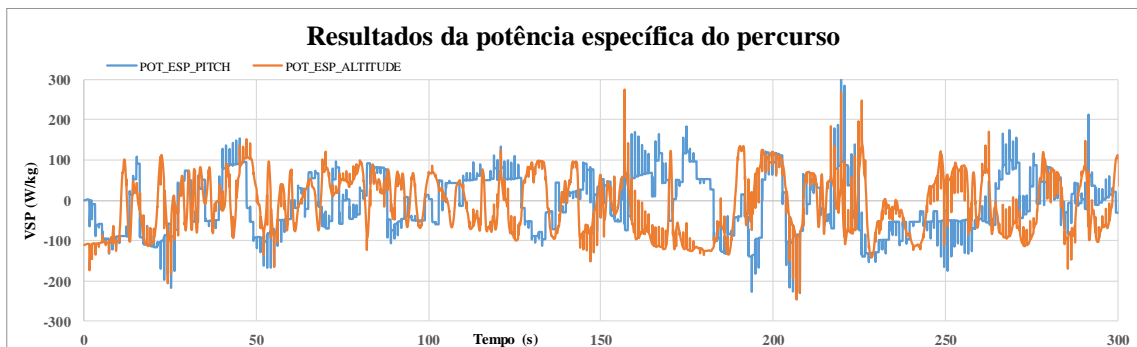


Figura 62 - Resultado da potência específica

## 7. CONCLUSÃO

Este capítulo serve de conclusão ao trabalho desenvolvido. Começa-se por fazer um resumo do trabalho desenvolvido. De seguida, descreve-se as conclusões tiradas na realização deste trabalho. Por fim, enumeram-se as sugestões de trabalho futuro.

### 7.1 Conclusões

Neste trabalho pretendia-se desenvolver um sistema que permitisse a caracterização de ciclos de condução real de automóveis para a monitorização dos consumos energéticos e emissões. Foi proposto um sistema composto por uma placa de aquisição de dados e por uma aplicação *Android* que, para além de comandar a placa de aquisição, sirva de extrator de medidas e visualizador de dados em tempo real. Para isso, começou por se fazer uma análise ao conceito de ciclos de condução a nível mundial. De seguida analisou-se o sistema de eixos SAE simplificado e utilizado nas análises realizadas neste projeto e no modelo energético aplicado às medidas adquiridas. Foi feito um estudo da navegação por satélites e sem satélites, caracterizando os principais sistemas existentes em cada uma delas.

Seguiu-se uma descrição de todos os componentes existentes na placa de aquisição. Foi escolhida uma placa que integrava os sensores inerciais e o recetor GPS. Além disso também se recorreu ao OBD para obter uma aquisição de dados mais completa. Indicou-se as principais características de cada um deles e propôs-se um esquema de ligação entre eles. De seguida descreveu-se a forma de leitura dos dados em cada um dos sensores, bem como o modo de funcionamento implementado no microcontrolador na leitura e envio dos dados adquiridos.

Procedeu-se à determinação das principais métricas a obter, sendo elas a velocidade, altitude, direção, aceleração lateral e longitudinal e potência específica. Explicou-se o conceito do filtro Kalman e a implementação deste. O cálculo das métricas e a fusão sensorial através do filtro de Kalman integram a aplicação *Android*. De seguida passou-se à descrição da interface com o utilizador. Foi apresentado o menu de comando da aplicação e as diferentes formas de apresentar os dados.

Os resultados obtidos revelam que a placa de aquisição de dados permite recolher as variáveis pretendidas. O *software* implementado no microcontrolador garante uma sincronização dos eventos e o facto do utilizador poder facilmente alterar a frequência de aquisição é uma mais valia. Por outro lado, o método utilizado para gravação no cartão de memória da placa de aquisição privilegia a eficiência e desempenho, e perde os dados se a placa

for desligada sem ordem prévia para terminar a gravação. A ligação da placa de aquisição à porta OBD do veículo através de um cabo USB revelou-se pouco prática e cómoda.

O desenvolvimento de uma aplicação *Android* proporcionou um ambiente de interface com o utilizador bastante vantajoso. Este tem a possibilidade de analisar alguns dados em tempo real e, caso seja necessário, proceder a calibrações que permitem obter um resultado final muito mais preciso. A utilização da API da *Google* de sensores de movimento verificou-se muito vantajosa mesmo apesar dos resultados obtidos não terem sido perfeitos. No que diz respeito aos resultados em si, conclui-se que parte deles já apresentam valores finais bastante realistas, tais como a velocidade, altitude e aceleração lateral. Porém, a direção e a potência específica ainda requerem melhorias significativas.

As variáveis provenientes do GPS apresentam bons resultados, porém conclui-se que a recolha de dados à frequência de 1 Hz é baixa. Deverá ser estudada a utilização deste sensor a frequências superiores e com um sistema diferencial de correção de erro. De facto, a utilização a baixa frequência proporciona valores com menos ruído, mas, em contrapartida, uma taxa de atualização superior das variáveis é benéfica.

