



Ana Luísa Monteiro
Pedro

Sistema de Tracking e Comunicação com Optimists
(Veleiros)



Ana Luísa Monteiro
Pedro

**Sistema de Tracking e Comunicação com Optimists
(Veleiros)**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Eletrónica e Telecomunicações, realizada sob a orientação científica do Doutor José Manuel Neto Vieira, Professor Auxiliar do Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro, e do Doutor Nuno Borges de Carvalho, Professor Catedrático do Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro.

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais, irmão e avós maternos pelo apoio incondicional.

o júri / the jury

presidente / president

Professor Doutor Alexandre Manuel Moutela Nunes da Mota

Professor Associado da Universidade de Aveiro (por delegação da Reitoria da Universidade de Aveiro)

vogais / examiners committee

Professor Doutor Daniel Filipe Albuquerque

Professor Adjunto do Instituto Politécnico de Viseu - Escola Superior de Tecnologia de Viseu

Professor Doutor José Manuel Neto Vieira

Professor Auxiliar do Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e informática da Universidade de Aveiro (orientador)

agradecimentos / acknowledgements

Gostaria de agradecer aos meus orientadores Prof. José Neto Vieira e Prof. Nuno Borges de Carvalho, pela motivação e conhecimentos transmitidos ao longo deste trabalho. Sem a colaboração deles, este trabalho não seria realizável.

Também gostaria de agradecer ao Mestre Hugo Mostardinha, responsável pelo laboratório de rádio frequência e ao senhor Paulo Gonçalves, técnico, do Instituto de Telecomunicações de Aveiro, pela paciência e pela sua pronta disponibilidade em cooperar e ao João Reis pela ajuda oferecida.

Não podia deixar de agradecer a todos os colegas dos laboratórios, de rádio frequência e de redes pelo apoio oferecido, em alguns momentos de maiores dificuldades.

Um agradecimento à Escola de vela de Aveiro (Sporting Clube de Aveiro), por disponibilizar os *optimists* e tornar possível o teste do sistema desenvolvido em condições reais.

Queria agradecer em especial aos meus colegas neste percurso de 5 anos: André Salvador, Duarte Santos, Fernando Lopes, Ana Carolina Martins, Fábio Lourenço, David Breda, Miguel Mestre, Christophe Silva, Rogério Abreu, Pedro Rodrigues, Tomé Matos, Ricardo Conde, Tiago Moura, Jesse Brandão, Inês Costa, João Condeço e a todos aqueles que me apoiaram ao longo destes anos.

Agradeço ainda ao Rui pelo apoio incondicional, amor, carinho e paciência ao longo deste projeto, sendo parte da motivação para acabar o curso.

Por fim, um agradecimento especial aos meus pais, ao meu irmão e avós por tudo o que fizeram e deram ao longo da minha vida. Sem o apoio incansável, amor, carinho e todos os esforços feitos pelos meus pais nada disto seria possível.

Um obrigada a todos!

Palavras-Chave

Localização, GPS, Áudio, Recetor FM, Transmissor FM, SoC CC1110, *SimpliciTI*, UART, *Optimists*

Resumo

Nesta dissertação foi desenvolvido um sistema que permite ao treinador de uma equipa juvenil de veleiros *Optimists*, enviar instruções verbais via rádio e localizar os veleiros por GPS, de forma a melhorar o desempenho dos treinos de vela, da escola Sporting Clube de Aveiro.

Pretende-se resolver problemas relacionados com a dificuldade na comunicação entre o instrutor e os alunos e também com a localização dos alunos quando as condições climatéricas são adversas, como é o caso do nevoeiro por exemplo. O trabalho encontra-se dividido em dois sistemas independentes.

O sistema de localização (por GPS) que se divide em dois módulos, um para ser aplicado na margem e outro nos veleiros. A informação de localização dos veleiros é enviada para o módulo na margem, utilizando uma rede sem fios de rádio frequência baseada no protocolo *SimpliciTI* a operar a uma frequência de 433 MHz. O módulo na margem encontra-se ligado a um servidor que permite realizar a monitorização da posição dos veleiros. Neste sistema, será ainda possível visualizar o percurso feito de cada veleiro através de um servidor local e do *Google maps*.

O sistema para comunicação áudio, é composto por um emissor FM colocado no barco do treinador e recetores transportados pelos veleiros. Deste modo, o treinador consegue dar indicações para todos os veleiros em simultâneo.

Keywords

Localization, GPS, Audio, FM Receiver, FM Transmitter, SoC CC1110, *SimpliciTI*, UART, *Optimists*

Abstract

In this thesis, it has been developed a system that allows the optimist training coach to send verbal instructions through a radio and to localize the sailboats through a GPS, this in order to increase the efficiency of the Aveiro Sporting Club sailing training.

The purpose of this work is to fix the issues related to the verbal communication between the coach and the students as well as to allow the students localization during bad climatic conditions, for example fog. This document is divided in two independent systems.

The localization system (through GPS) is divided in two modules, one situated on the coast and another one situated on the optimist. The optimist's localization data are sent to the coast module based on a *SimpliciTI* protocol operating in a 433 MHz frequency. The coast module is connected to a server able to monitor the optimist localization. In this system, it will be then possible to visualize the sailboat's track done by the student on the optimist through a local server and Google Maps.

The audio communication system is composed of a FM transmitter located on the coach's boat and receivers located on the optimists. That way, the coach is able to send instructions to all optimists at the same time.

Conteúdo

Conteúdo	i
Lista de Figuras	iii
Lista de Tabelas	vii
Lista de Acrónimos	ix
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento e Motivação	1
1.2 Estrutura da dissertação	5
2 Sistema Localização para <i>optimists</i>	7
2.1 Enquadramento Histórico	7
2.2 GPS	8
2.3 Sistema Desenvolvido	10
2.4 <i>Hardware</i> Necessário	13
2.4.1 <i>Texas Instruments</i> Evaluation Board	13
2.4.2 Módulo GPS - <i>Gms-u1LP</i>	15
2.4.3 SoC de baixa potência sub-1GHz - <i>SoC CC1110Fx</i>	16
2.4.3.1 CPU e Periféricos	18
2.4.3.2 Rádio	18
2.4.3.3 Formato do pacote de comunicação via rádio	19
2.5 Protocolos	20
2.5.1 <i>SimpliCI</i>	20
2.5.1.1 Camadas Lógicas	20
2.5.1.2 Objetos Lógicos	22
2.5.1.3 Exemplos de Redes	23
2.5.2 <i>NMEA</i>	23
2.5.2.1 <i>NMEA-RMC</i>	24
2.5.3 Comunicação Série	25
2.5.3.1 <i>USART</i>	26
2.5.3.2 <i>I²C</i>	26
2.6 Configurações	27
2.6.1 Dispositivos Móveis	27
2.6.2 Módulo fixo	28
2.7 Tratamento de Mensagens	29

2.7.1	Mensagens enviadas entre módulos móveis e o AP	29
2.7.2	Mensagens enviadas entre o AP e o PC	31
3	Sistemas de Radiodifusão para <i>optimists</i>	33
3.1	Comunicação via Rádio	33
3.2	Descrição do sistema desenvolvido	35
3.3	Recetor de áudio	36
3.3.0.1	<i>Si4703 FM Tuner Breakout</i>	36
3.3.0.2	Programação	38
3.3.1	Coluna impermeável	40
3.3.1.1	<i>Stereo 3.7W Class D Audio Amplifier</i>	40
3.4	Transmissor de áudio	41
3.4.1	Conceitos Teóricos	41
3.4.1.1	Circuito LC oscilador	43
3.4.2	Realização na prática	45
3.4.2.1	Implementação prática	46
3.4.2.2	Simulação	47
3.4.3	<i>Electret Microphone Breakout</i>	48
3.5	Testes de laboratório	49
3.5.1	Complementos ao sistema de radiodifusão	54
4	Testes na Ria	57
4.1	Consumo energético	58
4.2	Montagem dos sistemas	58
4.3	Alcance dos sistemas	60
5	Conclusões	63
5.0.1	Trabalho Futuro	63
	Bibliografia	65
A	Esquemas elétricos e <i>layouts</i> utilizados	70
B	Montagem dos sistemas nas caixas	71
C	Impedância de entrada e de saída	73
C.1	Impedância de entrada	73
C.2	Impedância de saída	74
D	Consumos energéticos	75
E	<i>Script</i> para o mapa	77

Lista de Figuras

1.1	Exemplo de um <i>optimists</i> [1]	1
1.2	<i>TLKR T40 Walkie-Talkies</i> [2]	2
1.3	Diagrama de blocos para a difusão de áudio	3
1.4	Placa NAPIS <i>SoC CC1110-433MHz</i>	3
1.5	Esquema final do sistema desenvolvido	4
2.1	Triangulação	8
2.2	Segmentos do GPS [6]	9
2.3	Esquema do sistema de localização desenvolvido	10
2.4	Sistema completo para a localização	11
2.5	Ligações entre o GPS e o módulo <i>SoC CC1110</i>	11
2.6	Diagrama de blocos de um dispositivo móvel adaptado[8]	12
2.7	Dispositivo móvel para localização	12
2.8	Diagrama de blocos do módulo fixo	13
2.9	Análise geral da <i>SmartRF04 Evaluation Board</i> [9]	14
2.10	<i>SoC battery board</i> [11]	14
2.11	Módulo GPS utilizado [12]	15
2.12	Placa com o módulo GPS utilizado	16
2.13	Diagrama de blocos do módulo GPS utilizado [12]	16
2.14	Diagrama de blocos do <i>SoC CC1110</i> [13]	17
2.15	Módulo Rádio no <i>SoC CC1110</i> [13]	18
2.16	Módulo <i>SoC CC1110F32</i> utilizado	19
2.17	Formato do pacote [13]	20
2.18	Camadas lógicas <i>SimpliTI</i> [15]	21
2.19	Extrutura dos pacotes <i>SimpliTI</i>	22
2.20	Redes <i>SimpliTI Store-and-Forward peer-to-peer</i> [14]	23
2.21	Esquema da trama na comunicação síncrona [22]	26
2.22	Esquema da trama na comunicação assíncrona	26
2.23	Diagrama de blocos <i>I²C</i>	27
2.24	Algoritmo utilizado no módulo móvel	28
2.25	Algoritmo utilizado no módulo fixo	29
2.26	Estrutura da mensagem enviada dos módulos móveis para o AP	29
2.27	Informação recebida nos módulos móveis	30
2.28	Mensagens recebidas no PC	31
2.29	Estrutura da mensagem enviada do AP	31
2.30	Visualização da mensagem enviada do AP	32

3.1	Diagrama de blocos simples das entidades fundamentais da transmissão via Rádio	34
3.2	Módulo de transmissão	35
3.3	Módulo de recepção	35
3.4	Diagrama de blocos do sistema de radiodifusão.	36
3.5	Diagrama de blocos recetor <i>Si4703</i> [26]	37
3.6	Placa de desenvolvimento <i>Si470x FM tuner</i> [28]	37
3.7	Elementos necessários para programar a placa de desenvolvimento <i>Si4703</i>	38
3.8	Módulo Recetor FM com <i>headphones</i>	39
3.9	Coluna impermeável [29]	40
3.10	Amplificador de áudio utilizado [30]	41
3.11	Ligações estabelecidas entre a fixa de <i>Jack</i> e o restante sistema	41
3.12	Diagrama de blocos do transmissor completo de áudio	42
3.13	Modulação AM e FM	43
3.14	Diagrama de blocos de um oscilador	44
3.15	Esquema elétrico do Transmissor de FM	45
3.16	Transmissor de FM	47
3.17	Limite inferior: 79.5 MHz	47
3.18	Limite superior: 106.8 MHz	48
3.19	<i>Electret Microphone Breakout</i>	48
3.20	Esquema elétrico <i>Electret Microphone Breakout</i>	49
3.21	Experiência caso 1	50
3.22	Sinal no VNA da antena de referência	51
3.23	Resultado da experiência do caso 1	51
3.24	Onda vista no recetor	52
3.25	Onda gerada no <i>Audacity</i> com frequência 1kHz	52
3.26	Onda recebida observada no osciloscópio	53
3.27	Frequência de operação observada no analisador de espectros para o TX	53
3.28	Onda recebida observada no osciloscópio do caso 2	54
3.29	Acrescentos no sistema radiodifusão	55
4.1	Caixas para os sistema	57
4.2	Módulo móvel completo aplicado ao barco de teste	58
4.3	Módulo fixo aplicado na margem	59
4.4	Esquema do acesso do <i>smartphone</i> ao servidor	59
4.5	Percurso efetuado	60
4.6	Testes efetuados	61
A.1	Esquema elétrico da placa de GPS	70
A.2	<i>Layout</i> da placa de GPS	70
B.1	Molde para o sistema do Treinador	71
B.2	Molde para o sistema <i>optimist</i>	71
B.3	Sistema dos <i>optimists</i> montado no molde de esferovite	72
B.4	Sistema do treinador montado no molde de esferovite	72
C.1	Esquema de medida para a impedância de entrada Tx	73
C.2	Método para medição da impedância de saída	74

D.1	Esquema de medida do consumo de energia	75
-----	---	----

Lista de Tabelas

2.1	Principais características <i>Gms-u1LP</i> [12]	15
2.2	API (<i>Application Programming Interface</i>)	21
2.3	Campos da mensagem <i>NMEA-RMC</i> [18]	24
3.1	Ligações entre o Arduino e <i>Si4703 Breakout</i> [35]	39
3.2	Características elétricas da coluna [29]	40
4.1	Consumos energéticos dos diferentes sistemas	58
D.1	Consumo energético sistemas base	76
D.2	Autonomia sistemas base	76
D.3	Consumo energético sistemas completos	76
D.4	Autonomia sistemas completos	76

Lista de Acrónimos

ADC Analog-to-Digital Converters

AFC Automatic Frequency Control

AGC Automatic Gain Control

AP Access Point

API Application Programming Interface

CMOS Complementary Metal-Oxide-Semiconductor

CRC Cyclic Redundancy Check

DAC Digital-to-Analog Converters

DD Decimal Degrees

DECCA Low Frequency Continuous Wave Phase Comparison Navigation

DMS Degrees, Minutes, Seconds

ED End Device

EEPROM Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory

EM Evaluation Module

EUA Estados Unidos da América

GPS Global Positioning System

HTML HyperText Markup Language

IC Integrated Controller

IDE Integrated Development Environment

IF Frequência Intermédia

I/O Input/Output

LLC Logical Link Control

LO Oscilador Local

LNA Low Noise Amplifier

LORAN Long-Range Navigation System

MAC Media Access Control
MOD Modelação
NAPIS Navy Positioning and Identification Systems
NMEA National Marine Electronics Association
NNSS Navy Navigation Satellite System
Omega Global Low Frequency Navigation System
PCB Printed Circuit Board
PGA Programmable Gain Amplifier
PHP Hypertext Preprocessor
RBDS Radio Broadcast Data System
RCLK Reference Clock
RDS Radio Data System
RF Rádio Frequência
RMC Recommended Minimum Data
RX Recepção
SCL Serial Clock
SDA Serial Data
SDR# Software Defined Radio in C#
SMD Surface-Mount Technology
SMPS Switching Mode Power Supply
SoC System on Chip
SPI Serial Peripheral Interface
SRAM Static Random-Access Memory
TI Texas Instruments
TX Transmissão
UART Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
US United States
VCO Voltage-Controlled Oscillator
WiFi Wireless Fidelity

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento e Motivação

A "Veneza de Portugal" também conhecida por Aveiro, em que a magnífica Ria permite usufruir de desportos náuticos, como é o caso da vela, caiaque e outros.

Nos treinos de vela, em concreto no treino da classe *optimists*, podem surgir dificuldades a nível da comunicação entre o treinador e os praticantes, que poderão ter como origem questões climatéricas, como por exemplo o vento ou o nevoeiro.

Os *optimists*, são pequenos barcos à vela usados principalmente para o treino de crianças dos 6 até aos 14 anos de idade. Na Figura 1.1 podemos observar um modelo classe *optimists*.



Figura 1.1: Exemplo de um *optimists*[1]

A Escola de Vela de Aveiro (Sporting Clube de Aveiro) expôs as seguintes dificuldades:

1. Dificuldade de o instrutor fazer chegar as suas indicações aos alunos durante os treinos. Em geral usam um megafone.
2. Em alguns casos, os alunos podem-se perder e seria interessante ter um sistema que permitisse realizar a sua localização. Além disso seria interessante saber a rota que cada aluno realizou.

Indagou-se sobre a possibilidade de ser desenvolvido um sistema, que permitisse superar parte das mesmas com que frequentemente se deparam durante os treinos.

O sistema a desenvolver permitirá tornar os treinos de vela mais produtivos e com melhor desempenho, pois para além de resolver os problemas com a comunicação, mostrará também os trajetos feitos pelos praticantes através de localização GPS (*Global Positioning System*).

Com a localização dos *optimists*, o treinador poderá saber onde está cada aluno, quando algum se desvia da rota nos casos em que a visibilidade é reduzida, devido à existência de nevoeiro.

Até chegar a uma solução concretizável para os sistemas que serão descritos ao longo desta dissertação, houve um processo de pesquisa e de escolhas. Após analisar algumas soluções para a resolução dos problemas apresentados, optou-se por fazer o tratamento do áudio e da localização em separado, ou seja em vez de construir um sistema que englobe as duas componentes, construíram-se dois sistemas independentes, um sistema de radiodifusão e um sistema de controlo por GPS que serão aplicados nos pequenos veleiros (*optimists*).

De seguida será feita uma análise para as diferentes opções para o sistema de difusão de áudio:

No caso da comunicação de voz, os famosos *walki-talkies*, um exemplo *TLKR T40 Walkie-Talkies*[2], ver Figura 1.2, poderia ser uma solução viável mas dispendiosa. Então surgiu a ideia de construir um sistema de radiodifusão, com um custo mais reduzido.



Figura 1.2: *TLKR T40 Walkie-Talkies*[2]

Inicialmente, quando se pensou no sistema de radiodifusão existiam duas vias possíveis de transmitir informação, uma delas era a comunicação digital enquanto que a segunda seria a comunicação analógica.

Na comunicação digital a informação é transmitida através de sinais digitais, gerados por modulação digital, enquanto que na comunicação analógica, a mesma informação é transmitida a partir de sinais analógicos e de forma contínua. Quanto ao nível de ruído, a comunicação analógica é mais afetada que a digital, em contra partida a primeira tem menor custo.

Para o caso da transmissão / receção digital seria algo como descrito no diagrama de blocos, representado na Figura 1.3, em que seria necessário:

- *codecs* de áudio
- ADC e DAC

- modeladores
- LNA

dos quais, a maioria tinham que ser construídos.

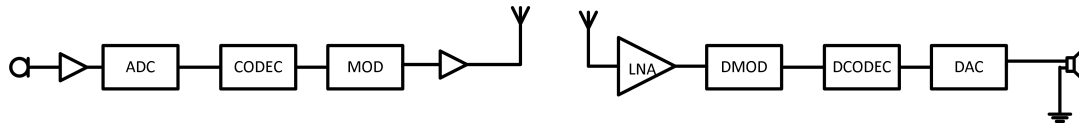


Figura 1.3: Diagrama de blocos para a difusão de áudio

Uma outra dificuldade encontrada nesta solução, seria o canal de transmissão, pois seria necessário fazer a caracterização do canal de transmissão, por forma a perceber se os erros existentes teriam de ser corrigidos ou simplesmente não iriam interferir na comunicação do sinal.

A ideia inicial para o emissor e recetor de áudio seria utilizar módulos dotados da tecnologia ilustrada na Figura 1.3 que apenas necessitariam de ser programados para a frequência pretendida. Assim, evitariam-se problemas com distorções criadas por alguns componentes elétricos e com desenvolvimento de mecanismos de correção de erros, no caso de construção de um circuito de raiz.

Como o sistema de transmissão se encontra fora do mercado, implementou-se um simples transmissor de FM, baseado num transístor e num circuito oscilador, em que a transmissão de áudio é feita de forma analógica.

Nesta fase surge, também, a dificuldade em saber qual a banda de frequências a transmitir, tendo-se optado por uma frequência, neste caso de 99.5 MHz que não estivesse a ser utilizada na região de Aveiro, na banda comercial para a realização de testes.

- Localização

O Instituto de Telecomunicações conta com o projeto NAPIS [3], ver Figura 1.4, sistema de localização *outdoor* de custo e manutenção reduzida, baseado em GPS e redes de sensores sem fios para a Marinha Portuguesa.

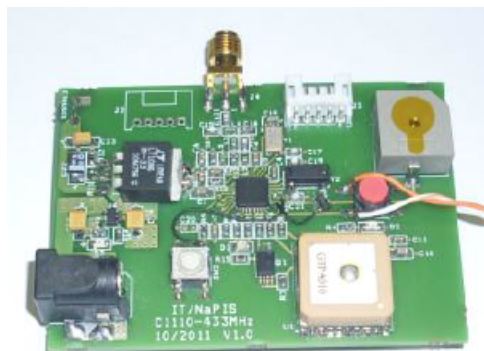


Figura 1.4: Placa NAPIS SoC CC1110-433MHz

O sistema de localização a desenvolver para os *optimists*, baseou-se nos dispositivos utilizados no projeto NAPIS, mais propriamente no uso do módulo GPS e do sistema de baixa potência o SoC CC1110.

Para desenvolver o sistema fez-se uso de umas placas de desenvolvimento da *Texas Instruments*, dotada de diversos periféricos dos quais apenas se usufruiu dos pinos de I/O e da entrada *RS-232*.

Ao longo deste documento serão descritas as tecnologias, *hardware* e funcionamento de cada módulo do sistema.

Na Figura 1.5 está uma ilustração descritiva do funcionamento de ambos os circuitos, em que as setas amarelas representam as comunicações do sistema de radiodifusão, do treinador para os *optimists* (via *broadcast*), enquanto que as setas pretas representam as comunicações para o módulo de localização.

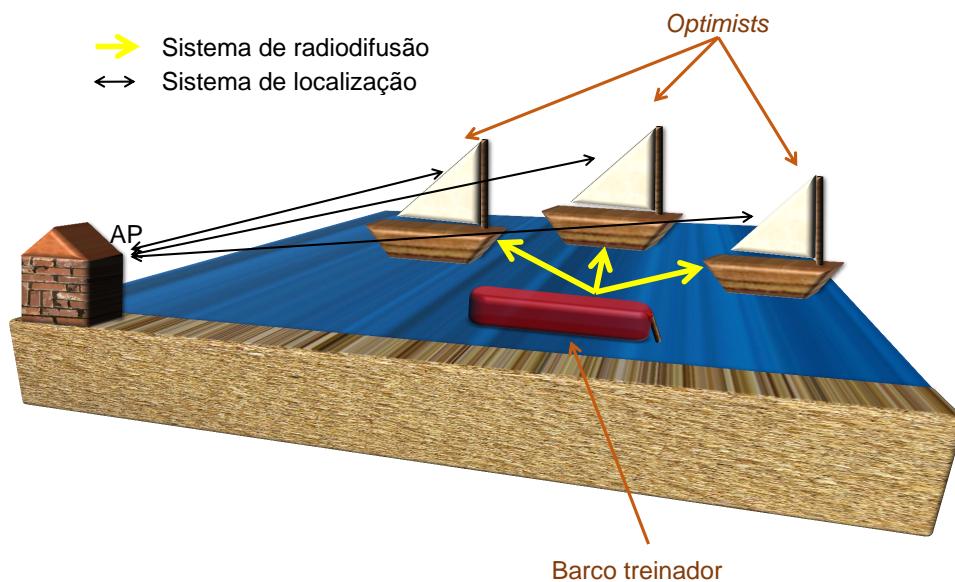


Figura 1.5: Esquema final do sistema desenvolvido

Para testar os sistemas desenvolvidos, pretende-se instalar o sistema num *Optimist* e testar em ambiente real.