Além dos resultados obtidos com o filtro de Kalman, existe outro aspeto importante. O facto de o utilizador poder ajustar os pesos do filtro de modo manual na aplicação *Android* é uma mais valia pois em tempo real consegue verificar os resultados do filtro. Em modo automático, tentou-se ajustar os pesos dados às variáveis do GPS através de indicadores de qualidade do sinal que são enviados pelo recetor GPS. Porém, o cálculo do peso ainda requer mais experiências para otimizar os resultados.

O método utilizado para a calibração da altitude do barómetro permitiu obter um resultado bastante fiável desta medida. Quando comparado com o mesmo valor no GPS, ambos têm uma evolução muito similar. No entanto a altitude obtida pelo GPS apresenta por vezes erros significativos, em particular a baixas velocidades e em ambiente urbano.

A implementação da pré-filtragem dos valores lidos no acelerómetro, giroscópio e bússola permitiram eliminar grande parte do ruído branco neles presente. Esses valores foram utilizados no cálculo do *pitch*, *roll*, *yaw*. Apesar desses valores terem uma resposta que é a esperada, ainda requerem uma filtragem melhor, ajustando a integração do acelerómetro, giroscópio e bússola. Para isso, o filtro complementar associado a estas variáveis necessita de ser melhorado.

No caso dos acelerómetros a influência do alinhamento da placa na sua montagem no veículo é preponderante, sendo difícil subtrair o valor da aceleração da gravidade, a qual se “propaga” facilmente do eixo vertical dos *zz* para o eixo longitudinal dos *xx* ou o lateral dos *yy*.

Apenas o acelerómetro  $a_y$  parece ter apresentado resultados interessantes na medição da aceleração lateral, apresentando valores semelhantes aos obtidos a partir do giroscópio (eixo  $zz$ ) e melhores do que os derivados do GPS (*Heading*). Já no caso da velocidade, o melhor sensor é o OBD, seguido do GPS.

Em relação aos giroscópios, o *pitch* e o *roll* parecem ter pouca utilidade. Por exemplo, o primeiro apresenta elevado ruído e sensibilidade à suspensão do veículo em travagens ou acelerações, não tendo precisão para determinar o declive da estrada (fundamental para o modelo energético), que terá de ser obtido a partir da altitude e distância.

O desenvolvimento da ferramenta de criação dos ficheiros de percurso facilitou a visualização dos itinerários nas plataformas *Google Earth* ou *Google Maps*. Verifica-se que de forma geral o percurso corresponde à realidade, mas, em alguns casos, quando se amplia a imagem para obter maior detalhe verifica-se a existência de algumas irregularidades no percurso, como por exemplo, na passagem por rotundas ou zonas com edifícios altos.

## 7.2 Sugestões de Trabalho Futuro

Como trabalho futuro sugere-se um melhoramento do acondicionamento dos componentes na placa de aquisição, recorrendo, por exemplo a uma PCB de forma a eliminar a ligação dos sensores por fios. Sugere-se a substituição do leitor OBD por outro cuja a comunicação seja feita com recurso a *Bluetooth*. Assim, facilita-se o posicionamento da placa no veículo e elimina-se a existência de um cabo dedicado ao OBD. Esta troca requer a incorporação de um novo módulo *Bluetooth* na placa de aquisição.

Sugere-se o aumento do número de variáveis, a extrair e a mostrar em tempo real, tais como métricas e a realização de testes mais aprofundados.

Continuar o estudo e desenvolvimento do filtro de Kalman. O existente permite fundir variáveis numa saída filtrada, porém um filtro único capaz de estimar da atitude e posição do veículo seria o ideal para este tipo de sistemas. Por outro lado, melhorar o modo automático implementado.

Continuar o desenvolvimento da aplicação *Android* implementando mais funcionalidades, como por exemplo, a integração de mapas cuja localização seria proveniente do GPS ou simplesmente integrar a geração dos ficheiros de trajetos na aplicação.

Utilizar um sistema GPS com uma frequência de aquisição de dados superior e sistema de correção diferencial por assinatura. Implementar gravação de dados sem a necessidade de um *smartphone*, utilizado, por exemplo, botões para iniciar e para e *led* para sinalizar.



**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] H. Guan, L. Li e X. Jia, “Multi-sensor fusion vehicle positioning based on Kalman Filter,” *ICIST, IEEE International Conference on Information Science and Technology*, pp. 296-299, 2013.
- [2] K. Jo, K. Chu e M. Sunwoo, “Interacting multiple model filter-based sensor fusion of GPS with in-vehicle sensors for real-time vehicle positioning,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 13, pp. 329-343, 2012.
- [3] S. Rezaei e R. Sengupta, “Kalman filter-based integration of DGPS and vehicle sensors for localization,” *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 15, pp. 1080-1088, 2007.
- [4] S. M. Oh, “Multisensor fusion for autonomous UAV navigation based on the unscented Kalman filter with sequential measurement updates,” *IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems*, pp. 217-222, 2010.
- [5] T. Karamat, M. Atia e A. Noureldin, “Performance Analysis of Code-Phase-Based Relative GPS Positioning and Its Integration With Land Vehicle’s Motion Sensors,” *IEEE Sensors Journal*, vol. 9, pp. 3084-3100, 2014.
- [6] T. Ly, S. Graebener e D. Goehlich, “Evaluation of Independent Sensor Systems for Accurate Drive Cycle Determination,” *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, pp. 1-5, 2014.
- [7] European Environment Agency, “Air quality in Europe - 2016 report,” [Online]. Available: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2016>.
- [8] V. Franco, F. P. Sánchez, J. German e P. Mock, “Real-World Exhaust Emissions from Modern Diesel Cars,” 2014.
- [9] Car Engineer, “The different driving cycles,” [Online]. Available: [www.google.com](http://www.google.com). [Acedido em março 2017].

- [10] “Simulação energética de um veículo,” [Online]. Available: <http://vehicleenergysimulation.weebly.com/ciclos-de-conduccedilatildeo-standard.html>. [Acedido em março 2017].
- [11] B. Araújo, “Desenvolvimento de um Modelo de Caracterização Energética de Ciclos de Condução,” Universidade do Minho, 2014.
- [12] S. C. Davis, S. E. Williamns e R. G. Boundy, “Transportation Energy Data Book Edition 35,” 2016. [Online]. Available: [cta.ornl.gov/data](http://cta.ornl.gov/data) .
- [13] “Tire axis system and terminology defined by SAE standards,” [Online]. Available: <https://x-engineer.org/automotive-engineering/chassis/lateral-dynamics/tire-axis-system-and-terminology-defined-by-sae-standards/>. [Acedido em março 2017].
- [14] “Official U.S. government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics,” [Online]. Available: [www.gps.gov](http://www.gps.gov). [Acedido em março 2017].
- [15] D. M. Bevly e S. Cobb, GNSS for Vehicle Control, 2010.
- [16] P. D. Groves, Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems, 2008.
- [17] B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger e E. Wasle, GNSS – Global Navigation Satellite Systems - GPS, GLONASS, Galileo, and more, 2007.
- [18] J. Martins, “Desenvolvimento de uma estação de GPS Diferencial com correções baseadas em pseudo-distâncias,” Instituto Superior Técnico de Lisboa, 2014.
- [19] C. Gualdino, “Características e desempenho de sistemas de posicionamento global,” Instituto Superior Técnico de Lisboa, 2011.
- [20] “GPS Accuracy: HDOP, PDOP, GDOP, Multipath & the Atmosphere,” [Online]. Available: <http://www.experimentalaircraft.info/articles/aircraft-gyroscopic-principles.php>. [Acedido em fevereiro 2017].
- [21] ACME Systems, “DAISY-7 - GPS/MEMS module,” [Online]. Available: <https://www.acmesystems.it/DAISY-7>. [Acedido em janeiro 2017].



- [22] ACME Systems, “datasheet Venus638 Family GPS Module,” [Online]. Available: [http://terzo.acmesystems.it/download/datasheets/Venus638DS\\_v02.pdf](http://terzo.acmesystems.it/download/datasheets/Venus638DS_v02.pdf). [Acedido em Janeiro 2017].
- [23] Sparkfun, “Binary Messages Of SkyTraq Venus 6 GPS Receiver,” [Online]. Available: [https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/GPS/AN0003\\_v1.4.19.pdf](https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/GPS/AN0003_v1.4.19.pdf). [Acedido em janeiro 2017].
- [24] ACME Systems, “datasheet LIS331DLH,” [Online]. Available: <http://terzo.acmesystems.it/download/datasheets/LIS331DLH.pdf>. [Acedido em Janeiro 2017].
- [25] ACME Systems, “datasheet L3G4200D,” [Online]. Available: <http://terzo.acmesystems.it/download/datasheets/L3G4200D.pdf>. [Acedido em janeiro 2017].
- [26] ACME Systems, “datasheet HMC5883L,” [Online]. Available: <http://terzo.acmesystems.it/download/datasheets/HMC5883L.pdf>. [Acedido em janeiro 2017].
- [27] ACME Systems, “datasheet BMP085,” [Online]. Available: <http://terzo.acmesystems.it/download/datasheets/BMP085.pdf>. [Acedido em janeiro 2017].
- [28] Android Developer, “Motions Sensors,” [Online]. Available: [https://developer.android.com/guide/topics/sensors/sensors\\_motion.html](https://developer.android.com/guide/topics/sensors/sensors_motion.html). [Acedido em março 2017].
- [29] “Android: Gyroscope Fusion,” [Online]. Available: <http://www.kircherelectronics.com/blog/index.php/11-android/sensors/16-android-gyroscope-fusion>. [Acedido em Abril 2017].
- [30] G. Welch e Bishop, Gary, “An Introduction to the Kalman Filter,” 2001. [Online]. Available: [http://www.cs.unc.edu/~tracker/media/pdf/SIGGRAPH2001\\_CoursePack\\_08.pdf](http://www.cs.unc.edu/~tracker/media/pdf/SIGGRAPH2001_CoursePack_08.pdf).