1.2 Estrutura da dissertação

Como já foi referido, este projeto divide-se em dois sistemas e para esta dissertação optou-se por fazer uma análise separada destes sistemas.

O capítulo 2 subdivide-se em várias secções, onde inicialmente é feito um enquadramento histórico e uma introdução ao sistema de localização GPS. Seguidamente, é feita uma descrição do sistema desenvolvido e uma descrição do *hardware* e protocolos utilizados. Para finalizar este capítulo são referidas as configurações efetuadas e uma análise das mensagens trocadas.

O capítulo 3, descreve o sistema de radiodifusão FM e alguns testes de laboratórios para os módulos que constituem o sistema de radiodifusão.

Por fim são apresentadas as conclusões, capítulo 5, obtidas durante a realização do projeto, bem como possíveis vias de trabalho futuro.

Capítulo 2

Sistema Localização para *optimists*

Nos dias que correm é normal ver na rua pessoas com um *smartphone* na mão, no qual está incorporado um recetor de GPS de elevada sensibilidade, tornando assim este sistema de localização o mais utilizado no mundo. Existem vários serviços baseados na tecnologia GPS como é o caso do *Google Maps* ou outros semelhantes, que oferecem ao utilizador serviços de localização e elevada precisão. No entanto, quando se pretende adaptar um sistema de localização aos *optimists*, em que a probabilidade destes se virarem é muito grande, um *smartphone* não é uma boa solução devido ao seu custo elevado, sendo melhor desenvolver um sistema com GPS integrado, com custo mais reduzido e colocá-lo numa caixa isolada para não deixar que a água danifique o sistema. Assim, oferece-se liberdade de movimentos da pessoa que controlará o *optimist*, pois será ajustado de forma a não prejudicar o desempenho do treino.

2.1 Enquadramento Histórico

Desde os primórdios da humanidade que o Homem sente a necessidade de se deslocar e regressar ao ponto de partida em segurança. Provavelmente, no início marcavam os seus trajetos usando pontos significativos como referência de posição tais como curvas de rio, montanhas, trilhos de pedras, etc. Surgiram então os primeiros mapas desenhados em pedras, que posteriormente passaram a ser desenhados em papel. No entanto, com o decorrer dos anos foram surgindo técnicas mais sofisticadas de navegação como a Bússola, o Astrolábio, o Quadrante de Davis e o Sextante. Na realidade, estas técnicas não passavam de aproximações grosseiras de localização, baseadas na posição dos astros e fortemente dependentes com as condições climáticas. Apesar disso, persistiram durante muitos anos como fonte fiável para navegação terrestre e marítima.

Com a evolução da eletrónica, foram desenvolvidos alguns sistemas de localização pioneiros baseados em ondas de rádio, como o LORAN (*Long-Range Navigation System*), o DECCA (*Low Frequency Continuous Wave Phase Comparison Navigation*) e o Omega (*Global Low Frequency Navigation System*). Enquanto os dois primeiros apresentavam uma limitação no posicionamento global e na precisão, devido a interferências e ao relevo do terreno, o Omega, operacional em 1971, foi o primeiro sistema com cobertura global, apesar de apresentar baixa precisão [4].

Em 1964, surgiu o TRANSIT, também conhecido por NNSS (*Navy Navigation Satellite System*) ou NAVSAT, o primeiro sistema de navegação por satélite que transmitia sinal

contínuo regularmente, à medida que o satélite se ia aproximando do recetor, a frequência recebida era superior à de emissão, baseando-se no efeito de *Doppler*.

Neste sistema, a localização era feita recorrendo a um baixo número de satélites cujas órbitas eram muito baixas. Surgiu então a necessidade de um sistema que oferecesse uma boa precisão, facilidade de uso e custo acessível para o utilizador. O sistema que veio cobrir essas necessidades foi o GPS.

2.2 GPS

O GPS é o sistema de localização mais conhecido entre os utilizadores de todo o mundo. Surgiu em 1973 pelo Departamento da defesa dos EUA e o principal objetivo era satisfazer as necessidades de navegação das forças armadas americanas. Baseou-se numa constelação de 24 satélites ao longo de todo o globo, o que possibilitava aos utilizadores estabelecer uma ligação com pelo menos 4 satélites [5].

Os 4 satélites são necessários, uma vez que 3 deles são utilizados para fazer a triangulação e o outro é utilizado para auxiliar na determinação da precisão do tempo de relógio, sincronizando os relógios que estão nos satélites.

Na triangulação (ver Figura 2.1) com o:

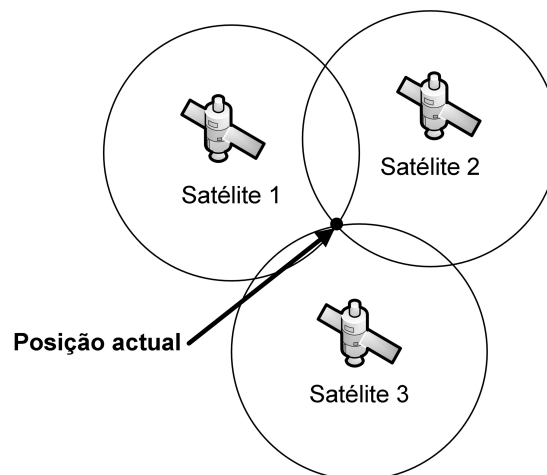


Figura 2.1: Triangulação

- Primeiro satélite:

Permite calcular a distância que vai da posição do recetor, ao primeiro satélite, através do raio.

- Segundo satélite:

Com mais este satélite, o risco de incerteza diminui, pois já há interseção entre as duas esferas, existindo possibilidades para a posição real.

- Terceiro satélite:

Este satélite irá intersectar as duas esferas, criadas pelos outros 2 satélites. O ponto onde as 3 esferas se intersectam corresponde à posição atual do recetor.

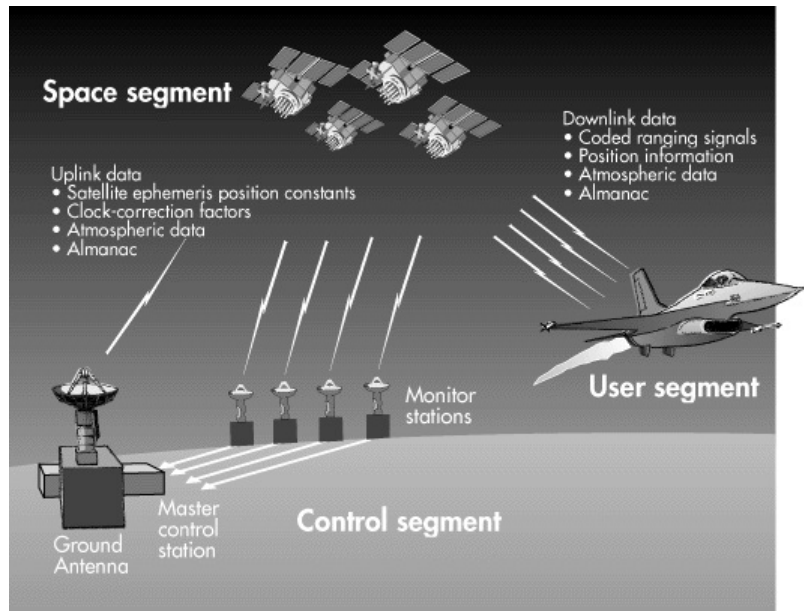


Figura 2.2: Segmentos do GPS [6]

O GPS divide-se em três importantes segmentos, como se pode analisar na Figura 2.2:

- *Space segment*

Constituído por uma constelação de 24 satélites, que transmitem sinais de tempo precisos. Quando os satélites estão em linha de vista de um recetor de GPS adequado, os sinais podem ser usados para auxiliar na localização da posição, navegação e no sincronismo.

- *Control segment*

Consiste numa rede global de estações de *tracking*, com um MCS (*Master Control Station*), situado nos EUA em Colorado. A primeira preocupação deste segmento, prende-se com o *tracking* dos satélites GPS, para determinar a sua localização, integridade do sistema, entre outras considerações. Essa informação é armazenada e enviada para os satélites através da banda S, que corresponde à parte do espectro de frequências entre 2GHz e 4GHz.

- *User segment*

Inclui todos os utilizadores militares e civis, os quais necessitam apenas de um recetor de GPS, constituído por uma antena, de forma a receber sinais com a informação necessária para determinar as suas posições, em qualquer lugar do globo [7].

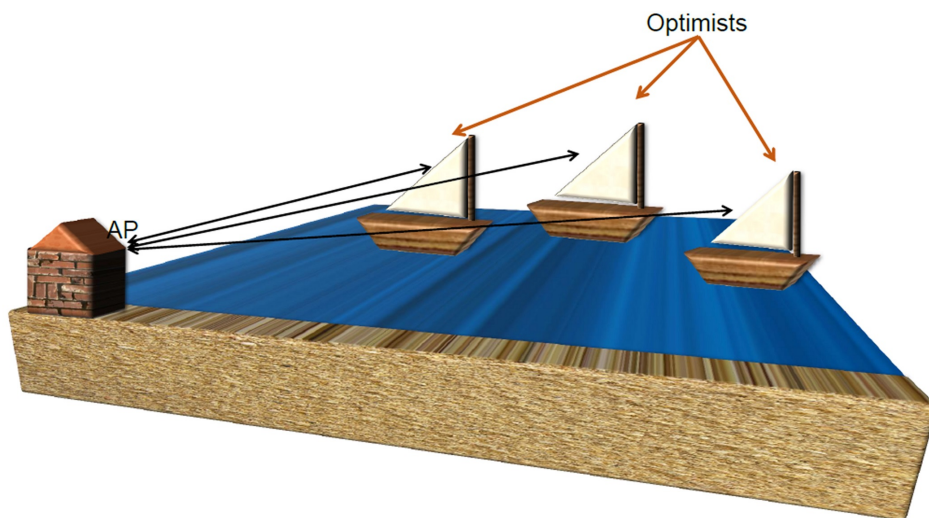


Figura 2.3: Esquema do sistema de localização desenvolvido

2.3 Sistema Desenvolvido

Anteriormente, referiu-se que o objetivo deste trabalho era desenvolver um sistema de localização (GPS) para operar nas aulas de vela, na Figura 2.3 está um esquema ilustrativo.

O elemento central deste sistema é um módulo fixo situado na margem, para o qual é transmitida a informação de GPS vinda dos módulos móveis, neste caso os barcos dos alunos.

Para tal, o método utilizado consiste em definir uma rede sem fios de longo alcance, dividida em dois tipos de elementos:

- Módulo fixo
- Módulos móveis

Na Figura 2.4, está representado o sistema desenvolvido para a localização, no qual estão representados o módulo móvel e o módulo fixo.

- A. Módulo móvel
- B. Gerador da rede sem fios ou *Access Point*
- C. Leituras no terminal através da UART e coloca num ficheiro
- D. *Google maps* no *Localhost*

O módulo fixo, constituído pelos pontos B, C e D, após estabelecer ligação, pede a cada um dos módulos móveis, a informação com a localização dos mesmos.

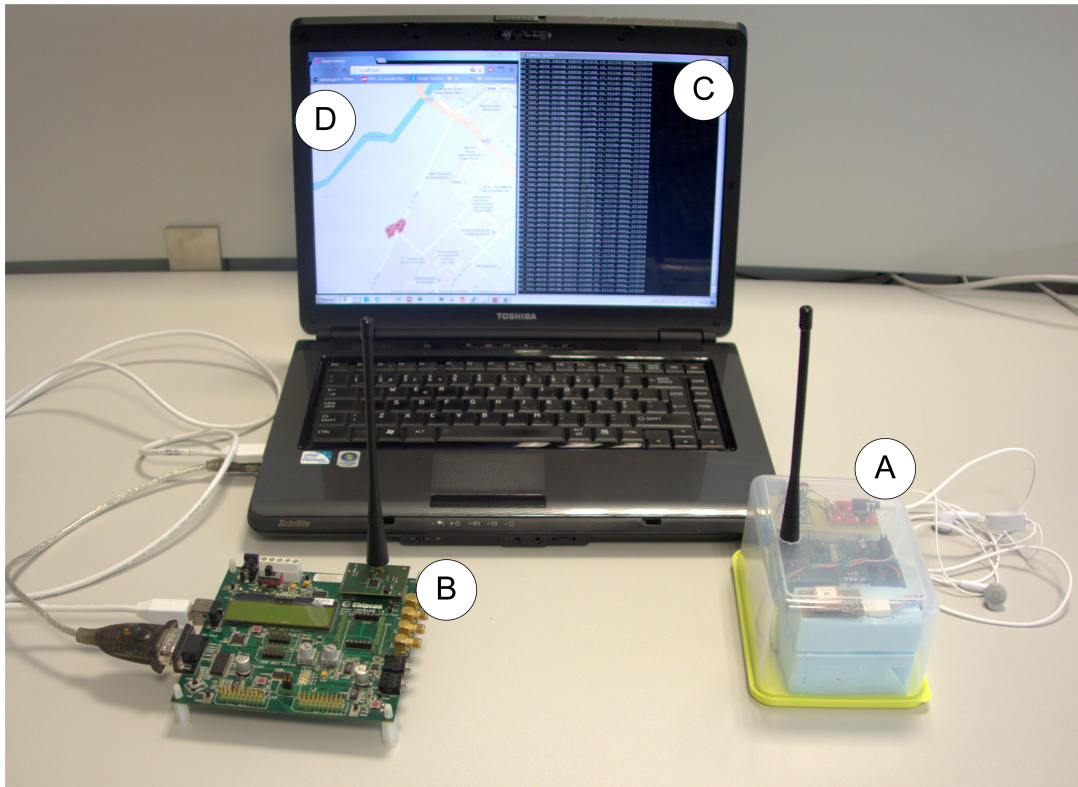


Figura 2.4: Sistema completo para a localização

- Dispositivos móveis

São dotados de um periférico de localização (ver Figura 2.6), o qual acompanha o movimento do barco.

O periférico de localização é dotado de um módulo GPS e um módulo de RF (*SoC CC1110* ver Secção 2.4.3) dotado de um microcontrolador, que processa as mensagens recebidas periodicamente, com a informação sobre a localização de cada móvel, enviando esta informação através de uma rede sem fios (*SimpliCI* à frequência de 433MHz ver Secção 2.5.1) para o módulo fixo.

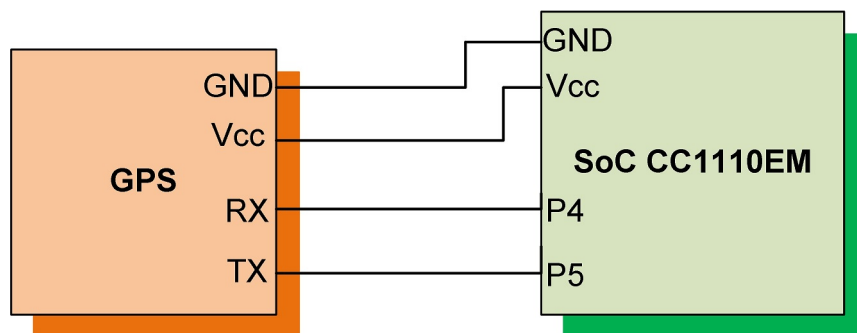


Figura 2.5: Ligações entre o GPS e o módulo *SoC CC1110*

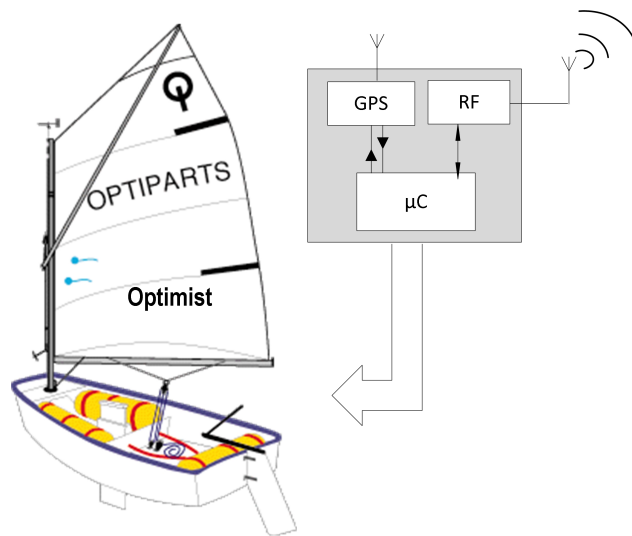


Figura 2.6: Diagrama de blocos de um dispositivo móvel adaptado[8]

Na Figura 2.7 está representado o módulo móvel utilizado na prática, no qual as ligações efetuadas estão representadas na Figura 2.5.

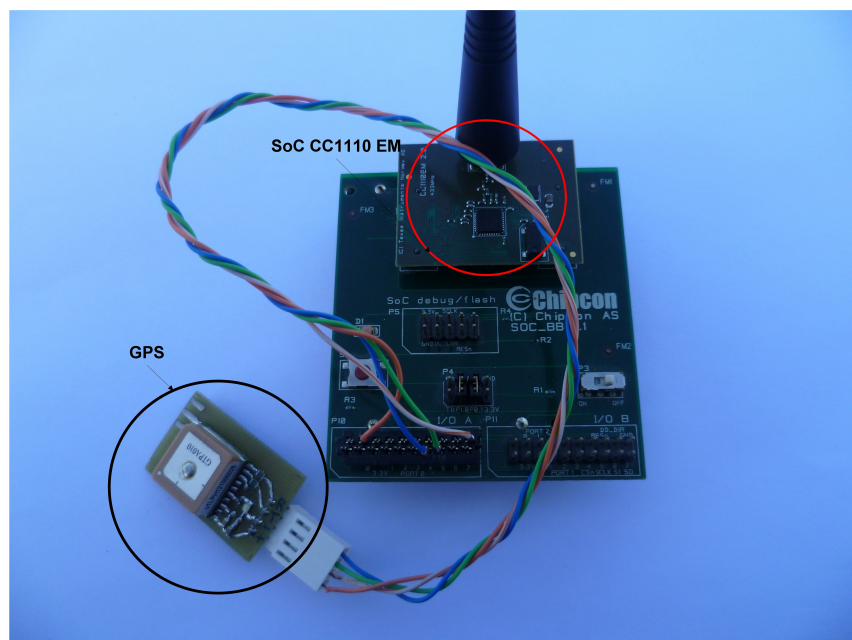


Figura 2.7: Dispositivo móvel para localização

- Módulo fixo

O módulo fixo é o elemento central do sistema de localização, que será instalado na margem num ponto alto, por forma a melhorar a cobertura. Este elemento representado na Figura 2.8, cria a rede *SimpliTI* à frequência de 433MHz (ver Secção 2.5.1) e gere as ligações com vários dispositivos móveis.

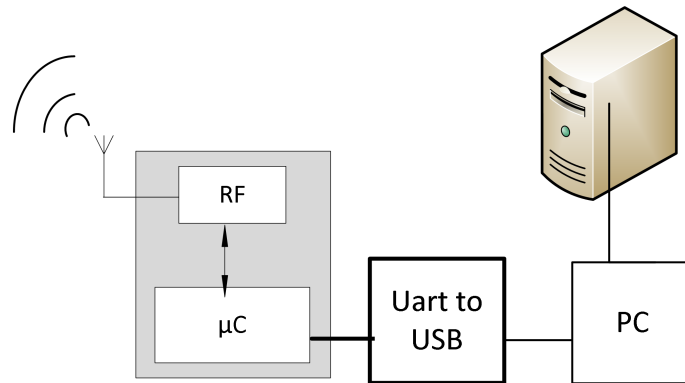


Figura 2.8: Diagrama de blocos do módulo fixo

Para além da comunicação entre os outros dispositivos móveis, está ligado a um PC através do meio de comunicação série, a UART (ver Secção 2.5.3), que por sua vez está conectado a um servidor local.

No PC, a informação com a localização de cada dispositivo móvel é lida do canal UART e colocada num ficheiro. Posteriormente, o ficheiro é carregado para um servidor local onde essa informação será tratada e colocada num mapa, através de serviços usando a Internet, como o *google maps*.

2.4 Hardware Necessário

Nesta secção, será descrito o *hardware* utilizado para a construção dos dois módulos que integram o sistema de localização, quer do módulo fixo quer dos módulos móveis.

2.4.1 Texas Instruments Evaluation Board

A placa de desenvolvimento da TI (*Texas Instruments*), *SmartRF04* [9], representada na Figura 2.9, permite programar, testar e avaliar vários produtos da *Texas Instruments* como é o caso das famílias dos *SoC CC11xx* ou *SoC C25xx*. Contém vários periféricos como interface USB, LCD, LEDs e potenciômetros. Com a configuração do rádio, contido no EM (*Evaluation Module*) é possível fazer medidas de sensibilidade, potência de saída e outros parâmetros de RF.

Para desenvolver o software para os EM, é utilizado o *IAR Embedded Workbench IDE*, que suporta várias linguagens de programação como *C/C++* ou *Assembly* e disponibiliza compiladores para uma vasta variedade de microprocessadores.

No caso do *SoC CC11xx*, como é compatível com a arquitetura da *Intel 8051*, o IDE utilizado é o *IAR Embedded Workbench for 8051* [10].

O kit de desenvolvimento da *Texas Instruments*, contém duas placas *SmartRF04EB*, dois EM e antenas apropriadas.

Na fase de desenvolvimento e teste do sistema que se pretende implementar neste projeto, foi utilizado o *kit* de desenvolvimento da *Texas Instruments*, a placa *SmartRF04EB*. Para facilitar a mobilidade dos módulos móveis, devido ao seu tamanho reduzido e dotado de menos periféricos, optou-se por um outro *kit* da *Texas Instruments*, representado na Figura 2.10, o *SoC battery board* [11].

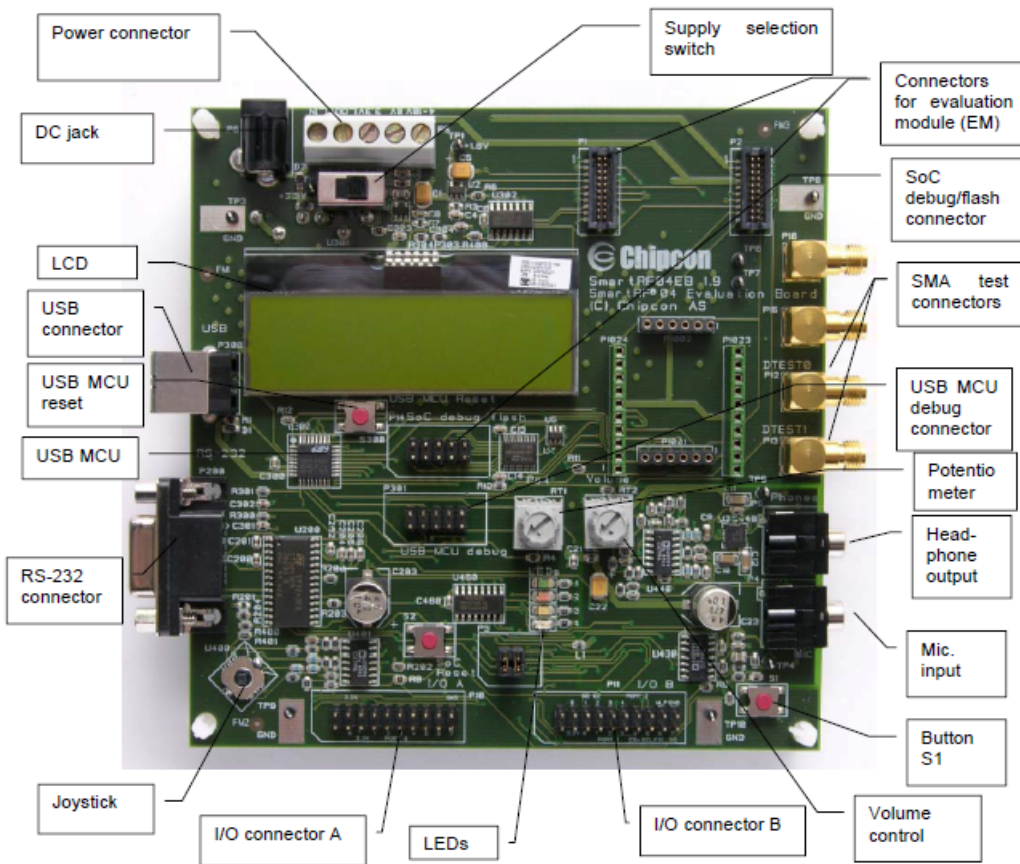


Figura 2.9: Análise geral da *SmartRF04 Evaluation Board* [9]

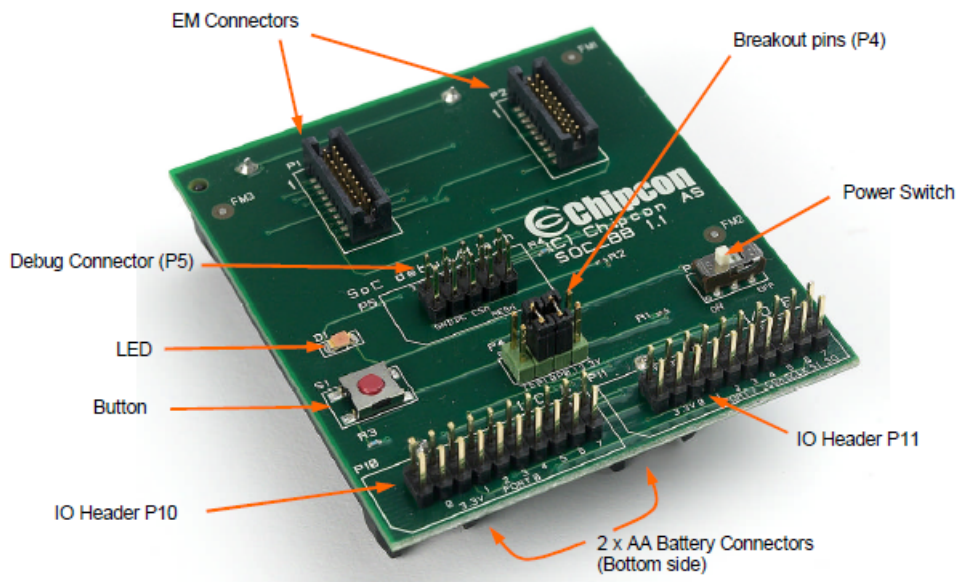


Figura 2.10: *SoC battery board* [11]

2.4.2 Módulo GPS - *Gms-u1LP*

Na Figura 2.11 e na Figura 2.13 estão representados o recetor de GPS e o diagrama de blocos, do módulo *Gms-u1LP* [12], de elevada sensibilidade, tamanho reduzido e baixo consumo de energia do módulo de antena GPS. Este utiliza a solução *GPS MT3329* da *MediaTek* e contém uma antena de receção incorporada, no entanto suporta uma entrada para uma antena externa.

O recetor de GPS é dotado de um modo de economia de energia, SMPS (*Switching Mode Power Supply*) que reduz o consumo geral de energia.

O protocolo de comunicação utilizado é o *NMEA 0183* (ver Secção 2.5.2). Permite a comunicação série através de uma ligação USART, em específico a comunicação UART.

As principais características deste módulo estão descritas na Tabela 2.1.

<i>MediaTek MT3329 single chip</i>
66 canais em modo de pesquisa
Elevada sensibilidade: até -165 dBm de <i>tracking</i>
Baixo consumo de energia @ 3.3 V: 30 mA aquisição, 24 mA <i>tracking</i>
<i>BaudRate</i> por defeito 9600bps
Interface de saída de dados: UART/USB
Protocolo de comunicação: <i>NMEA-0183</i>
Gama de tensão de alimentação (VCC): 3 V a 3.6 V
Gama de Temperatura de funcionamento: -40°C a +85 °C
Pequenas dimensões 16mmx16mmx16mm
Dispositivo de montagem na superfície (SMD)

Tabela 2.1: Principais características *Gms-u1LP* [12]



Figura 2.11: Módulo GPS utilizado [12]

Este módulo foi colocado numa placa, cujo esquema elétrico e *layout* está no anexo A, na Figura 2.12 está a placa de GPS utilizada.

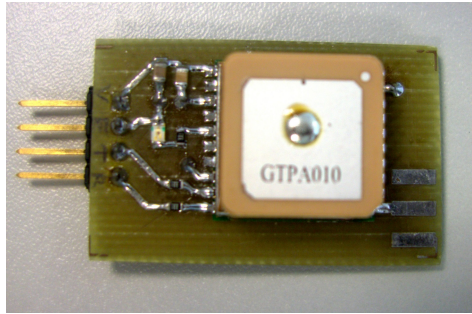


Figura 2.12: Placa com o módulo GPS utilizado

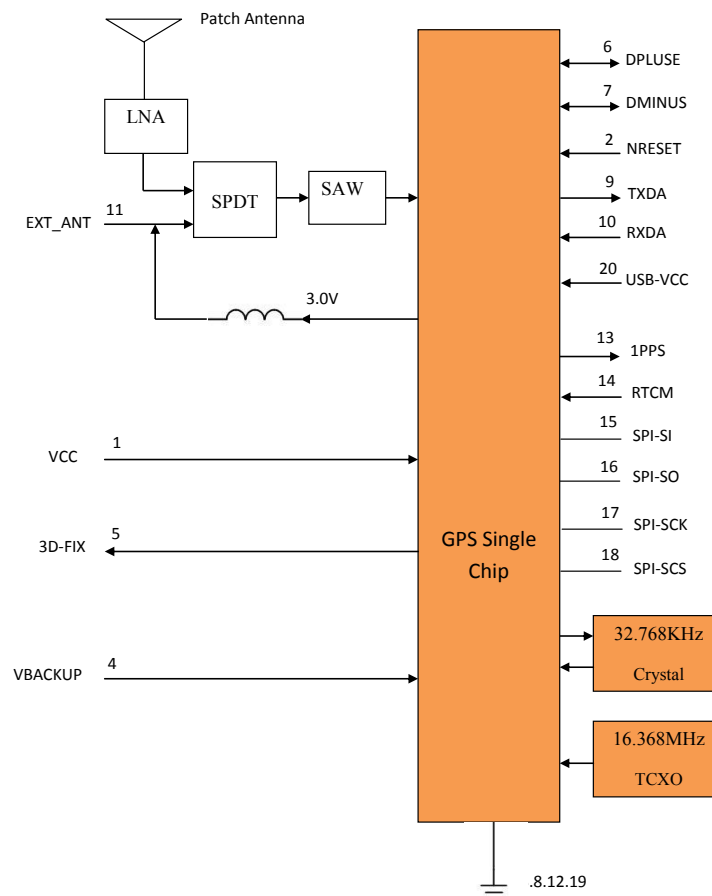


Figura 2.13: Diagrama de blocos do módulo GPS utilizado [12]

2.4.3 SoC de baixa potência sub-1GHz - *SoC CC1110Fx*

Na Figura 2.14 está descrito o diagrama de blocos do *SoC CC1110Fx* [13], no qual se podem observar vários blocos:

- Memória / USARTs / *Timers* / *Watchdog Timer* / *Clock* / Rádio

Devido à elevada quantidade de blocos e para facilitar a análise, a melhor solução é dividir a análise em três grandes categorias:

1. CPU
2. Periféricos
3. Rádio

O CPU no *SoC CC1110Fx* é o 8051 de 8 bits, sendo uma versão melhorada da versão *standard* dos core 8051.

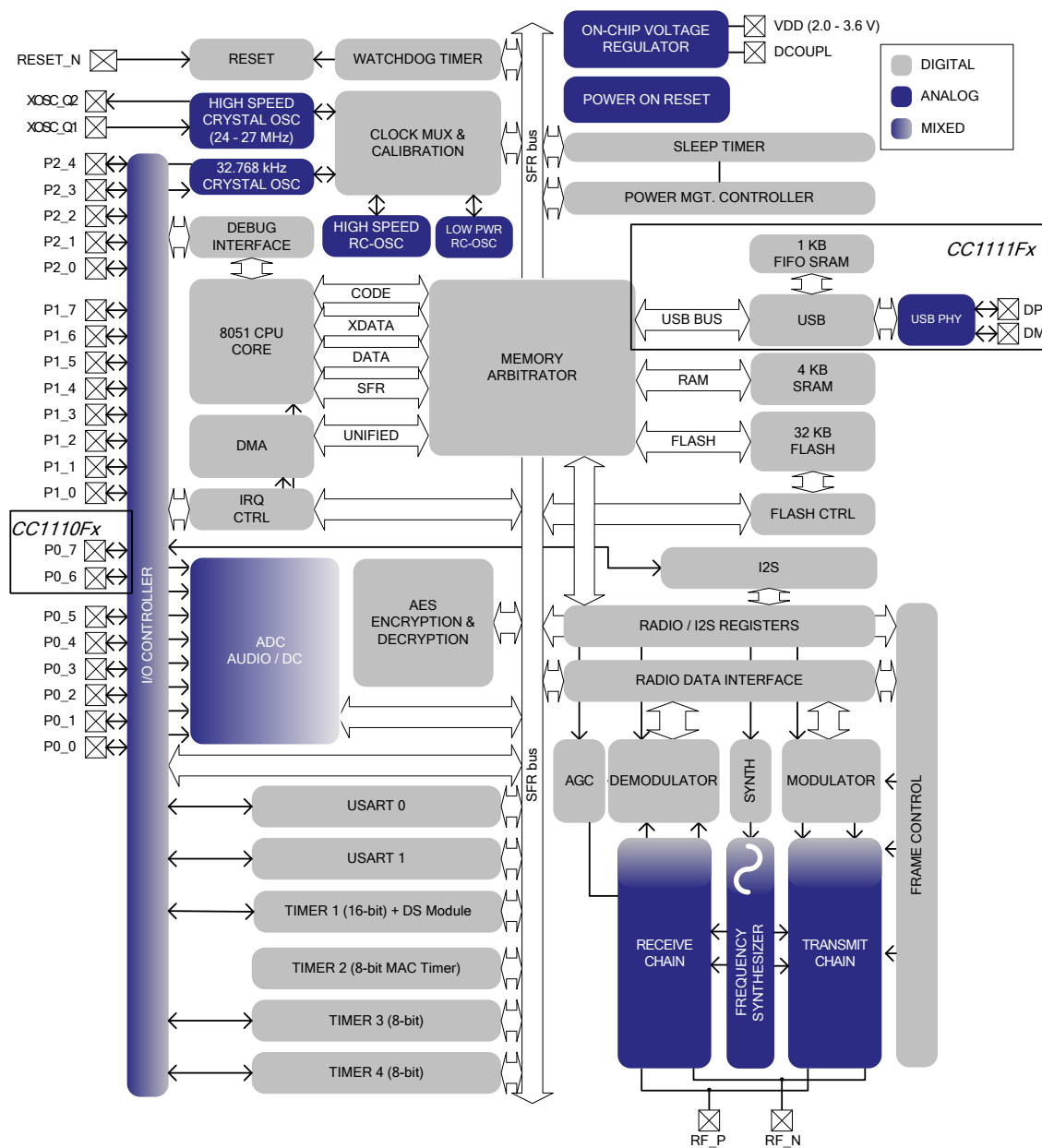


Figura 2.14: Diagrama de blocos do *SoC CC1110* [13]

2.4.3.1 CPU e Periféricos

O CPU é constituído por quatro espaços de memória diferentes:

- CODE
- XDATA
- DATA
- SFR

Para além disso também tem uma interface de *debug* e uma unidade de serviço de interrupção. Quanto ao tamanho da memória, o CPU é dotado no máximo com 32 *kBytes* de memória programável e com 4 *kBytes* de RAM.

Contém duas USARTs, que podem ser configuradas através de SPI (*Serial Peripheral Interface*) *master / slave* ou por UART, em que o *buffer* é *full-duplex* tanto na RX (Recetor) como TX (Transmissor), sendo adequado para taxas de transferências elevadas. Além disso a UART, suporta uma ADC com 7 a 12 bits de resolução e 30 *kHz* a 4 *kHz* de largura de banda, respetivamente.

2.4.3.2 Rádio

O módulo de rádio para além de possuir uma elevada sensibilidade (-110dBm a 1.2KBaud), permite controlar através de programação alguns dados, como é o caso do *data rate* até 500 KBaud, a potência de saída até 10 dBm e a largura de banda do filtro de canal. Este pode ser configurado para operar em três gamas de frequência:

- 300 - 348 *MHz*
- 391 - 464 *MHz*
- 782 - 928 *MHz*

O bloco simplificado do módulo de rádio no *SoC CC1110*, está representado na Figura 2.15.

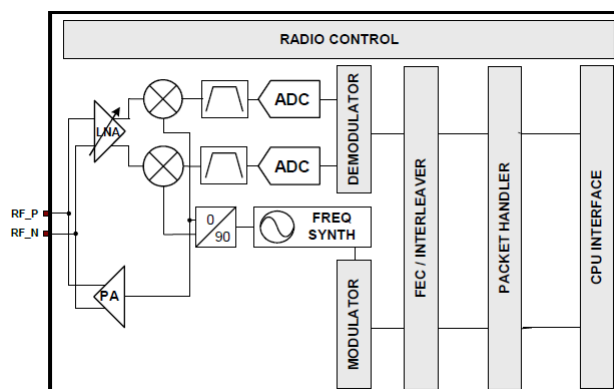


Figura 2.15: Módulo Rádio no *SoC CC1110* [13]

O sinal de RF recebido, é amplificado pelo LNA (*Low Noise Amplifier*), convertido em quadratura (I e Q) para a IF (Frequência Intermédia), neste caso o recetor é do tipo *low-IF*. Na frequência intermédia os sinais I/Q são digitalizados pelas ADCs, o AGC, a filtragem, a desmodulação e sincronização são realizados digitalmente.

O desmodulador contém uma compensação digital para o desvio de frequência, determinado através da diferença entre a frequência do TX e RX, dentro de alguns limites, por estimativa do centro dos dados recebidos. Esta característica só é válida quando usa modulação FSK, GFSK, MSK, no caso de modulação ASK e OOK não é dotado deste desvio. Estimando o nível de sinal no canal gera o nível de RSSI (*Received Signal Strength Indication*).

A transmissão do sinal baseia-se na síntese direta da frequência RF. O sintetizador de frequência é constituído por um VCO (*Voltage-Controller Oscillator*) e um conversor de fase de 90 graus gerando os sinais do LO (Oscilador Local) I e Q, para ser convertido pelos *mixers* no modo de receção.

A frequência de referência utilizada no sintetizador, é gerada pelo cristal oscilador a 26/48MHz, bem como os *clocks* para as ADCs e parte digital.

O CPU usa uma sequência de comandos para controlar as operações do rádio, que podem ser vistos como instruções simples de bytes que permitem iniciar a sequência interna do rádio, como ativar modo receção/transmissão ou ativar a frequência do sintetizador.

O EM do *SoC CC1110F32* utilizado nas placas da Secção 2.4.1, está representado na Figura 2.16.



Figura 2.16: Módulo *SoC CC1110F32* utilizado

2.4.3.3 Formato do pacote de comunicação via rádio

O pacote de dados contém uma estrutura configurável representada na Figura 2.17, de onde se verifica os seguintes campos:

- *Preamble*
- Palavra de sincronização
- Byte de comprimento
- Byte de endereço (opcional)
- *Payload*
- Dois Bytes de CRC (*Cyclic Redundancy Check*) - opcional

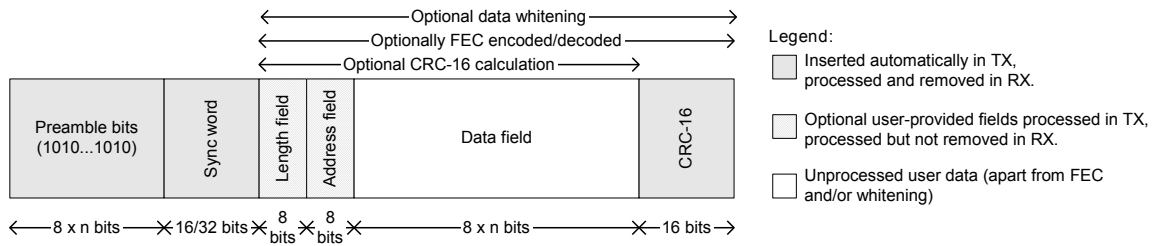


Figura 2.17: Formato do pacote [13]

2.5 Protocolos

2.5.1 *SimpliciTI*

O *SimpliciTI* [14] [15] é um protocolo destinado a redes de RF sub-1 GHz e 2.4 GHz de baixa potência, desenvolvido pela *Texas Instruments*. Tem a vantagem de ter um custo baixo, uma vez que tem no máximo 1 KByte de memória RAM e cerca de 8 KBytes de FLASH, ajustadas de acordo com a configuração utilizada. Foi projetado para facilitar o desenvolvimento de aplicações por parte do utilizador, nas várias plataformas de RF da TI, tais como as famílias de SoCs *CC1XXX / CC25XX / CC2330*. Estas plataformas têm grande aplicabilidade em dispositivos móveis alimentados a bateria, como é o caso de sensores, atuadores e pequenas redes sem fios.

O protocolo baseia-se numa comunicação *peer-to-peer*, que suporta duas topologias (ver Secção 2.5.1.3):

- Estrela
- *Peer-to-Peer* simples

No *SimpliciTI*, como o mecanismo de *routing* não está disponível, a topologia em estrela, deve-se ao facto de ser possível criar por software três tipos de objetos lógicos (ver Secção 2.5.1.2).

Suporta também um pequeno conjunto de APIs (*Application Programming Interface*), referidas na Tabela 2.2, que apoiam a comunicação entre os dispositivos, ou seja configuram e inicializam a rede, interligando os dispositivos de modo a ser possível a troca de mensagens entre eles.

2.5.1.1 Camadas Lógicas

Na Figura 2.18 estão representadas as camadas lógicas do *SimpliciTI*, cabendo ao utilizador implementar apenas a camada de aplicação. Nesta camada lógica é onde o utilizador desenvolve a sua aplicação (por exemplo controlar sensores) e estabelece a ligação da rede através das APIs (Tabela 2.2) do *SimpliciTI*.

Como se pode verificar pela análise da mesma figura, que a arquitetura deste protocolo não possui uma camada de transporte, então, se necessário, o utilizador tem que desenvolver um transporte fidedigno, na camada de aplicação.

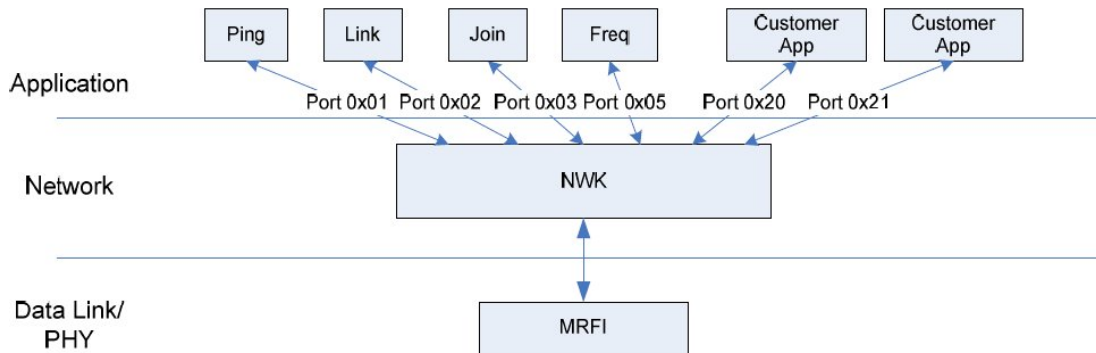


Figura 2.18: Camadas lógicas *SimpliciTI* [15]

API	Descrição
Init	Inicializa a rede
Link/LinkListen	cria/liga a um <i>link</i> de comunicação bidirecional
Send/Receive	envia/recebe pacotes relativamente a um <i>link</i>
Ioctl	configura a frequência de rádio

Tabela 2.2: API (*Application Programming Interface*)

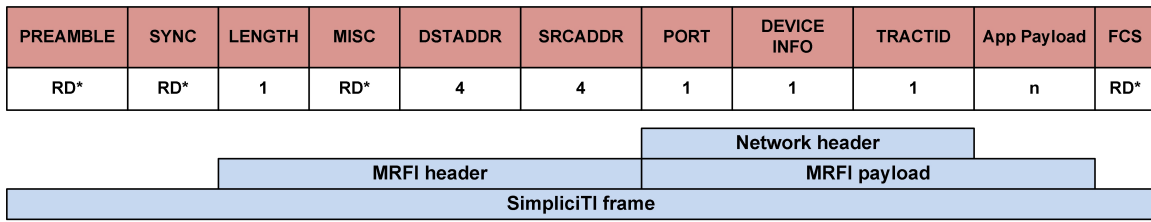
- Camada de aplicação

As aplicações estão conectadas à camada NWK, através de portas "Well Known", no entanto, todos os portos com valores são usados unicamente, pela camada de rede para gestão da rede.

Durante o processo de *link*, isto é, durante o estabelecimento de ligação numa rede, são atribuídos os portos destinados às aplicações, que podem ser vistos como um *socket* identificador. Sendo esta operação bem sucedida, a aplicação recebe um identificador de ligação, designado por *LinkID*. Sempre que o utilizador pretenda enviar ou receber mensagens de outro elemento utiliza o *LinkID* que foi associado à ligação efetuada [15].

- Camada de rede

Na camada de rede, NWK, é feita a gestão das filas de receção e transmissão, quando um pacote (Figura 2.19) é recebido, é feita a separação do cabeçalho e o *payload* vai ser encaminhado para o destino, referenciado por um número de porto (extensão de endereço). O pacote é constituído por vários campos, dos quais se encontra o *AppPayload*, que corresponde à informação que se pretende enviar, o *n* representado na Figura 2.19 está compreendido entre 0 e 52 Bytes.



*RD: Radio-dependent populated by MRFI or handled by the radio itself

Figura 2.19: Exstrutura dos pacotes *SimpliTI*

- Camada física

A camada física, PHY ou *Data Link* (MAC / LLC), tem a função de suportar o módulo rádio, uma vez que os dados recebidos pelo Rádio já vêm formatados, deste modo esta camada não existe formalmente, dividindo-se em duas entidades:

- BSP (*Board Support Package*): abstrair a interface SPI das camadas NWK que interagem com o rádio;
- MRFI (*Minimal RF Interface*): encapsular as diferenças entre os rádios *hardware* suportados para a camada de NWK.

2.5.1.2 Objetos Lógicos

Os três tipos de objetos lógicos são:

- *End Devices* ou ED
- *Access Points* ou AP
- *Range Extender* ou RE

End Devices: Os *End Devices* são os dispositivos mais simples, comparando com os outros tipos e estão situados nos extremos da rede, trocando mensagens com outros *End Devices* ou com o *Access Point*, cuja topologia é *peer-to-peer* simples e em estrela, respectivamente. Possuem o modo *sleep* para gerir energia e aumentar eficiência energéticas.

Access Points: Numa rede o dispositivo definido como *Access Point* deve ser único e atua como um *hub* (elemento central da rede), numa rede de topologia em estrela. O *Access Point* tem que estar sempre ativo para receber todos os pacotes dentro do alcance. Possibilita mecanismos de *Store and Forward* para *End Devices* que se encontrem no modo *sleep* e gestão de dispositivos em rede em termos de segurança, como permissões de ligação e chaves de segurança.

Range Extender: Estes módulos são destinados a aumentar o alcance do rádio numa rede, então à semelhança do ponto anterior, os dispositivos configurados como *Range Extender*, têm de estar sempre ativos. A principal função é repetir todas as mensagens recebidas que quando colocado entre dois elementos, expande o alcance da rede.

Os *Range Extender* são usados quando há problemas de estabelecimento de ligação, devido às limitações de alcance impostos. As redes estão limitadas a quatro *Range Extender*.

2.5.1.3 Exemplos de Redes

Na Figura 2.20 estão representados alguns exemplos de topologias suportadas pelo *SimpliciTI*, mas para além destas existem outras, como é o caso simples de comunicação apenas entre dois ED. O objetivo de ambos os exemplos é enviar mensagens do ED1 para o ED2, em que as mensagens entre os EDs passam pelo *Access Point*, sendo este a encaminha-las até ao destinatário. A Figura 2.20b ilustra a típica aplicação das redes *SimpliciTI*, constituída por todos os elementos, onde a informação antes de chegar ao AP é repetida através do RE.

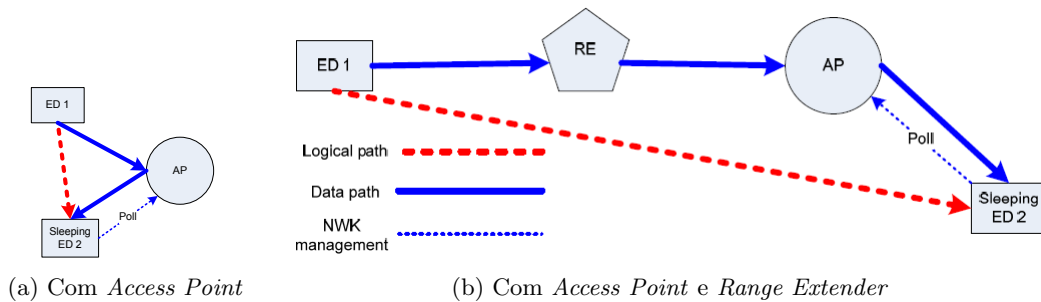


Figura 2.20: Redes *SimpliciTI Store-and-Forward peer-to-peer* [14]

2.5.2 NMEA

A *NMEA* (*National Marine Electronics Association*) [16] [17] tem como missão ser uma organização auto-sustentável, cujo objetivo é melhorar a tecnologia e segurança dos equipamentos eletrônicos de navegação marítimos, permitindo a uniformização das comunicações entre dispositivos. Este protocolo, também designado por *NMEA 0183*, usa mensagens específicas para cada tipo de equipamento, GPS, bússolas e velocímetros. Essas mensagens específicas têm duas letras que identificam o dispositivo em questão, no caso do recetor de GPS é o GP.

As mensagens têm o seguinte formato:

1. vêm em formato ASCII
2. começam sempre com o caracter '\$'
3. terminam com os caracteres $\langle CR \rangle$ e $\langle CL \rangle$ (*carriage return / line*)
4. tamanho máximo de 80 caracteres
5. dados estão separados por vírgulas.

Este standard é composto também por um campo *checksum* representado por dois dígitos hexadecimais, que começa quando é encontrado o caracter * e está entre os caracteres de finalização. O *checksum* é calculado através da soma de todos os caracteres entre o \$ e * , excluindo estes dois.

Este *standard* recomenda que a transmissão das mensagens seja feita através de interface série, *4800,8N1* equivalente a *baudrate* (4800), *data bits* (8), *paridade* (N) e *stop bit* (1), configuração típica de dados. Na configuração por defeito, tem cinco tipo de mensagens de saída:

GGA: *Global Positioning System Fix Data*

RMC: *Recommended Minimum Data*

GSV: *Satellites in View*

GSA: *DOP and Active Satellites*

VTG: *Course Over Ground Speed*

2.5.2.1 NMEA-RMC

Neste sistema de localização, o módulo de GPS, referido na Secção 2.4.2 utiliza uma interface física diferente da referida na Secção 2.5.2, estabelecendo uma interface série compatível com a UART *9600,8N1* [18].

O tipo de mensagens utilizadas é *NMEA-RMC* [19] uma vez que fornece a informação mínima para navegação, seguindo-se um exemplo de mensagem recebida:

```
$GPRMC,202354.000,A,4038.0220,N,00838.9425,W,0.21,213.72,150714,,A*78
```

Na Tabela 2.3 está uma análise rápida dos campos da mensagem recebida.

Nome	Descrição	Exemplo
<i>Message ID</i>	<i>RMC protocol header</i>	\$GPRMC
<i>Time UTC</i>	hhmmss.sss	202354.000
<i>Status</i>	A- <i>data valid or V-data no valid</i>	A
<i>Latitude</i>	ddmm.mmmm	4038.0220
<i>N/S Indicator</i>	N- <i>north or S- south</i>	N
<i>Longitude</i>	dddmm.mmmm	00838.9425
<i>E/W Indicator</i>	E- <i>east or W- west</i>	W
<i>Speed over Ground</i>		0.21
<i>Course over Ground</i>		213.72
<i>Data</i>	ddmmyy	150714
<i>Magnetic Variation</i>		
<i>Mode</i>	A- <i>Autonomous mode</i> D- <i>Differential mode</i> E- <i>Estimated mode</i>	A
<i>Checksum</i>		*78
< CR > e < CL >	<i>End of message termination</i>	

Tabela 2.3: Campos da mensagem *NMEA-RMC* [18]

2.5.3 Comunicação Série

Quando se pretende trocar informação entre um micro-controlador e os periféricos existem duas possibilidades de o fazer [20]:

- Ligações paralelas
- Ligações em série.

Ligações paralelas: Os dados são enviados simultaneamente para o dispositivo de transmissão e receção. Esta técnica é eficiente do ponto de vista temporal, necessitando de elevada sincronização entre os dispositivos e linhas separadas por cada bit da palavra.

Ligações em série: Consiste no envio de dados bit a bit sequencialmente, através de um canal de comunicação, recorrendo a um *bus* de dados. Esta é uma técnica muito utilizada pois é menos exigente ao nível da sincronização e de menor custo do canal de comunicação (*bus*), comparando com a ligação paralela. Devido à implementação da ligação série ser mais fácil, é a mais utilizada diariamente, exemplos disso são as ligações de baixo custo como *RS-232*, *SPI*, *I²C* e *USB*.

Existem dois tipos de comunicação série, a síncrona e assíncrona, que dependem da partilha ou não do sinal de relógio [21].

- Síncrona

Na comunicação síncrona o recetor não tem relógio interno, ou seja este não pode sincronizar de forma independente a leitura da linha dos dados, com a taxa de transmissão do transmissor. Para resolver este problema, o sinal de relógio é partilhado pelo transmissor e recetor, agindo como uma linha de controlo que informa o recetor quando deve ler a linha de dados. Assim, o transmissor e recetor devem sincronizar o acesso à linha de dados, de forma a obter sucesso na transmissão dos dados. Dependendo da transição definida - positiva (*rising edge*) ou negativa (*falling edge*) - o bit é amostrado no instante que ocorre essa transição [22].

Nestas transmissões o uso do *start e/ou stop bits* bem como o uso de sinais dedicados são frequentes para seleccionar o respetivo dispositivo.

Na Figura 2.21 está ilustrado a transferência de dados, relativamente ao sinal de relógio.

- Assíncrona

Na comunicação assíncrona, os dados são transmitidos em tramas (pacote de bits) bem definidas, que contêm bits de dados e de controlo. As tramas, Figura 2.22, são constituídas por:

- *start bit*
- sete ou oito bits de dados
- bits de paridade
- *stop bit*

O *start bit* e o *stop bit* são usados para sinalizar o início e fim da trama, respetivamente, o bit de paridade é um bit especial cuja funcionalidade é detetar erros de transmissão.

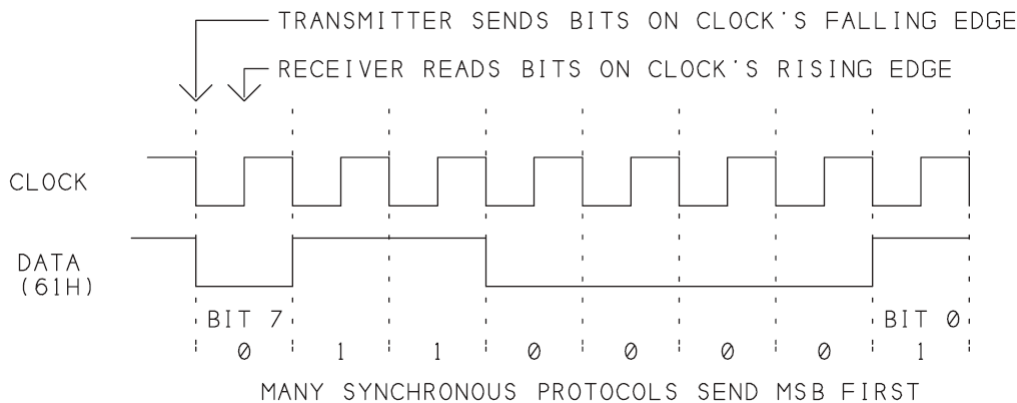


Figura 2.21: Esquema da trama na comunicação síncrona [22]

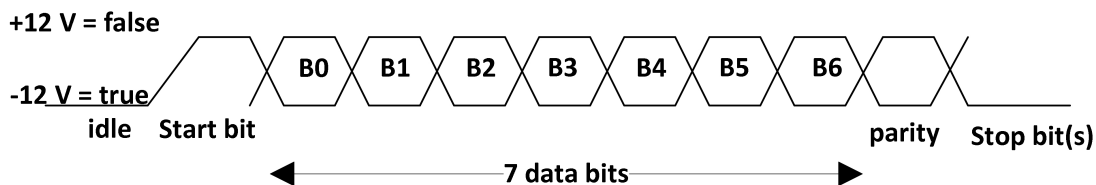


Figura 2.22: Esquema da trama na comunicação assíncrona

2.5.3.1 USART

A ligação de dados USART (*Universal Synchronous Asynchronous Communication Receiver Transmitter*) é usada por comunicação série síncrona ou assíncrona na transferência de dados, o que não acontece com a ligação de dados UART (*Universal Asynchronous Communication Receiver Transmitter*), que permite apenas uma comunicação assíncrona.

Normalmente a trama de dados série, na Secção 2.5.3 assume a seguinte configuração:

- 8 bits de dados
- 1 *stop bit*
- não tem paridade.

2.5.3.2 I²C

No protocolo I²C (*Integrated Controller Circuit*) ou TWI (*Two Wire Interface*)[23] a transmissão de dados é feita segundo o modo assíncrono. Este protocolo utiliza apenas dois fios bidirecionais para comunicar entre dois ou mais ICs, nomeadamente o SDA (*Serial Data*) e SCL (*Serial Clock*), onde o primeiro é o barramento onde os dados são transmitidos, enquanto que o segundo é o barramento com o sinal de relógio, utilizado para a sincronização sendo controlado pelo *Master*.

Na Figura 2.23 está ilustrado um exemplo de comunicação I²C, onde se pode verificar que um dos dispositivos é considerado o *Master*, que controla todo o processo enquanto que, os restantes dispositivos designados por *Slaves*, respondem ao pedido do *Master*. O sinal de

ACK (*Acknowledgement*) é enviado / recebido por ambos após a transferência, reduzindo assim o aparecimento de erros.

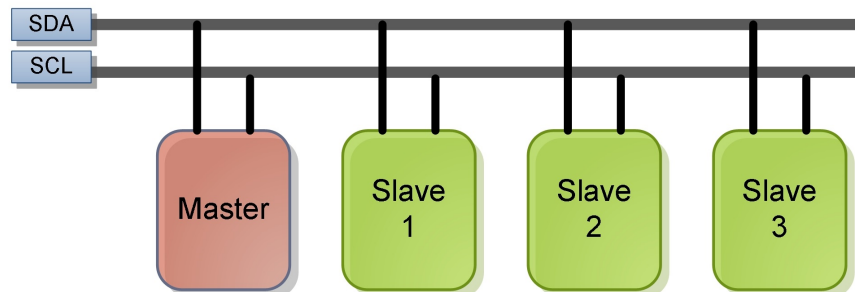


Figura 2.23: Diagrama de blocos I²C

2.6 Configurações

2.6.1 Dispositivos Móveis

Os vários periféricos *SoC CC1110*, módulo GPS e recetor FM são inicializados assim que é ligada a alimentação.

O módulo de GPS após da inicialização é feita a configuração das mensagens que se pretende receber e qual a sua periodicidade com que o GPS realiza o *fix* dos satélites, neste caso o tipo de mensagens é *NMEA-RMC*. De modo a ser possível fazer as configurações no módulo de GPS, é necessário inicializar a UART e configura-la para receber e enviar as mensagens de e para o GPS.

Para definir qual o tipo de mensagem que se pretende receber do GPS, utiliza-se o comando *PMTK314*, do protocolo *NMEA*, onde cada campo após a primeira vírgula representa um tipo de mensagem. Na prática, quando se tentou obter o tipo de mensagem que era suposto (*NMEA-RMC*) através da mensagem seguinte:

```
$PMTK314,0,2,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0*28
```

onde o 2 representa a frequência (em Hz) a que se pretende fazer *fix*, no entanto não foi obtido sucesso neste procedimento. Enviou-se então o seguinte pedido:

```
$PMTK314,0,2,0,2,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0*28
```

com o qual eram recebidos dois tipos de mensagens (GGA e RMC). Neste procedimento, obteve-se sucesso e o módulo GPS começou a enviar essas mesmas mensagens, então teve que ser feita uma seleção da informação de modo a obter apenas o pretendido (RMC). Após se obter a mensagem RMC, a informação contida nela é extraída e colocada numa estrutura, de modo a facilitar o acesso aos diferentes campos da mesma.

O algoritmo utilizado nos módulos móveis ou também designados por ED, após o AP reconhecer ED, está representado na Figura 2.24.

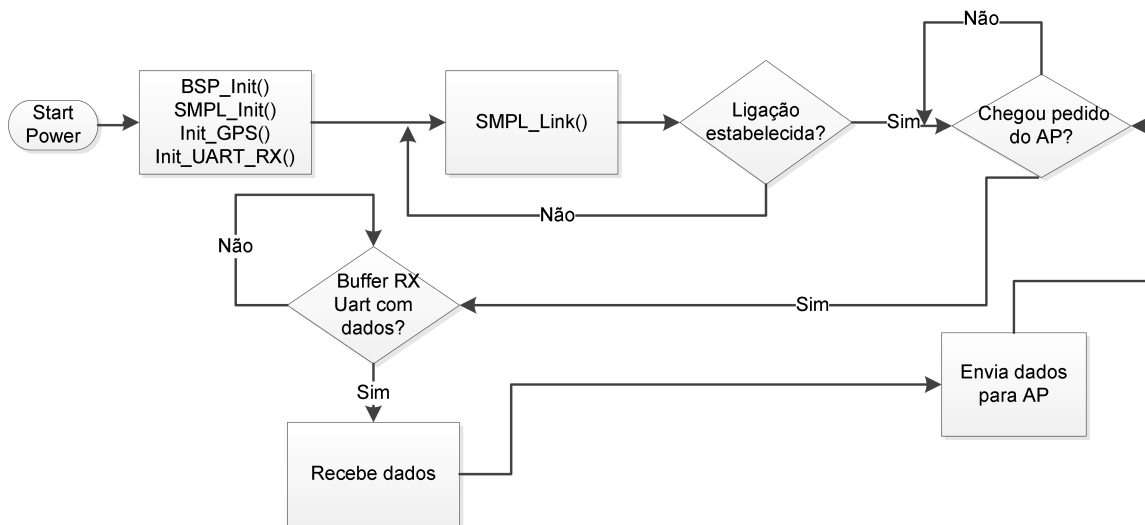


Figura 2.24: Algoritmo utilizado no módulo móvel

2.6.2 Módulo fixo

Inicialmente neste dispositivo, são feitas as configurações necessárias para o funcionamento do mesmo, sendo estas o iniciar a *board*, o protocolo *SimpliTI* e a UART que liga o dispositivo ao PC.

A este módulo chegam sucessivas mensagens enviadas dos vários ED, no entanto neste módulo é definida uma *callback* que funciona com interrupções, onde se vai testar se o módulo fixo conhece o identificador dos ED ou não. Se não conhecer, será adicionado a uma lista que contém todos os identificadores conhecidos.

Após estabelecida a ligação (*LinkListen*), vai receber as mensagens (*Receive*) e fazer o tratamento das mesmas para um determinado ED (*Processa dados*). Neste ponto, as mensagens com a informação com a localização dos ED será enviada para o PC.

Quando terminado o processamento dos dados, o módulo fixo fará um pedido ao ID seguinte, fazendo o mesmo procedimento que para o caso anterior. Se o ID seguinte ultrapassar o último ID a ser colocado na lista, o ID será colocado a zero.

Finalizado este processo, será atendido o próximo ID, sendo realizado o mesmo procedimento descrito anteriormente.

Ainda no AP, os dados são recebidos no PC (no terminal PuTTY) através de uma ligação UART e são colocados num ficheiro, para posteriormente serem colocados num servidor. O servidor é responsável por sobrepor as coordenadas num mapa.

O algoritmo base utilizado para o módulo fixo está representado na Figura 2.25.

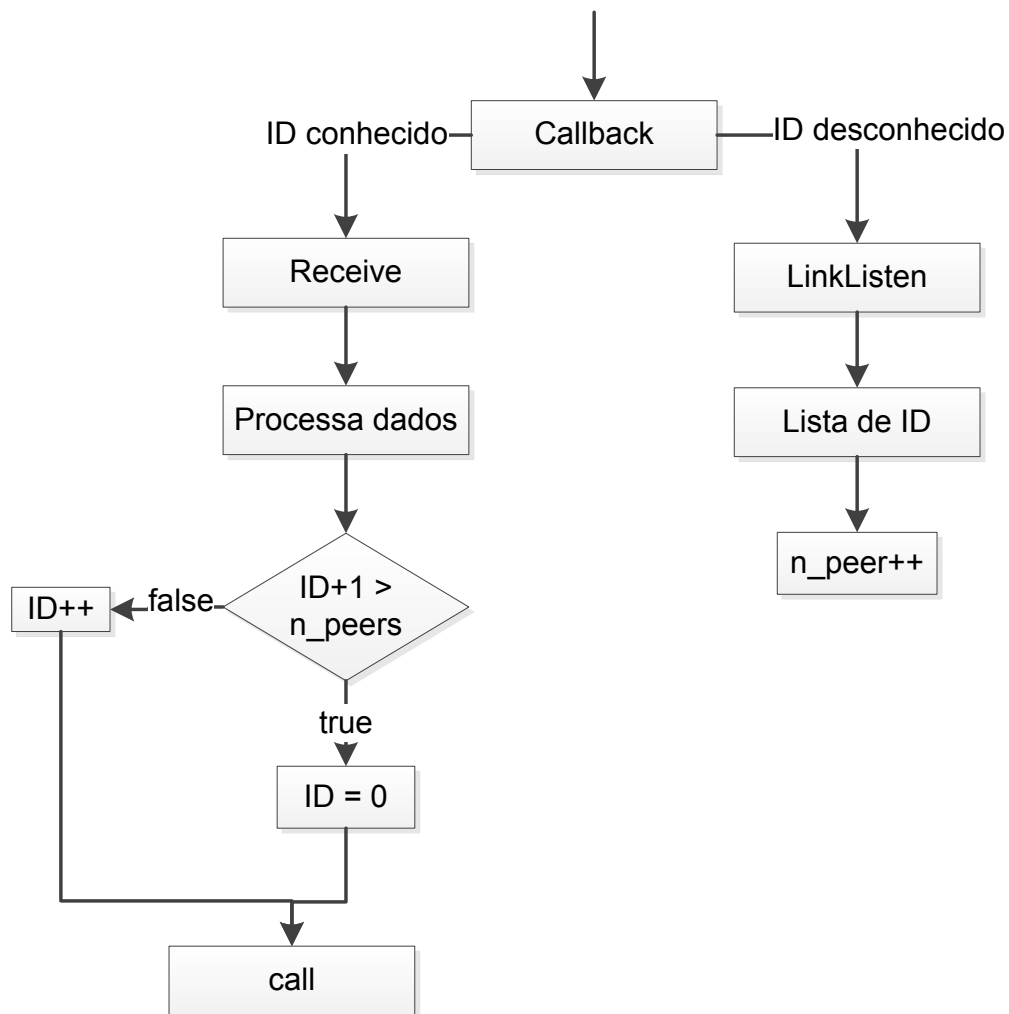


Figura 2.25: Algoritmo utilizado no módulo fixo

2.7 Tratamento de Mensagens

2.7.1 Mensagens enviadas entre módulos móveis e o AP

O formato das mensagens que os módulos móveis enviam com a informação retirada do módulo GPS, é constituído pelo ID da mensagem e o *Payload*.



Figura 2.26: Estrutura da mensagem enviada dos módulos móveis para o AP

A mensagem recebida periodicamente do módulo de GPS através da UART, tem o seguinte conteúdo:

```
$GPRMC,202354.000,A,4038.0220,N,00838.9425,W,0.21,213.72,150714,,A*78
```

Na Secção 2.5.2, foi referido como se analisam os dados desta mensagem, separando-os nos diversos campos, um dos quais o *status*. Este campo indica se as mensagens são válidas ou não, ou seja enquanto não existir cobertura de sinal GPS, as mensagens enviadas do módulo GPS apresentam nesse campo um caracter 'V', que significa que a mensagem é inválida, sendo válida quando nesse campo aparecer um caracter 'A'.

Para tornar a visualização da informação mais fácil, esta pode ser apresentada como na Figura 2.27, em que a informação foi retirada e imprimida num terminal, quando se efetuou um teste que consistiu na conexão do ED ao PC.

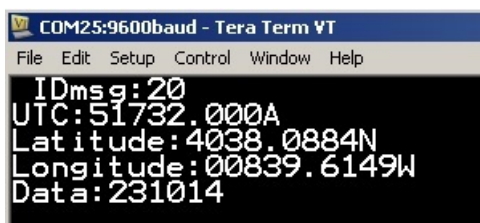


Figura 2.27: Informação recebida nos módulos móveis

A informação devidamente retirada destas mensagens está agrupada no *Payload*, que é constituído por informação sobre o tempo, coordenadas e data.

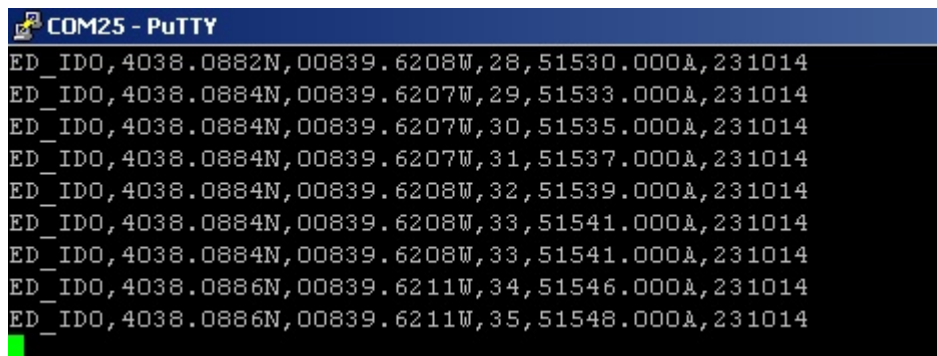
De seguida estão os campos da estrutura da mensagem enviada para o *Access Point*:

- **Mensagem ID:** 1 byte
- **Payload:** 38 bytes
 - **UTC:** 10 bytes
 - **Status:** 1 byte
 - **Latitude:** 9 bytes
 - **Indicador_NS:** 1 byte
 - **Longitude:** 10 bytes
 - **Indicador_EW:** 1 byte
 - **Data:** 6 bytes

2.7.2 Mensagens enviadas entre o AP e o PC

As mensagens recebidas do ED são tratadas e enviadas pela UART para um PC, sendo posteriormente colocadas num servidor.

As mensagens recebidas no PC estão representadas na Figura 2.28, em que através do terminal PuTTY são imprimidas num ficheiro, da mesma forma como aparecem no terminal.



```
COM25 - PuTTY
ED_IDO,4038.0882N,00839.6208W,28,51530.000A,231014
ED_IDO,4038.0884N,00839.6207W,29,51533.000A,231014
ED_IDO,4038.0884N,00839.6207W,30,51535.000A,231014
ED_IDO,4038.0884N,00839.6207W,31,51537.000A,231014
ED_IDO,4038.0884N,00839.6208W,32,51539.000A,231014
ED_IDO,4038.0884N,00839.6208W,33,51541.000A,231014
ED_IDO,4038.0884N,00839.6208W,33,51541.000A,231014
ED_IDO,4038.0886N,00839.6211W,34,51546.000A,231014
ED_IDO,4038.0886N,00839.6211W,35,51548.000A,231014
```

Figura 2.28: Mensagens recebidas no PC

A estrutura destas mensagens está representada na Figura 2.29, em que a latitude e a longitude já contém os indicadores N/S e E/W, respetivamente.

A única diferença destas mensagens com as da Secção 2.7.1, é que estas contêm o identificador do ED que está a ser analisado.

ED_ID	Latitude	Longitude	Mensagem ID	UTC	Estado	Data
-------	----------	-----------	-------------	-----	--------	------

Figura 2.29: Estrutura da mensagem enviada do AP

As coordenadas recebidas representadas na Figura 2.28, serão sobrepostas num gráfico, de modo a permitir a observação do percurso de cada dispositivo móvel, e em caso de perda saber a localização exata dos mesmos.

No entanto, essas coordenadas que são recebidas no *Access Point* e enviadas pela UART, estão no formato graus, minutos e décimas de minutos (DMM) e necessitam de ser convertidas para coordenadas em graus decimais (DD), onde os minutos e décimas de minutos têm que ser convertidos para graus, para serem colocadas posteriormente num gráfico, ver Figura 2.30.

A conversão das coordenadas é feita no servidor local, através do formato ilustrado na Figura 2.28.

Para a conversão é necessário:

1. Separar os graus dos minutos e segundos
2. Converter os mm.mmmm para graus, ou seja (mm.mmmm / 60)
3. Somar aos graus do ponto 1 os graus calculados no ponto 2.

Na Figura acima está representada apenas uma mensagem recebida, no módulo fixo, para se obter este resultado utilizou-se uma API do *google maps*, *Simple Markers*[24], que é desenvolvida em JavaScript e HTML (*HyperText Markup Language*).

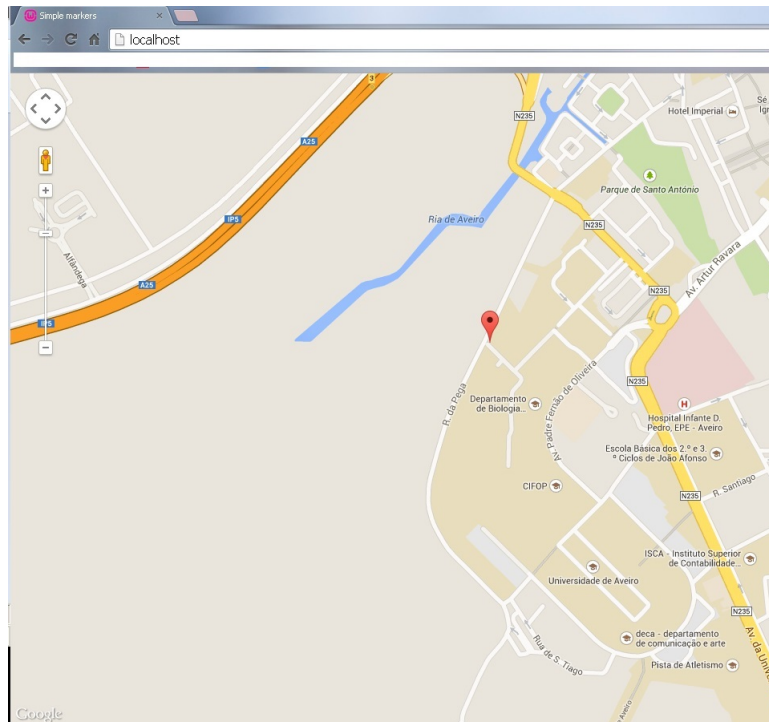


Figura 2.30: Visualização da mensagem enviada do AP

Nesta foram feitas algumas adaptações na linguagem de programação PHP (*Hypertext Preprocessor*), de modo a ser possível fazer a interação com o servidor onde está o ficheiro com as coordenadas retiradas do GPS.

No Anexo E estão as alterações realizadas na API.

Capítulo 3

Sistemas de Radiodifusão para *optimists*

Nos dias que correm, o termo sem fios está associado a uma variedade de tecnologias e dispositivos, desde *smartphones* a computadores, impressoras, *headphones* entre outros, que interligam um ou mais métodos. No caso dos telemóveis incluem as tecnologias de WiFi, *Bluetooth*, redes 3G, 4G e mais recente 5G.

A comunicação sem fios veio revolucionar o mundo das telecomunicações, permitindo a transmissão de informação à distância sem ter necessidade de ajuda de fios, cabos ou outros condutores elétricos.

O desenvolvimento das comunicações sem fios deve-se aos trabalhos pioneiros de Faraday, Gauss, Maxwell, Hertz e Marconi.

Michael Faraday mostrou que o movimento de um íman próximo de um condutor gera uma corrente induzida, ou seja variando o campo magnético produz-se um campo elétrico.

James C. Maxwell após os trabalhos feitos por Faraday, previu a existência de radiação eletromagnética e formulou a teoria de Maxwell, que foi verificada experimentalmente por Hertz e que tem perdurado até à atualidade. Estes trabalhos abriram o caminho para o desenvolvimento das comunicações sem fios.

Guglielmo Marconi foi a primeira pessoa a tentar transmitir informação via rádio, obteve sucesso e em 1895 conseguiu transmitir a uma distância de dois quilómetros [25].

3.1 Comunicação via Rádio

O sistema de comunicação via rádio, consiste na transmissão de informação através de ondas de rádio, cujo o modo está representado num modo geral e simples pelo diagrama de blocos, ilustrado na Figura 3.1. Nesse mesmo diagrama de blocos estão três entidades fundamentais [25], deste modo de comunicação sendo eles o transmissor, o canal de transmissão e o recetor.



Figura 3.1: Diagrama de blocos simples das entidades fundamentais da transmissão via Rádio

- Informação

A informação pode ser um sinal analógico, como o áudio, vídeo, ou parte de um texto escrito em qualquer linguagem. Para que seja possível transmitir a informação, é necessário convertê-los em sinais elétricos, como é o caso do microfone ou câmara de vídeo, que converte a voz ou o vídeo, respetivamente, em sinais elétricos.

- Transmissor

O transmissor converte um sinal elétrico numa forma apropriada para a transmissão através do canal físico ou meio de comunicação. Por exemplo, na transmissão de rádio e televisão a Comissão Federal de Comunicações (FCC), específica para cada uma das estações emissoras uma faixa de frequências, evitando assim interferências. Neste caso o transmissor tem um papel importante, pois converte o sinal de informação a enviar para as faixas de frequências atribuídas para cada estação.

- Canal de transmissão

É o meio físico usado para transmitir o sinal até ao recetor, pode ser o ar (meio não guiado) no caso de se tratar de transmissão sem fios. Uma das características do canal é o facto de o sinal transmitido ser danificado devido a vários mecanismos, sendo o ruído aditivo o mais comum, gerado no *front-end* do recetor, onde a amplificação do sinal é feita. O ruído pode ser criado pelo Homem, condições atmosféricas ou também criado pela interferência de outros utilizadores do canal.

- Recetor

O recetor tem como função recuperar o sinal de mensagem contido no sinal recebido, no caso que o sinal de mensagem é transmitido por modulação, o recetor tem que executar a desmodulação a fim de obter a mensagem a partir da senoide. Como o sinal para desmodular contém ruído aditivo, o sinal de mensagem desmodulada terá alguma degradação no recetor.

3.2 Descrição do sistema desenvolvido

Nos treinos de vela classe *optimists*, o treinador depara-se com algumas dificuldades na comunicação com os alunos, devido a fatores climáticos, como é o caso do vento e à distância que os alunos podem estar do barco do treinador. Para melhorar os treinos optou-se por desenvolver uma solução que passa por implementar um dispositivo de transmissão de áudio, para o barco do treinador e um dispositivo de recepção, para cada *optimists*. Esta comunicação será feita via *broadcast*, ou seja apenas o treinador pode ser ouvido.

No barco do treinador existirá um transmissor de áudio, constituído por o módulo de transmissão FM e um microfone. Na Figura 3.2 está representado o sistema de transmissão FM e na Figura 3.3 está o módulo de recepção, no qual tem os *headphones* em vez da coluna impermeável.

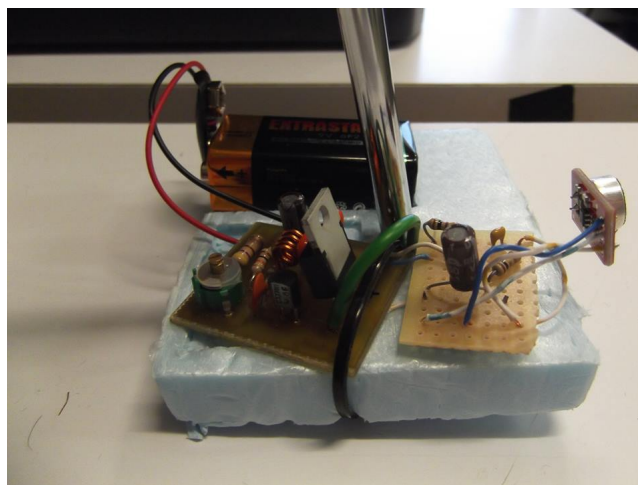


Figura 3.2: Módulo de transmissão

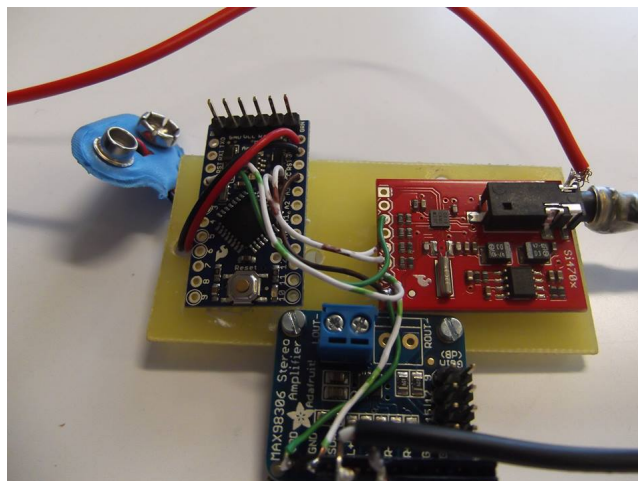


Figura 3.3: Módulo de recepção

Cada um dos *optimists*, terá adaptado um sistema de recepção, dotado de um módulo de recepção e de uma coluna impermeável, em alternativa à coluna numa fase de testes, podem

ser utilizados uns *headphones*. Na Figura 3.4, está um esquema de funcionamento.

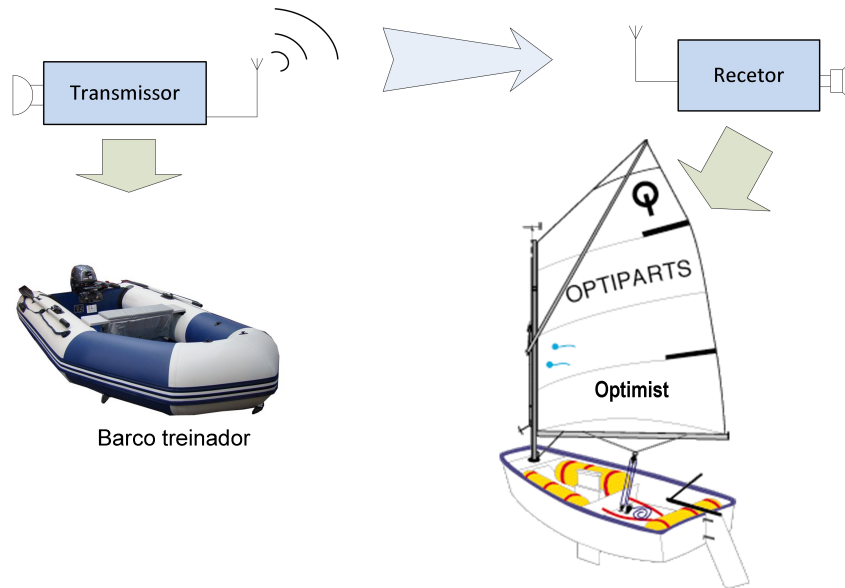


Figura 3.4: Diagrama de blocos do sistema de radiodifusão.

3.3 Recetor de áudio

Este módulo é constituído por um Arduino e um *chip Si4703 FM Tuner*.

3.3.0.1 *Si4703 FM Tuner Breakout*

O recetor usado para esta solução baseia-se no *Si4703*[26], cuja tecnologia de processo utilizada é a CMOS, resultando numa solução completamente integrada. O dispositivo permite aos ouvintes de FM, uma adaptação em diversos ambientes de transmissão FM, através de uma interface de programação simplificada.

Tem incorporado um processador digital europeu RDS (*Radio Data System*) e um US RBDS (*Radio Broadcast Data System*), dotados de todos os símbolos necessários para descodificação, sincronização, deteção e correção de erros.

Ao nível de arquitetura, de modo a reduzir os componentes externos e eliminar a necessidade de ajustes de fábrica, a tecnologia utilizada é a digital *low-IF*.

O diagrama de blocos está apresentado na Figura 3.5, onde se pode verificar a existência de vários módulos para além do *chip* em questão, como é o caso do amplificador, controlador e antena exterior (cabo de *headphone*). O *design* e arquitetura da antena pode aumentar o desempenho do sistema.

O *Si4703* tem integrado um LNA que suporta qualquer frequência da banda 76 a 108 MHz e um módulo AGC (*Automatic Gain Control*) que controla automaticamente o ganho do LNA de forma a otimizar a sensibilidade.

A saída do misturador de quadratura é amplificada, através do PGA (*Programmable Gain Amplifier*), digitalizado com elevada resolução, nas ADCs e posteriormente filtrado. Após a

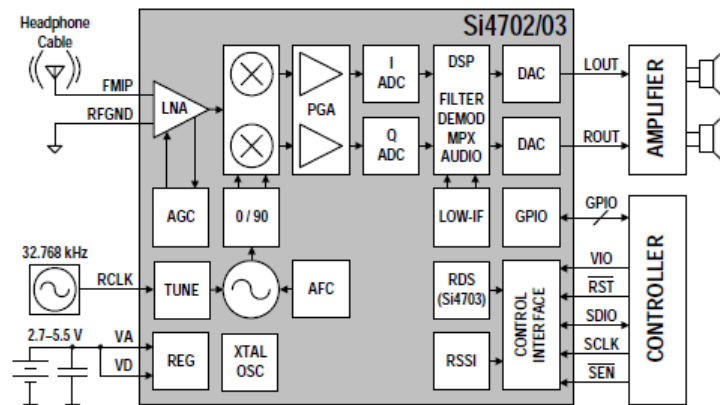


Figura 3.5: Diagrama de blocos recetor *Si4703* [26]

filtragem, o sinal é convertido de digital para analógico (DACs), para ser finalmente amplificado. Como nesta arquitetura utiliza-se processamento digital de sinal (DSP), o desempenho do sistema, ao nível de desmodulação FM e processamento de áudio estéreo, é melhor relativamente às arquiteturas analógicas.

Este dispositivo implementa um processador RDS (*Radio Data Service*) para descodificar símbolos, sincronização de bloco, deteção e correção de erros, cuja função é fazer *enable* do bit RDS. É dotado por dois modos de RDS, o modo padrão ou detalhado, em que este último tem uma maior visibilidade quer ao nível de sincronização quer ao nível de bloco de erros.

Contém um VCO (*Voltage-Controller Oscillator*) completo, que é constituído pelo sintetizador de frequência que gera o sinal em quadratura do oscilador local usado para converter a entrada RF para uma baixa frequência intermédia, cuja frequência é limitada pela frequência do RCLK (*Reference Clock*) e ajustada com o AFC (*Automatic Frequency Control*).

A nível de alimentação do circuito, o *Si4702/3* e o amplificador [27] necessitam de uma tensão de entrada, de [2.7 a 5.5] V e 3.3 V, respetivamente.

Na Figura 3.6 está representada a placa utilizada para o recetor, onde se pode verificar que necessita de uma alimentação de 3.3 V.

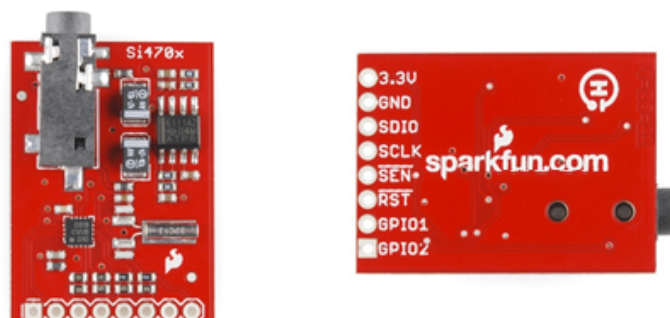


Figura 3.6: Placa de desenvolvimento *Si470x FM tuner* [28]

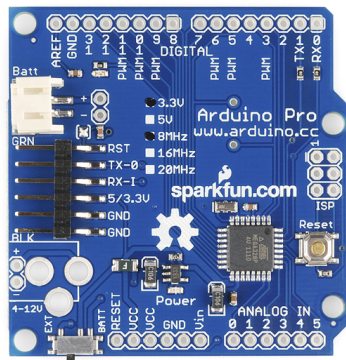
Pesquisou-se sobre quais as frequências comerciais utilizadas no distrito de Aveiro [36], sendo escolhida a frequência de operação de 99.5 MHz, que não se encontra utilizada por nenhuma outra estação comercial.

3.3.0.2 Programação

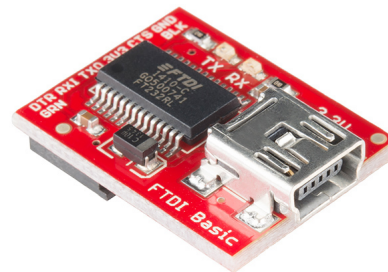
O módulo de recepção FM representado na Secção 3.3.0.1 não é dotado de micro-controlador interno, no entanto escolheu-se um micro-controlador baseado no *Atmega328*, suportando dois tipos de comunicação:

- SPI
- I^2C .

Na Figura 3.7a está representado o Arduino cuja tensão de alimentação é 3.3 V e velocidade de *clock* é 8 MHz.



(a) Arduino pro [33]



(b) FTDI Basic Breakout - 3.3 V [34]

Figura 3.7: Elementos necessários para programar a placa de desenvolvimento *Si4703*

Este micro-controlador é dotado por uma memória *flash* de 16 *KBytes* para armazenar o código, dos quais:

- 2 *KBytes* são usados para o *bootloader*
- 1 *KBytes* para SRAM
- 512 *bytes* de EEPROM.

Contém 14 pinos de I/O digital e 8 pinos de entrada analógica, onde cada um tem 10 bits de resolução.

Existem alguns pinos com funções específicas, como é o caso dos pinos 10 a 13 que são usados para comunicação SPI e os A4 e A5 para a comunicação I^2C . Este contém um regulador de tensão a 3.3V e a alimentação de entrada pode ser de 3.3 V até um máximo de 12 V, no entanto a tensão de saída é fixa nos 3.3 V.

Para a programação do Arduino, este liga-se diretamente à placa *FTDI Basic Breakout* (Figura 3.7b) que suporta *auto-reset* através do DTR (*Data Terminal Ready*). A placa da Figura 3.7b contém 2 LEDs, um para a transmissão (TX) e outro para a recepção (RX), permitindo observar a direção do tráfego de dados, no entanto precisa de um cabo mini-USB.

Pinos Arduino	Pinos <i>Si4703 Breakout</i>
VCC	3.3V
GND	GND
A4	SDIO
A5	SCLK
D2	RST

Tabela 3.1: Ligações entre o Arduino e *Si4703 Breakout* [35]

As ligações efetuadas entre o Arduino e o recetor estão apresentadas na Tabela 3.1, de modo a que a comunicação seja efetuada através do protocolo I^2C , ver Secção 2.5.3.2.

Após as ligações estarem terminadas, inicia-se a programação do recetor, através da biblioteca do módulo (*Si4703_Breakout*). Configura-se a frequência a que se pretende receber a informação do transmissor, o volume a que se pretende ouvir a informação recebida. Terminadas as configurações o recetor está pronto a receber informação vinda do transmissor.

De modo a otimizar o tamanho do recetor, substitui-se o Arduino pro pelo Arduino pro mini, uma vez que o segundo apresenta tamanho e preço reduzido, comparando com o primeiro.

Ficando a versão final do módulo de receção de FM o representado na Figura 3.8.

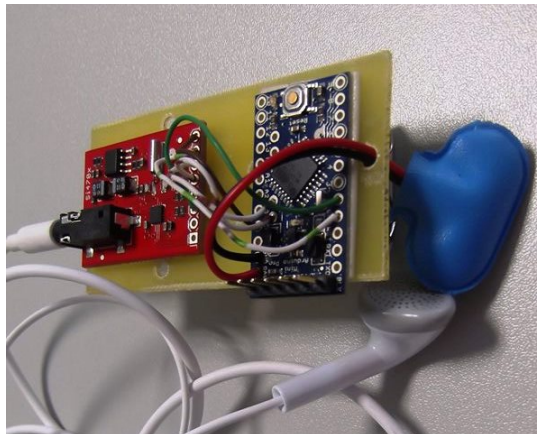


Figura 3.8: Módulo Recetor FM com *headphones*

No site da *Sparkfun* [28] é disponibilizada a biblioteca do módulo *Si4703 Breakout* para o Arduino (*Si4703_Breakout.h*), que terá que ser incluída nas bibliotecas do software do Arduino (Arduino 1.0.5).

Antes de iniciar o módulo de receção é necessário especificar no software, quais as ligações efetuadas, sendo efetuada a inicialização do mesmo através dos seguintes comandos:

- **powerOn()** – Liga o rádio;
- **setVolume(10)** – Define o volume de saída neste caso volume 10 (máximo 15);
- **setChannel(canal)** – Define em que canal pretende receber neste caso será 995 (que corresponde aos 99.5MHz).

3.3.1 Coluna impermeável

Para ser adicionada uma coluna ao módulo descrito anterior, é necessário acrescentar um amplificador, descrito na Secção 3.3.1.1, para que o sinal de voz consiga ser transmitido através desta.

Esta coluna [29], representada na Figura 3.9, além de ser resistente à água, também funciona a baixas temperaturas (-40°C ; 96h), de acordo com a norma internacional, EN 60068-2-1. Algumas características técnicas estão na referidas na Tabela 3.2.



Figura 3.9: Coluna impermeável [29]

Estabeleceu-se ligação entre a coluna e o amplificador, através dos pinos + e - da coluna ligados aos pinos $(L_{out})^+$ e $(L_{out})^-$ do amplificador, descrito na secção seguinte.

Potência nominal	60 W
Máximo de potência	80 W
Impedância nominal Z	4Ω
Resposta em frequência	60-15000 Hz

Tabela 3.2: Características elétricas da coluna [29]

3.3.1.1 Stereo 3.7W Class D Audio Amplifier

Este pequeno amplificador, na Figura 3.10, consegue ser muito poderoso, pois é capaz de transmitir para dois canais a 3.7 W de altifalantes com 3Ω de impedância.

Dentro deste módulo está um amplificador de classe D, que a partir de PWM (*Pulse-Width Modulation*) gera ondas quadradas de alta frequência, com *duty-cycle* proporcional ao nível do sinal de áudio. A componente do sinal de saída a altas frequências é dada pela indutância da bobine do altifalante de voz, sendo apenas transmitido o sinal de áudio amplificado.

Os amplificadores desta classe operam com elevada eficiência, tipicamente acima dos 90% [30].

Outras características deste circuito passam pelo baixo consumo de corrente (2mA em modo de operação) e pelo facto de ser possível alterar o ganho em 5 valores, sendo por defeito 6dB.

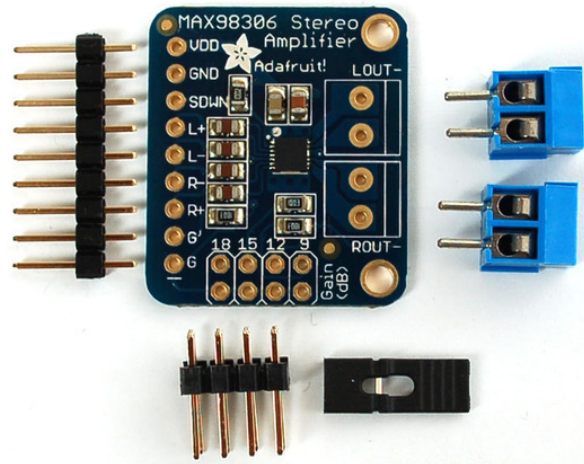


Figura 3.10: Amplificador de áudio utilizado [30]

Por fim, completou-se o recetor de áudio, acrescentando ao módulo referido anteriormente, o amplificador ligado à coluna. O sinal de áudio recebido pelo recetor de FM, é ligado através de uma fixa *Jack* ao amplificador, através dos pinos L^+ e L^- .

As ligações estabelecidas estão descritas na Figura 3.11.

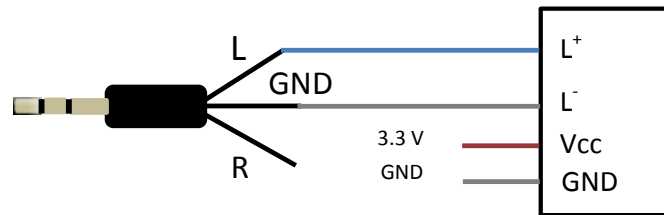


Figura 3.11: Ligações estabelecidas entre a fixa de *Jack* e o restante sistema

3.4 Transmissor de áudio

O sistema descrito nesta secção, é constituído por um módulo de transmissão de FM e um microfone, de forma a completá-lo.

3.4.1 Conceitos Teóricos

Por forma a perceber o funcionamento do transmissor de FM para áudio, inicialmente fez-se um estudo de cada bloco que constitui o transmissor FM. Na Figura 3.12, está representado o diagrama de blocos completo do transmissor de áudio, no qual se verifica que é constituído por um amplificador, modelador e oscilador. No entanto, o transmissor pode ter outra topologia, diferente da representada na figura seguinte, dependendo do tipo de modulação e do nível de potência desejados.

De seguida será feita a descrição de cada bloco do diagrama de blocos do transmissor de áudio [31].

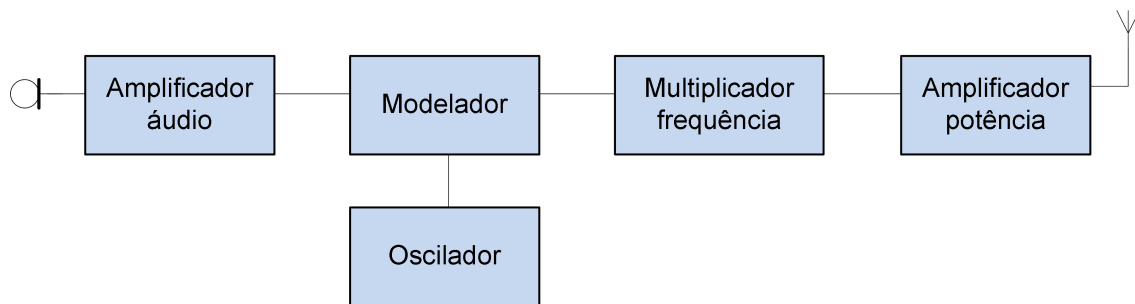


Figura 3.12: Diagrama de blocos do transmissor completo de áudio

- Amplificador áudio

Neste módulo é amplificado o pequeno sinal elétrico, gerado pelo microfone, de modo a alcançar níveis de sinal suficientes para fazer a modulação do sinal.

- Modelador e Oscilador

Para perceber melhor o funcionamento do modelador, faz-se uma análise dos vários tipos de modelação. Aplicada à transmissão rádio via *broadcast*, existem três tipos de modulação:

- Amplitude
- Frequência
- Fase

No entanto apenas as duas primeiras são as mais utilizadas.

Na modelação em amplitude, a portadora modelada varia de acordo com a amplitude e frequência do sinal de áudio. Enquanto que na modulação em frequência, as variações na frequência são proporcionais à amplitude do sinal de áudio. O sinal modulado pode ser representado por [32]:

$$sm(t) = A * \cos(2 * \pi * [fp + m * s(t)]t) \quad (3.1)$$

Onde:

A = Amplitude da portadora

fp = Frequência da portadora

m = Índice de modulação s(t) = Sinal a transmitir

Para determinar a variação do sinal modulado é utilizado o índice de modulação, cujo valor pode variar, isto é, se for grande faz com que a variação de frequência para o mesmo sinal a transmitir seja maior.

Na Figura 3.13, estão ilustradas as diferenças do sinal modelado em amplitude e em frequência.

A modelação analógica mais utilizada nos sistemas de rádio é a modelação por frequência ou modelação FM.

Um oscilador é um circuito que gera um sinal periódico a partir de sinal DC, que pode ser aplicado como um *clock* para sistemas digitais ou como um adaptador de frequência, no

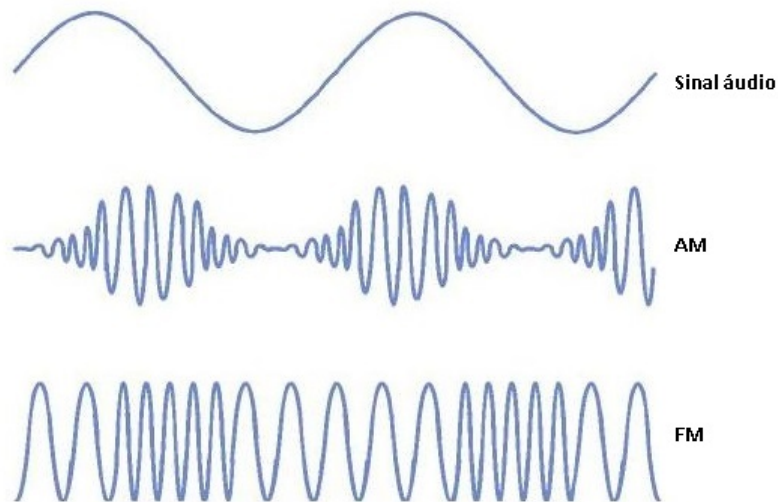


Figura 3.13: Modulação AM e FM

caso de um oscilador local num transmissor ou recetor. A frequência de um oscilador pode ser controlada através de elementos importantes como a ressonância de um cristal ou de um circuito tanque LC.

- Multiplicador de frequência

O sinal modulado é posteriormente multiplicado em frequência até atingir a frequência desejada para transmissão, então este módulo tem como função intensificar a frequência do sinal RF gerado pelo oscilador.

- Amplificador de potência

Este módulo amplifica o sinal à saída do multiplicador de frequência, para níveis elevados de potência necessários para a transmissão. À saída, os sinais de FM estão prontos para serem radiados por uma antena.

Um dos elementos mais importante no transmissor é o oscilador, pois gera o sinal de RF necessário. Existem diversos tipos de osciladores e diversas configurações de circuitos que geram oscilações. Os sinais obtidos podem ser sinusoidais ou não sinusoidais.

Os osciladores que geram sinais sinusoidais, podem ser osciladores LC, existindo uma variedade de maneiras de criar uma rede com tanque LC e amplificador.

3.4.1.1 Circuito LC oscilador

Um oscilador, Figura 3.14, é um circuito constituído por um amplificador (A) e uma malha de *feedback* (β), em que o amplificador também pode atuar como um limitador de amplitude e a função da rede de *feedback* é gerada através do circuito determinante da frequência, como por exemplo um tanque LC, que é necessário para colocar na entrada uma parte do sinal de saída, logo o sinal V_f soma ao V_I .

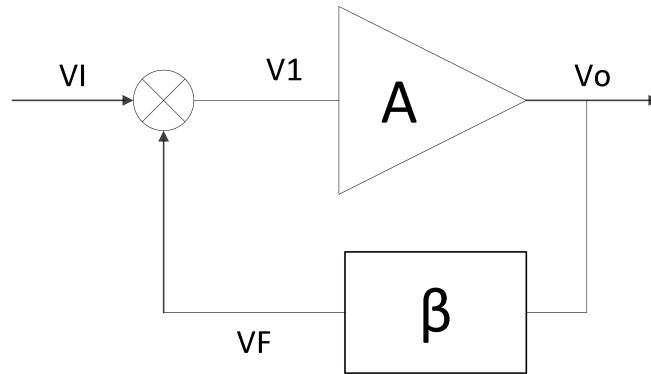


Figura 3.14: Diagrama de blocos de um oscilador

Quando o sinal de *feedback* (V_F) está em fase com o sinal de entrada (V_I) ocorre *feedback* positivo, que em condições adequadas a oscilação é possível.

As condições adequadas para oscilação, são conhecidas como critério de *Barkhausen*, o qual expõe que para ocorrer oscilação, o sinal de saída existe mesmo sem lhe ser aplicado um sinal de entrada, $V_I = 0$.

A fase de V_f é determinada pelo circuito em malha fechada representado na Figura 3.14, então para o *feedback* positivo o desvio de fase associado à malha fechada será igual a 0° ou múltiplos inteiros de 360° . O desvio de fase do amplificador é de $\pm 180^\circ$ e a fase para a malha de realimentação β , deverá ser de $\pm 180^\circ$ ou $\pm 360^\circ$.

A função de transferência em malha fechada deste sistema será a seguinte:

$$A_{vf} = \frac{V_o}{V_I} = \frac{A}{1 - \beta \cdot A} \quad (3.2)$$

Para o caso de um oscilador, em que $V_i = 0$, então para ter sinal na saída o denominador na equação 3.2 tem que ser zero.

Assim:

$$1 - \beta \cdot A = 0 \quad (3.3)$$

ou

$$\beta \cdot A = 1 \quad (3.4)$$

A equação 3.4 é conhecida como o critério de *Barkhausen*, em que o ganho da malha tem que ser unitário para ocorrer oscilação.

Os osciladores LC não são mais que osciladores sintonizados, que são muito utilizados para frequências acima dos 100 kHz. Estes osciladores são constituídos por uma indutância (L) e um condensador (C), que quando estão em sintonia ressoam a uma certa frequência, designada por frequência de ressonância, ω_0 e atuam como rede de *feedback*.

A frequência de ressonância [37] pode ser definida em rad/s por:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (3.5)$$

E em Hertz por:

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3.6)$$

Este tipo de oscilador, pode facilmente ser construído de forma a poder sintonizar numa gama de frequências variáveis. Uma forma de o fazer, seria variar a tensão substituindo o condensador por uma condensador variável, de modo a determinar a frequência de ressonância do circuito LC.

Para completar o oscilador LC, este necessita de um dispositivo ativo, como FETs ou BJTs, que são usados como amplificadores, em que o circuito tanque LC atua como carga no coletor.

3.4.2 Realização na prática

Na Figura 3.15, está representado o esquema elétrico do transmissor de FM utilizado, que é alimentado por uma bateria de 9 V e composto por apenas um transistor e vários componentes passivos. O condensador variável C3 e a bobina L1 vão determinar qual a frequência de operação, utilizada na transmissão. Para desacoplar o sinal vindo da entrada de áudio, é utilizado um condensador eletrolítico, de $1\mu\text{F}$.

As resistências R1 e R2 em conjunto fazem a polarização da base do transistor, de forma a obter a corrente de base necessária para entrar em condução.

O elemento central e fundamental para o funcionamento deste simples transmissor, prende-se no transistor NPN, Q1, com a referência *BC337* [38], que apresenta 800 mA de corrente no coletor. O sinal FM modelado está disponível no coletor do transistor, que será acoplado pelo condensador C1 e transmitido através da antena. Na base do transistor, para além das resistências de polarização encontra-se um condensador eletrolítico C4, cuja função é evitar a passagem de sinal DC e também a entrada de áudio. No emissor a resistência (R3) cuja função é limitar a corrente.

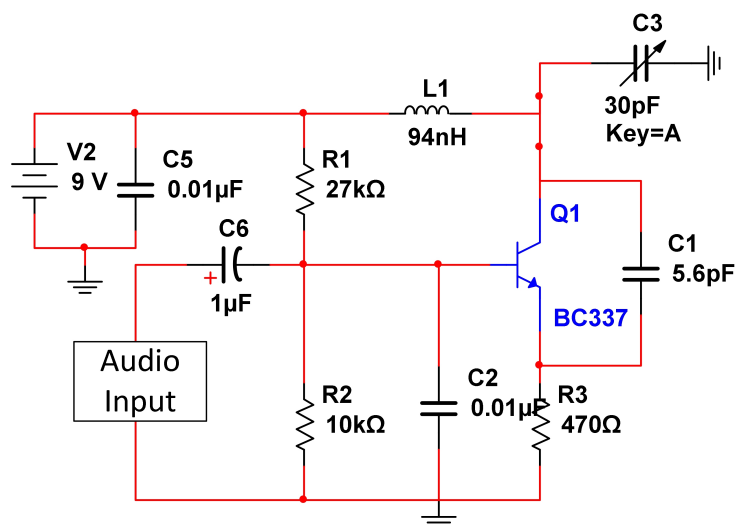


Figura 3.15: Esquema elétrico do Transmissor de FM

A entrada do áudio será constituída por um microfone, em que entre este e o transmissor de FM terá de existir um pré-amplificador, de modo a preparar o sinal que sai do microfone para à posteriori ser processado.

3.4.2.1 Implementação prática

As duas partes que precisam de mais atenção, na montagem deste circuito é a construção da bobina e determinar o tamanho necessário para a antena. Para a construção da bobina, é necessário um fio elétrico envernizado, com cerca de 1 mm de diâmetro, que será enrolado em torno de um objeto cujo diâmetro seja aproximadamente 5 mm, por forma a obter 4 espiras. As várias espiras devem estar espaçadas de forma uniforme, próximas umas das outras de modo a obter uma maior indutância e no final a bobina terá um comprimento aproximadamente de 5 mm.

Para determinar qual a impedância da bobina, utilizou-se uma fórmula aproximada, a Fórmula de *Wheeler*[39]:

$$L = \frac{n^2 d^2}{l + 0.45d} \quad (3.7)$$

Onde:

L = Indutância em μH

n = numero de voltas do fio

d = diâmetro da espira em metros

l = comprimento da bobina em metros

Então a indutância da bobina (L1) aproximadamente será cerca de 55 nH, no entanto na realidade existem muitos fatores que podem influenciar esse valor, como o mínimo desvio de uma espira em relação às outras.

A antena permite a transmissão de informação através de ondas eletromagnéticas, propagadas no meio livre. Podem ser de derivadas de uma linha bifilar ou de um cabo coaxial, neste caso a antena poderá ser um fio ou uma antena telescópica.

O fio para funcionar como antena radiadora, terá um comprimento de $\lambda/4$, onde o comprimento de onda, λ , é calculado através da relação inversa com a frequência. Essa relação é dada por:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (3.8)$$

Onde:

λ = Comprimento de onda

c = Velocidade da luz no vácuo $\approx 300.000 \text{ Km/s}$

f = Frequência da onda em Hz

Como já foi referido na Secção 3.3.1.1, a frequência de operação é de 99.5 MHz, então com este dado pode-se calcular o comprimento de onda, obtendo-se $\lambda = 3.01506 \text{ m}$. O tamanho da antena é de $\lambda/4$, então terá um comprimento de 75.38 cm.

Para o barco do treinador necessita-se de um sistema que seja prático e o valor do comprimento da antena anteriormente calculado não é muito adaptável, então optou-se por o uso de uma antena telescópica, a qual tem de mínimo 25.3 cm e de máximo 83.5 cm de comprimento.

Na Figura 3.16, está representado o módulo construído.

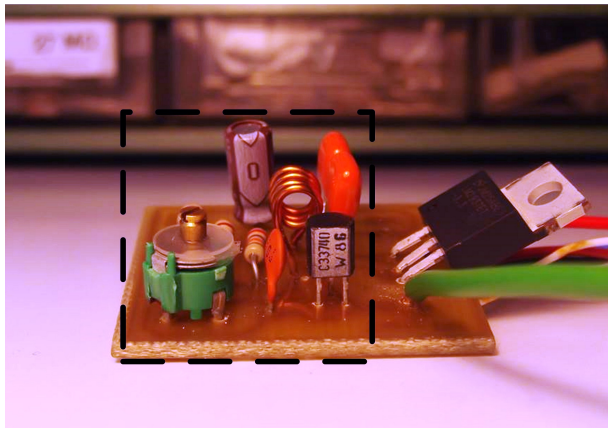


Figura 3.16: Transmissor de FM

3.4.2.2 Simulação

O circuito transmissor foi simulado, utilizando a ferramenta de simulação *Multisim* [40]. O esquema simulado está representado na Figura 3.15, em que na entrada áudio, de modo a simular o sinal de áudio, colocou-se uma fonte de AC (corrente alternada), de 1V e 10kHz de frequência.

De modo a alcançar a gama de frequências comercial, iniciou-se a simulação com a indutância calculada através da Formula 3.7, no entanto para esta indutância, o limite inferior de frequências seria cerca de 106.8 MHz. Foi-se aumentando o valor de indutância e verificando no analisador de espectros o limite mínimo e máximo de frequências, sendo o objetivo atingido na indutância de 94nH.

À saída do circuito, no emissor do transístor, ligou-se um analisador de espectros para ser possível analisar as variações de frequência, geradas pelo circuito tanque. Após algumas variações na capacidade do condensador, obteve-se a gama de frequências que este transmissor pode atuar, em que o limite inferior e superior estão representados nas Figuras 3.17 e Figura 3.18, respetivamente.

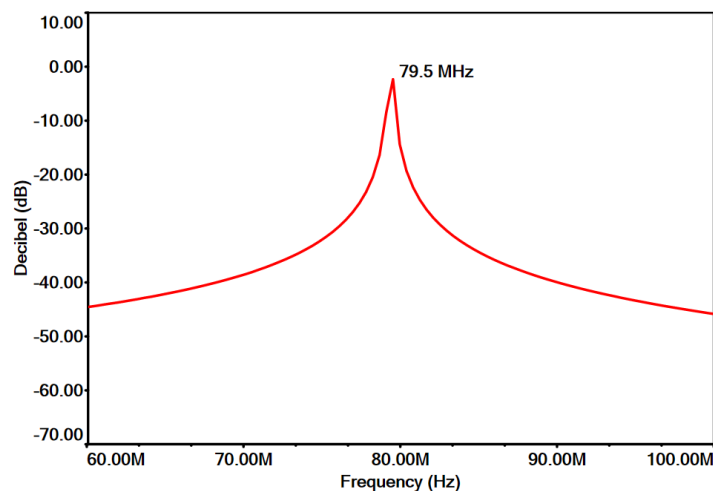


Figura 3.17: Limite inferior: 79.5 MHz

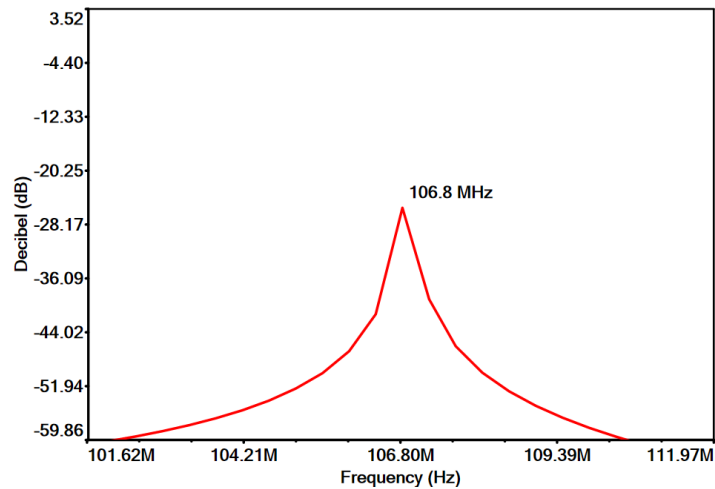


Figura 3.18: Limite superior: 106.8 MHz

3.4.3 *Electret Microphone Breakout*

De forma a completar o sistema de transmissão de voz, foi necessário o acrescento de um microfone, que está representado na Figura 3.19.

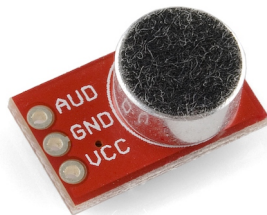


Figura 3.19: *Electret Microphone Breakout*

Este pequeno microfone é dotado com um amplificador, capaz de amplificar diversos sons, como a voz. Na Figura 3.20, está representado o esquema elétrico desta placa.

Para que este funcione é necessário uma tensão entre os 2.7 V e os 5.5 V, tendo-se utilizado 3.3 V.

No entanto, ao adicionar este componente ao transmissor já construído anteriormente, alimentado com uma tensão de 9 V, necessita que seja acrescentado um regulador de tensão de forma a atingir os 3.3 V.

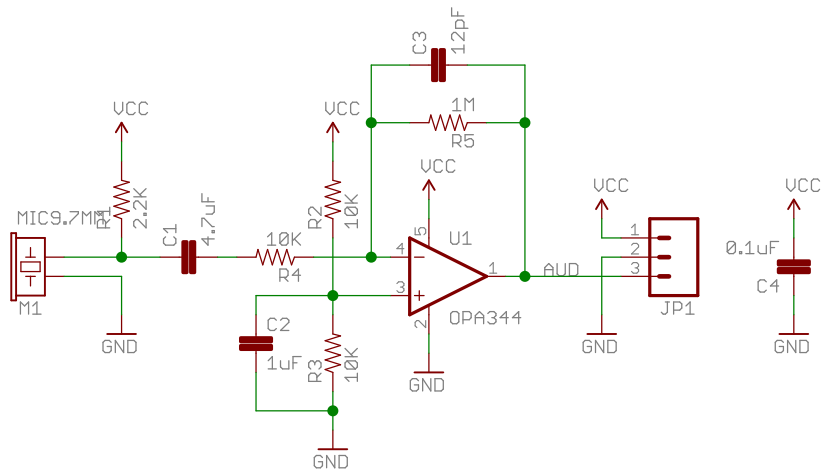


Figura 3.20: Esquema elétrico *Electret Microphone Breakout*

3.5 Testes de laboratório

De modo a verificar o funcionamento do sistema de rádio difusão desenvolvido, foram feitas algumas experiências, de modo a comprovar o seu funcionamento.

No transmissor construído, foram efetuadas algumas medidas por forma a descobrir qual a frequência de operação em dois casos diferentes de antenas.

Uma outra experiência feita, foi montar o sistema transmissor-recetor e verificar qual a diferença na onda enviada e recebida.

Em ambos os casos, inicialmente foram feitas algumas medidas, no transmissor de modo a saber a que frequência ele estava a operar.

- caso 1:

Neste caso os testes foram feitos com o transmissor de FM, em que a antena é um fio de comprimento 75.38 cm, valor determinado anteriormente.

A experiência baseou-se em utilizar um analisador de espectros para medir a frequência de operação do transmissor, como se pode verificar pela Figura 3.21.

Para que o analisador de espectros consiga medir o sinal emitido num meio não guiado, é necessário a existência de uma antena. Esta antena é um elemento essencial, pois é responsável por transformar as ondas eletromagnéticas em sinal elétrico, de maneira a poder ser analisado.

No laboratório, estava disponível uma antena cuja frequência de operação é semelhante à antena que se pretende analisar, essa antena não passa de um fio com comprimento de 56.5 cm, como se pode ver na Figura 3.21, em B, o fio que está ligado ao analisador de espectros. Para verificar qual a frequência de operação desta antena, utilizou-se o VNA (*Vector Network Analyser*), em que se verificou que a frequência de operação desta antena é perto dos 99.5 MHz, pois olhando para a Figura 3.22, o cursor com este valor está próximo do mínimo. A diferença de comprimentos da antena de referência e a antena do TX diferem, pois na primeira a frequência de operação não é bem os 99.5 MHz.

Assim que se ligou a bateria do transmissor, em D, no analisador de espectros, em A, verificou-se logo uma frequência que se destacava, mesmo sem se ter colocado na entrada do

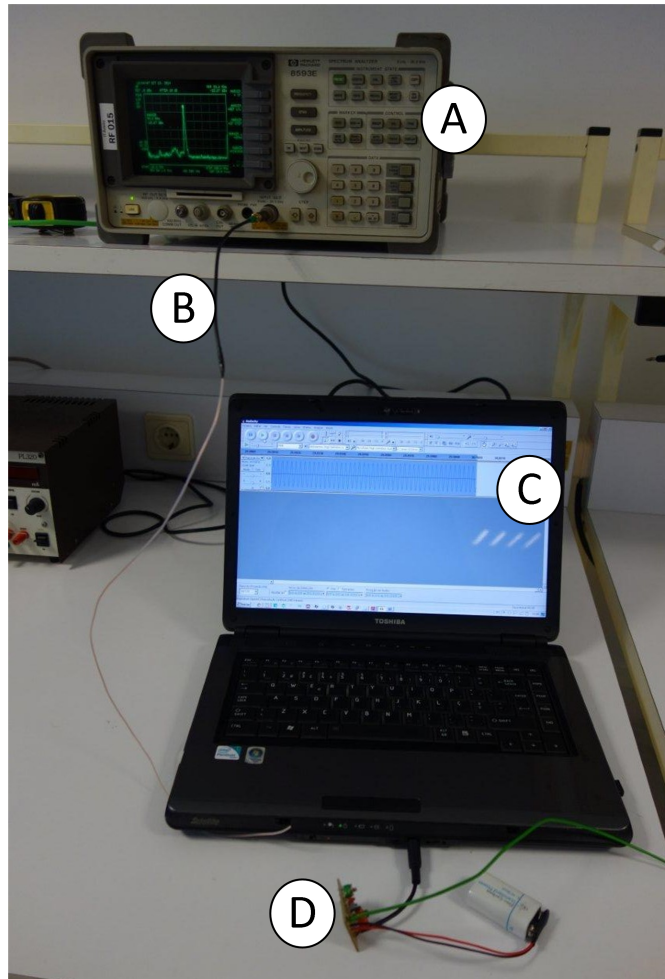


Figura 3.21: Experiência caso 1

circuito um sinal, isto deve-se ao funcionamento dos osciladores explicado anteriormente, na Secção 3.4.1.1.

Como já era de esperar quando se colocou um sinal de entrada, uma senoide à frequência de 5 kHz gerada pelo *Audacity* (um programa de edição e gravação de áudio), em C, não houve alteração em relação ao sucedido anteriormente.

Na Figura 3.23 está o sinal que se pode ver no analisador de espectros, cuja frequência de operação é de 99.8 MHz (potência relativa emitida de -18.8 dBm), onde se verifica um desvio mínimo dos 99.5 MHz . Este desvio pode ser evitado, pois o circuito contém um condensador regulável, que com uma pequena variação a frequência pode ser ajustada para os 99.5 MHz . Como a frequência 99.8 MHz , é uma frequência que não está sobreposta em alguma rádio da região de Aveiro, pode ser utilizada a nível de testes.

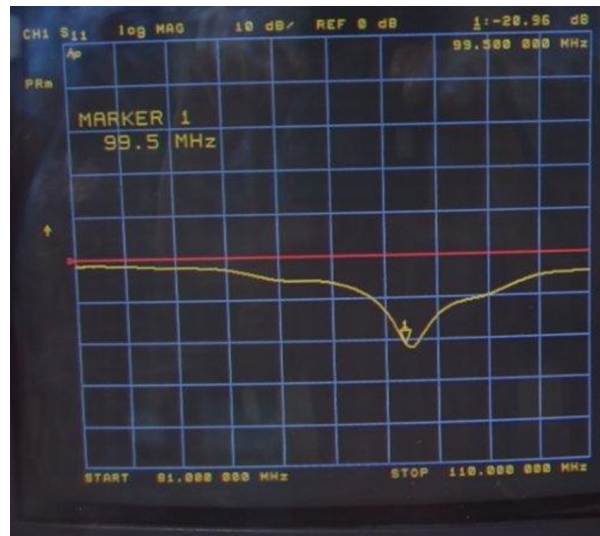


Figura 3.22: Sinal no VNA da antena de referência

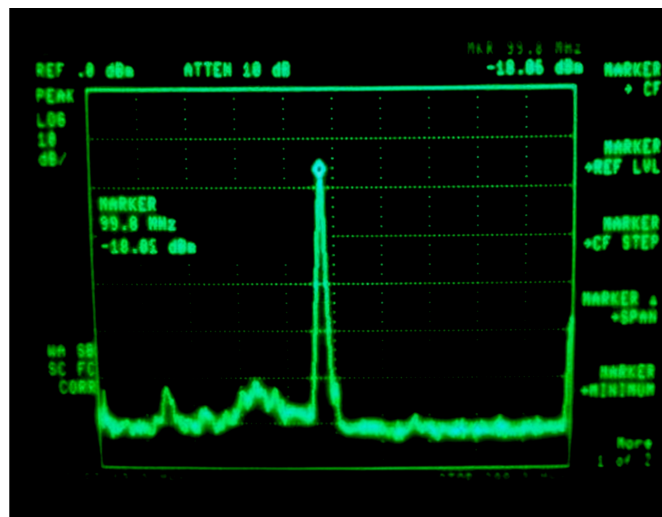


Figura 3.23: Resultado da experiência do caso 1

Inicialmente, para testar o funcionamento do recetor para a frequência escolhida, foi utilizado um transmissor incorporado num telemóvel pessoal, em que apenas foi definida a frequência de operação, os 99.5 MHz.

Colocou-se a transmissão de uma música, sendo esta ouvida de forma perceptível no recetor, mas com algumas distorções. No entanto em termos mais práticos, analisou-se a onda recebida com a ajuda de um osciloscópio, na Figura 3.24 pode ver-se o resultado. A onda representada corresponde ao sinal de áudio recebido vindo do transmissor.

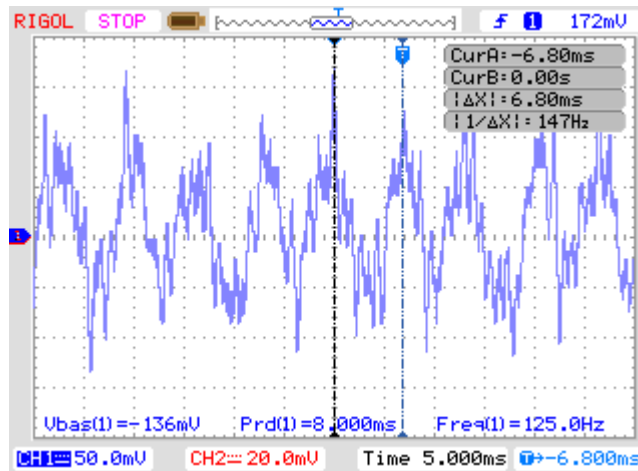


Figura 3.24: Onda vista no recetor

- Experiência com sistema de radiodifusão

Esta experiência consistiu no seguinte, colocou-se o transmissor desenvolvido a transmitir uma onda sinusoidal com frequência de 1 kHz , representada na Figura 3.25, gerada no *Audacity*, e analisou-se no recetor a onda que recebia.

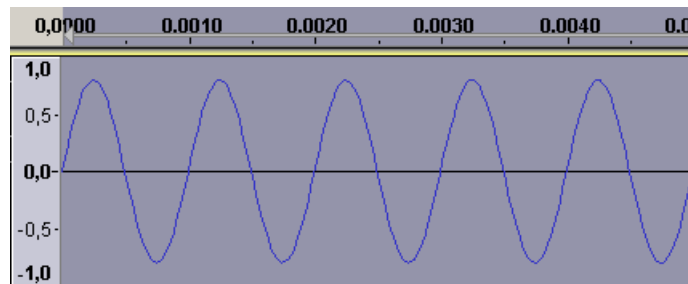


Figura 3.25: Onda gerada no *Audacity* com frequência 1 kHz

No recetor ouve-se a sinusoide transmitida, mas com alguma distorção, no entanto ligou-se o recetor ao osciloscópio, através de um cabo *Jack3.5mm-Jack3.5mm*, para se observar a onda recebida. A onda observada está representada na Figura 3.26.

- caso 2:

Foram efetuados os mesmos testes que no caso 1, cuja a diferença se encontra na antena do transmissor, que foi substituída por uma antena telescópica. Neste caso ajustou-se o condensador variável, de modo a que a frequência de operação fosse 99.5 MHz . Procedeu-se da mesma forma que no caso 1, observando-se na Figura 3.27 a informação retirada, no analisador de espectros, no qual se analisou que a potência máxima relativa emitida era de -29.4 dBm . Verificou-se também que quando se aumentava / diminuía o tamanho da antena telescópica, a potência relativa emitida aumentava / diminuía, respetivamente.

Quanto ao nível do sinal recebido, seguiu-se o mesmo procedimento que no caso anterior, observou-se então a portadora da Figura 3.28a, onde se verifica alguma distorção.

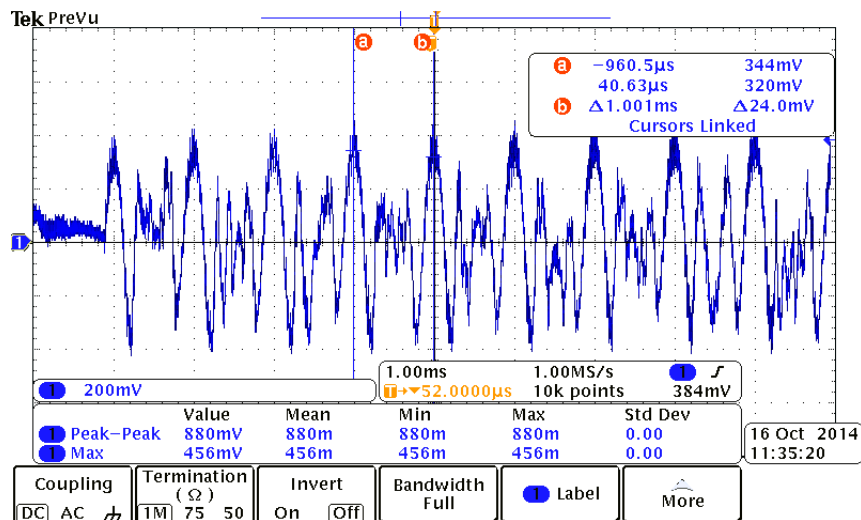


Figura 3.26: Onda recebida observada no osciloscópio



Figura 3.27: Frequência de operação observada no analisador de espectros para o TX

Por forma a melhorar aplicou-se um filtro digital no osciloscópio, cuja frequência de corte era de 1.25 kHz , inferior à frequência da voz, cerca de 2 kHz , e analisou-se a mesma portadora agora sem distorção, na Figura 3.28b.

Quanto ao que se escuta no recetor, a sinusoide gerada no *Audacity* é perceptível, mas com alguma distorção.

Esta distorção que se deteta deve-se ao facto de utilizar o fio de *jack* como antena, fazendo com que o ruído de alta frequência apareça.

Em suma, com a antena telescópica foi possível obter resultados de potência relativa melhores que para o caso do fio, a uma distância inferior a 100 metros, no entanto devido a estes resultados não terem sido realizados numa câmara anecoica, nem as antenas serem iguais e estarem adaptadas, não invalida que em algumas situações a antena de fio seja melhor. Ou

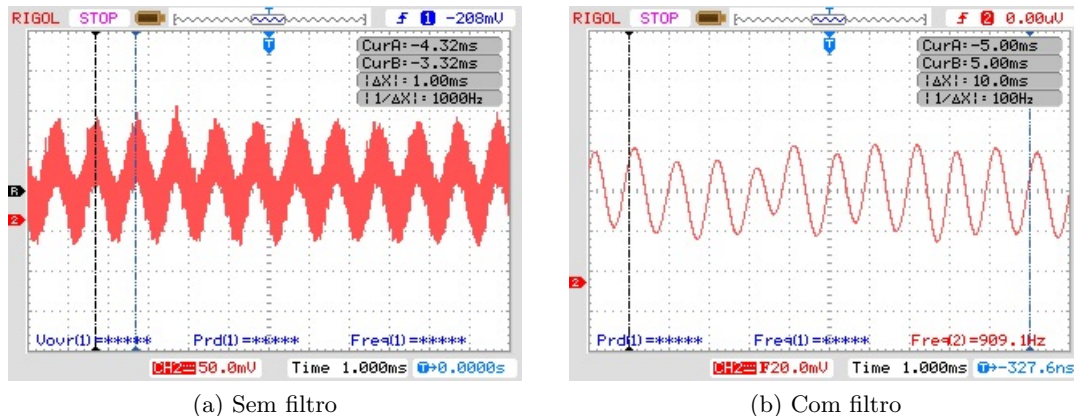


Figura 3.28: Onda recebida observada no osciloscópio do caso 2

seja, a antena de fio pode ser melhor que a antena telescópica, por exemplo numa distância superior a 100 metros.

3.5.1 Complementos ao sistema de radiodifusão

Após verificar o funcionamento dos módulos anteriores numa fase inicial, estes foram completados, isto é ao recetor adicionou-se a coluna mais o amplificador e no emissor o microfone com um amplificador.

Foram feitos testes com o microfone sem estar ligado ao emissor, verificando-se o funcionamento correto do mesmo, no osciloscópio. Para a coluna também foram feitos testes, ligou-se a coluna ao amplificador e este ao recetor através de uma fixa Jack 3.5mm. Colocou-se o telemóvel a transmitir na frequência de operação do recetor, verificando-se que o som transmitido pela coluna apresentava muito pouca distorção.

Finalmente completos, colocou-se o sistema de radiodifusão e o resultado não foi o melhor, pois na coluna não era possível perceber o que se estava a dizer no microfone.

Deparando-se com este problema, foram averiguadas possíveis causas que o originassem, tais como:

- Ruído originado por alimentação ser comum (pilha 9V)
- Falha de sintonização
- Problemas:
 - no circuito de transmissão
 - adaptação de impedâncias

Para verificar se o problema era de adaptação, foi medida experimentalmente a impedância de saída do sistema *Electret Microphone Breakout* e a impedância de entrada do circuito transmissor. No Anexo C está descrito o método para estas medições.

Para descobrir a impedância de saída, colocou-se uma coluna à frente do microfone, a transmitir um sinal gerado no *Audacity*, com frequência 200 Hz, em que na saída do módulo

foram colocados vários valores de resistências, até que o sinal não saturasse muito rapidamente. Chegou-se ao valor da resistência de carga com o valor de 300Ω .

A medida da impedância de entrada do transmissor, está explicada no Anexo C, em que se chegou ao valor de $3.9K\Omega$.

O problema da alimentação pode estar a afetar o funcionamento do sistema, devido à pilha de 9V estar a alimentar o TX (a 9V) e o *Electret Microphone Breakout* através de um regulador de tensão para 3.3V.

Na Figura 3.29, estão representados os acrescentos efetuados para uma melhoria no sistema de radiodifusão.

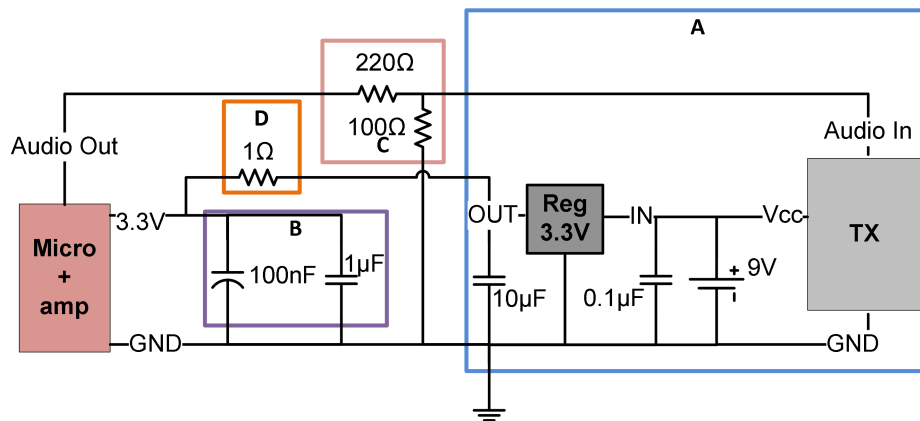


Figura 3.29: Acrescentos no sistema radiodifusão

Foram colocados dois condensadores para desacoplar a alimentação e filtrar as altas e baixas frequências, bloco B, utilizando um de $1\mu F$ e outro de $100nF$. Adicionou-se uma resistência na alimentação, bloco D, cuja função é limitar a corrente, em que o valor desta foi determinado experimentalmente, começando com uma resistência de $1k\Omega$ e indo decrescendo a ordem de grandeza até que a resistência de 1Ω . Com esta resistência, alterações de corrente no circuito transmissor não vai levar alterações de corrente para o circuito do microfone, estando esta limitada. Assim, resolvem-se alguns problemas que possivelmente alteravam o funcionamento do circuito do microfone.

Como o sistema de transmissão desenvolvido, bloco A, é dotado de apenas um transístor, limita um pouco o sistema sendo que este apenas tem um andar, originando algum ruído, que pode afetar o funcionamento do sistema. De modo a remediar o sucedido, foi acrescentado um divisor resistivo, bloco C, entre a saída de áudio do *Electret Microphone Breakout* e a entrada de sinal do transmissor. Assim, pretendia-se reduzir a propagação de mais ruído para o transmissor.

Utilizando o programa SDR# (*Software Defined Radio in C#*) e o sistema *Ettus B200* [42], centrado na frequência de operação do transmissor de áudio (99.5MHz) de maneira a se encontrar a frequência da portadora. Como o sistema desenvolvido é um pouco sensível, a variação da frequência é relevante anda na ordem das centenas de KHz. Com a frequência encontrada através do processo anterior, sintoniza-se o recetor para essa frequência e sem provocar grandes alterações no transmissor, o sistema de radiodifusão funciona corretamente, sem grande distorção.

Capítulo 4

Testes na Ria

Neste capítulo serão descritos os procedimentos e testes efetuados aos sistemas desenvolvidos. Antes de se ir para a Ria, mais concretamente às aulas de vela fazer testes nos *optimists*, há que se ter atenção ao facto de os sistemas poderem estar em contacto com a água. Para resolver esse problema e de forma a ser possível ir fazer os testes, utilizaram-se duas caixas de plástico, ver Anexo B.

Para finalizar foram feitos alguns furos nas caixas para:

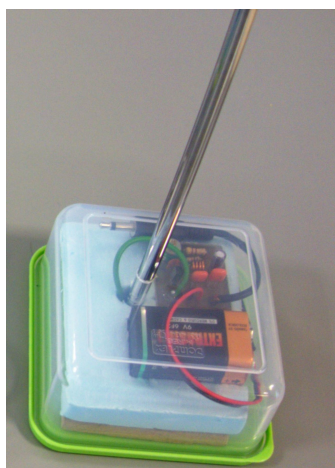
- Antena
- Entrada de áudio.

Nas Figuras 4.1 estão representados os sistemas embutidos nas caixas, que são aplicados :

- Nos *optimists* - Figura 4.1a
- No barco do treinador - Figura 4.1b



(a) Sistema de recepção de voz e GPS



(b) Sistema de emissão de voz

Figura 4.1: Caixas para os sistema

4.1 Consumo energético

Foram feitas medidas para saber qual o consumo energético dos diferentes sistemas desenvolvidos, no Anexo D está descrito o método utilizado.

Os resultados obtidos estão representados na Tabela 4.1.

Sistema	Consumo (mA)
GPS	44.7
RX	51
TX	6.2

Tabela 4.1: Consumos energéticos dos diferentes sistemas

4.2 Montagem dos sistemas

- Montagem do módulo móvel no *optimist*

A Figura 4.2 mostra como o sistema foi aplicado ao *optimist*.



Figura 4.2: Módulo móvel completo aplicado ao barco de teste

- Montagem do ponto fixo na margem

Colocou-se na margem em frente à Escola de Vela do Sporting Clube de Aveiro, ver Figura 4.3 o posto fixo constituído pelo módulo de RF e o PC, que através de uma ligação 3G coloca os dados com a localização do *Optimist* num servidor fixo, neste caso colocado em casa. Com a ligação 3G é possível aceder a estes dados através de um *smartphone*, tornando acessível a informação em qualquer lugar desde que tenha rede e Internet no *smartphone*, como por exemplo no barco do treinador. Na Figura 4.4 está um esquema explícito da ligação descrita anteriormente.

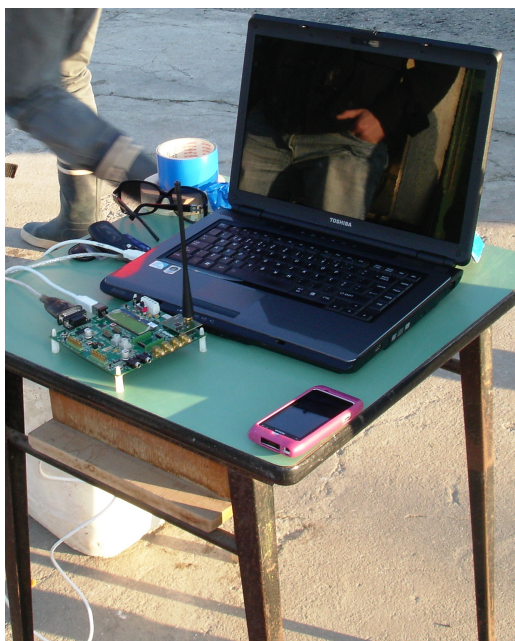


Figura 4.3: Módulo fixo aplicado na margem

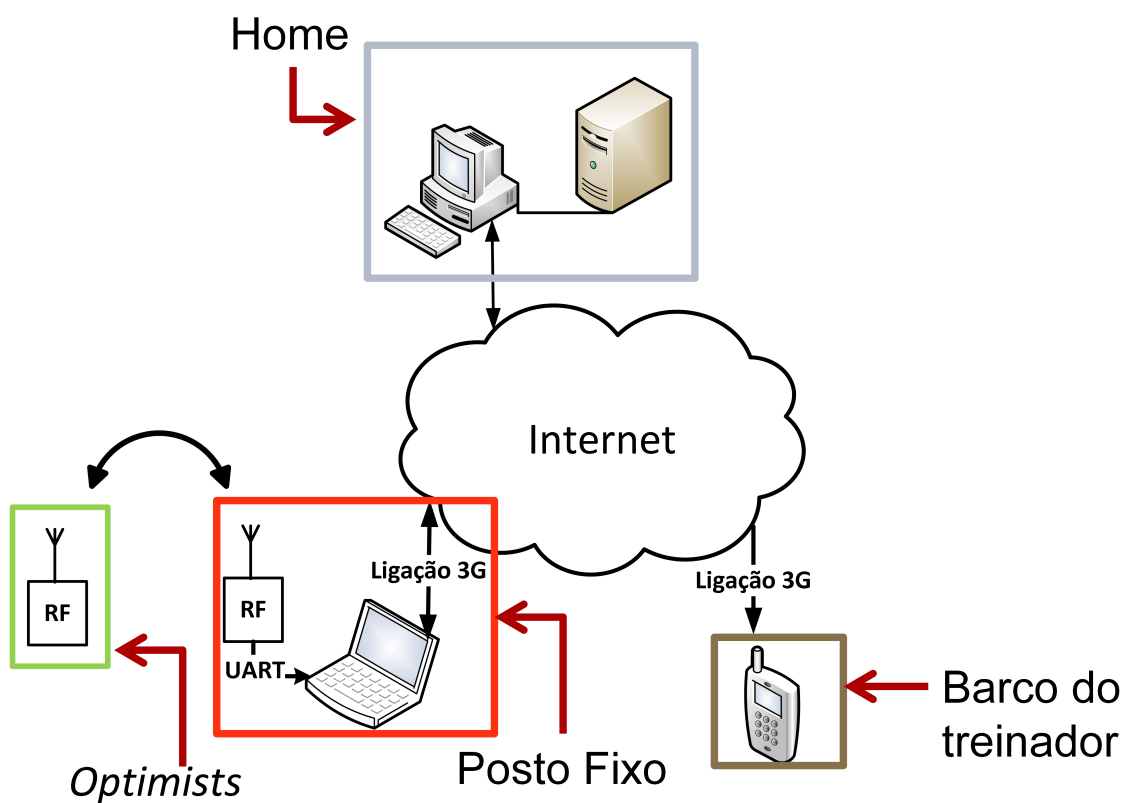


Figura 4.4: Esquema do acesso do *smartphone* ao servidor

- Montagem do sistema de transmissão de áudio no barco do treinador

Tendo em conta o pequeno alcance deste módulo e algumas dificuldades na comunicação na escola de vela, devido ao vento, optou-se por este ficar na margem, evitando assim mais um barco na Ria.

4.3 Alcance dos sistemas

- Sistema de localização

De forma a determinar o alcance do sistema de localização, colocou-se o módulo fixo no topo do edifício 1 do Instituto de Telecomunicações. Com o módulo móvel fez-se o trajeto, Aveiro-Barra, no entanto só se conseguiu comunicação até à Gafanha da Nazaré. Neste caso em linha de vista o alcance do sistema é cerca de 2.5km.

No GPS, existem alguns fatores existentes nas medidas de alcance que, fazem com que a incerteza aumente. As medidas realizadas não são muito rigorosas, uma vez que ao longo do teste efetuado até à Gafanha da Nazaré, havia zonas em que o módulo não comunicava devido a alguns obstáculos.

Ainda para testar o GPS, como este vai ser colocado em barcos, tem que se ter em conta as reflexões de sinal na água, que pode afetar significativamente as medidas.

Quando se aplicou o sistema ao barco, foram realizados alguns testes para verificar o funcionamento destes em condições reais, ambiente externo e rodeado de água.

Foram realizadas algumas voltas na ria, que se podem verificar pelo mapa da Figura 4.5. Neste caso, no máximo o aluno afastou-se do ponto fixo cerca de 300 metros, valor determinado através das coordenadas.



Figura 4.5: Percurso efetuado

- Sistema de radiodifusão

Para determinar o alcance do sistema de radiodifusão, foi colocado o sistema de receção num ponto fixo e com o módulo de transmissão em movimento, verificou-se um pequeno alcance de aproximadamente 30 metros.

Após o sistema estar nos postos, foram efetuados alguns testes, que consistiram em saber o alcance deste, para além de analisar o sinal que é transmitido pela coluna (neste caso indicações), ou seja, consegue-se perceber tudo o que é dito no transmissor.

Na Figura 4.6, está representado como foram efetuados os testes de voz, enviando instruções de teste. No entanto, quando o recetor se encontrava no *optimist*, no entanto o funcionamento deste não foi totalmente correto, devido a alguns fatores condicionantes. Apesar que em condições favoráveis o sistema funcionar corretamente.



Figura 4.6: Testes efetuados

Em suma, pode-se concluir que o sistema de GPS ultrapassou expectativas, mostrando o percurso efetuado pelo barco, apesar de no ponto mais longe acontecerem umas perdas de informação. Estas perdas de informação, podem surgir devido ao ambiente de aplicação ser a água, meio propício a reflexões, verificando-se com o aumento da distância a perda de alguns pacotes de informação.

O sistema de radiodifusão devido à sua fraca potência de saída, resultou num pequeno alcance, o facto de a antena ter sido colocada num ponto de menor altura e o vento, levaram à não existência de comunicação.

No entanto com a realização destes testes, pode concluir-se que para os protótipos as caixas de plástico utilizadas, foram uma boa escolha.

Capítulo 5

Conclusões

De uma forma geral, pode concluir-se que o hardware escolhido para o sistema de localização foi o adequado, uma vez que os desempenhos verificados foram satisfatórios e atingiram os objetivos a que se destinavam. Para o sistema de radiodifusão, o objetivo de comunicação de áudio foi atingido, ou seja, estabeleceu-se uma comunicação entre o treinador e os alunos perceptível, porém as escolhas realizadas não foram de todas as melhores.

Com os testes efetuados para o sistema de localização, conseguiu-se um alcance razoável, cerca de 2.5 Km, e verificou-se que o GPS apresenta um erro de precisão na ordem das unidades de metros.

No sistema de radiodifusão existia alguma distorção, devido a uma sintonização parcial, uma vez que a frequência no transmissor variava, na gama dos 98.5 MHz aos 98.9MHz. Quando neste sistema ainda não tinha sido colocado o microfone no transmissor e a coluna no recetor, a comunicação verificada era perceptível e conseguia-se um alcance de aproximadamente 30 metros, que se deve ao facto de a potência relativa do sistema ser muito baixa na ordem dos μW . Apesar de ser muito pouco, o sistema global apenas se trata de um protótipo. À medida que se vai acrescentando a coluna ao recetor, continua a existir uma comunicação perceptível, com a informação enviada do transmissor, no entanto, ao acrescentar o microfone ao transmissor, teve que existir um ajuste no sistema de modo a reduzir o ruído produzido, por exemplo pelas alimentações, ou até mesmo ruído vindo do circuito do transmissor alterava o sinal à saída do microfone.

Existem então alguns ajustes ou melhorias, que serão referidos na secção seguinte, que poderão ser realizadas em ambos os sistemas, de modo a otimiza-los.

A nível pessoal este trabalho foi muito enriquecedor, permitindo o contacto com técnicas e tecnologias que até então ainda não tinha trabalhado, como o *SoC* da *Texas Instruments*, servidores, sistemas de receção e transmissão de áudio, protocolos de comunicação (*SimpliCI* e *NMEA*), entre outros.

5.0.1 Trabalho Futuro

- Sistema localização

Em termos de *hardware* do sistema, haverá a necessidade de desenhar e implementar os módulos em PCB (*Printed Circuit Board*), quer o que está fixo, quer os que estão nos *optimists*, reduzindo assim o tamanho dos sistemas que foram apresentados anteriormente, constituídos por módulos de teste.

De modo a otimizar a camada protocolar, poderia ser acrescentado um modo *sleep*, para poupança de energia, no qual sempre que o dispositivo verificava que após recebidas cerca de 20 mensagens (é um exemplo), em que estas, conteriam a mesma informação de localização, isto é, que o *optimists* se encontrava na mesma posição, desligava-se por alguns instantes. Desta forma seria possível reduzir os consumos elétricos, logo aumentar a vida da bateria.

De modo a aumentar o alcance, alguns módulos móveis poderiam ser programados para ser também *Range Extenders*, alterando entre as funções normais e os RE.

- Sistema de radiodifusão

Existem algumas melhorias a realizar no sistema de radiodifusão, a mais importante será a alteração da frequência de operação para uma na zona de espectro que seja de livre acesso. Para tal, os sistemas de transmissão e receção terão que ser ajustados para essa frequência. Outra possível melhoria do sistema de transmissão passaria pela otimização do *hardware*, de forma a evitar os ruídos produzidos por alguns dos seus componentes, assim este módulo seria mais eficaz.

Outra forma para melhorar o sistema desenvolvido, era refazê-lo e em vez de ser constituído apenas por um transístor utilizar pelo menos dois, separando assim em múltiplos andares as várias fases do transmissor, reduzindo substancialmente as interferências entre as várias funcionalidades. De modo, a aumentar o alcance neste caso poderia ser acrescentado um andar com um amplificador de potência, antes da antena.

Uma outra alternativa seria reutilizar o *SoC CC1110*, a uma frequência de 433 MHz, para enviar o áudio, utilizado a também para o envio dos dados de GPS, ou seja este chip fazer o tratamento dos dados do GPS e do áudio.

Outra possível solução para os problemas no sistema de radiodifusão, poderia ser a sua implementação num sistema digital, como o sistema que foi referido na introdução, Figura 1.3, ou utilizando os módulos digital ou analógico dos *Walkie-Talkies*, como é o caso do LORA1276 [43] e o SA818 [44], respetivamente, pois ambos apresentam alcances na ordem dos 5 Km e custo reduzido.

Por forma a melhorar a autonomia dos sistemas, em relação às alimentações, seria uma boa aposta, aplicar nos barcos algumas placas fotovoltaicas de modo a gerar energia suficiente para alimentar os sistemas desenvolvidos.

Bibliografia

- [1] "optimist.gif (187 × 335)". [Online] Available: <http://www.beamreachsailing.co.za/Images/optimist.gif>
- [2] "TLKR_T40". [Online] Available: http://airsat.ie/WebRoot/Register365/Shops/950004051/MediaGallery/ENG_TLKR_T40_SpecSheet.pdf
- [3] I. Systems, *Relatório do Projeto NAPIS*, Instituto de Telecomunicações de Aveiro, 2012
- [4] J.F.G Monico, *Posicionamento pelo Navstar-GPS*, Editora UNESP, 2000
- [5] "GPS Accuracy". [Online] Available: <http://www.gps.gov>
- [6] "GPS Segmentos". [Online] Available: [http://infohost.nmt.edu/~sim\\$reece/gps/whatisgps.html](http://infohost.nmt.edu/~sim$reece/gps/whatisgps.html)
- [7] H. Sugimoto, *Introduction to GPS*, Artech House, Boston·London, vol. 72, no. 3, 2006, pp. 285–288
- [8] "foto Optimist.jpg (500 × 344)". [Online] Available: <http://www.cnajr.it/scuolavela/fotoOptimist.jpg>
- [9] "Development Kit User Manual". [Online] Available: <http://www.ti.com/lit/ug/swru134a/swru134a.pdf>
- [10] "C/C++ Compiler 8051 – IAR Embedded Workbench for 8051 – IAR". [Online] Available: <http://www.iar.com/Products/IAR-Embedded-Workbench/8051/>
- [11] "System-on-Chip Battery Board User's Guide". [Online] Available: <http://www.ti.com/lit/ug/swru241/swru241.pdf>
- [12] "GPS Module Datasheet". [Online] Available: <http://nslab.ee.ntu.edu.tw/courses/wsn-labs-fall-10/labs/Gms-u1LP-Datasheet.pdf>
- [13] "CC1110Fx / CC1111Fx". [Online] Available: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc1111f32.pdf>
- [14] "SimpliciTI: Simple Modular RF Network Specification". [Online] Available: <http://courses.cs.washington.edu/courses/cse466/13au/pdfs/SimpliciTI%20docs/SimpliciTI%20Specification.pdf>
- [15] "SimpliciTI: Simple Modular RF Network Developers Notes". [Online] Available: <https://courses.cs.washington.edu/courses/cse466/10au/pdfs/SimpliciTI%20docs/SimpliciTI%20Developers%20Notes.pdf>

- [16] "Marine Electronics Dealer — National Marine Electronics Association — Boating Electronics". [Online] Available: <http://www.nmea.org>
- [17] "NMEA data". [Online] Available: <http://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm>
- [18] "66-channel GPS Engine Board Antenna Module with MTK Chipset MEDIATEK-3329". [Online] Available: http://inmotion.pt/documentation/diudrones/MediaTek_MT3329/mediatek_3329.pdf
- [19] "NMEA Manual based on MediaTek chipset". [Online] Available: [http://www.u-blox.com/images/downloads/Product_Docs/NMEA-CommandManual_\(FTX-HW-13002\).pdf](http://www.u-blox.com/images/downloads/Product_Docs/NMEA-CommandManual_(FTX-HW-13002).pdf)
- [20] S. F. Barrett, *Arduino Microcontroller Processing for Everyone!*, Morgan & Claypool Publishers, 2010, p. 325
- [21] "What is a serial interface?". [Online] Available: <http://www3.nd.edu/~lemmon/courses/ee224/web-manual/web-manual/lab9/node4.html>
- [22] Jan Axelson, *Serial Port Complete: COM Ports, USB Virtual COM Ports and Ports for Embedded Systems*, Lakeview Research, Second Edition, 2007
- [23] "I2C Interface for Communication — TWI (Two Wire Interface) Communication - EngineersGarage". [Online] Available: <http://www.engineersgarage.com/tutorials/twi-i2c-interface>
- [24] "Google Maps JavaScript API v3 - Simple markers". [Online] Available: <https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/examples/marker-simple>
- [25] J. G. Proakis, *COMMUNICATION SYSTEMS ENGINEERING*, Second Edition, Prentice Hall, 2001
- [26] "Si4702/03-C19". [Online] Available: <https://www.sparkfun.com/datasheets/BreakoutBoards/Si4702-03-C19-1.pdf>
- [27] "SN761634". [Online] Available: <http://www.ti.com.cn/cn/lit/ds/symlink/sn761634.pdf>
- [28] "Evaluation Board for Si4703 FM Tuner". [Online] Available: <https://www.sparkfun.com/products/10663>
- [29] "FR 16 WP-4 Ohm (white)". [Online] Available: http://www.visaton.com/en/industrie/breitband/fr16wp_ws_4.html
- [30] "Stereo 3.7W Class D Audio Amplifier". [Online] Available: <https://learn.adafruit.com/downloads/pdf/stereo-3-7w-class-d-audio-amplifier.pdf>
- [31] Reeves, *Electronic Fundamentals, Theory Lesson 36, Principles of Frequency Modulation*, scanned by Mike Yancey, 2012
- [32] "Técnicas de Modulação". [Online] Available: <http://www3.dsi.uminho.pt/adriano/Teaching/Comum/TecModul.html>

- [33] "Arduino-ArduinoBoardPro". [Online] Available: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardPro>
- [34] "FTDI Basic Breakout". [Online] Available: <https://www.sparkfun.com/products/9873>
- [35] "Si4703 FM Radio Receiver Quickstart Guide". [Online] Available: <https://www.sparkfun.com/tutorials/293>
- [36] "Frequências na distrito Aveiro — Rádios em Aveiro". [Online] Available: <http://pt.frequencia-radio.com/frequenciaradio-Aveiro.html>
- [37] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., 2005
- [38] "N. P. N. Epitaxial and S. Transistor". [Online] Available: <http://www.onsemi.com/pub/Collateral/BC337-D.PDF>
- [39] H. A. Wheeler, *Simple Inductance Formulas for Radio Coils*, Proc. I.R.E., vol. 16, pp. 1398–1400, Oct. 1928
- [40] "Multisim: Poderoso software de projeto e ensino de circuitos – National Instruments". [Online] Available: <http://www.ni.com/multisim/pt/>
- [41] Ott W. Henry, *Noise Reduction Techniques In Electronic Systems*–Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., 1988
- [42] "Ettus Research-Product Detail". [Online] Available: <https://www.ettus.com/product/details/UB200-KIT>
- [43] "LoRa1276". [Online] Available: <https://d3s5r33r268y59.cloudfront.net/datasheets/3118/2014-08-26-09-59-21/LoRa1276%20datasheet.pdf>
- [44] "SA818". [Online] Available: <https://d3s5r33r268y59.cloudfront.net/datasheets/2570/2014-06-03-08-38-29/SA818%20Datasheet.pdf>

Anexos

Anexos A

Esquemas elétricos e *layouts* utilizados

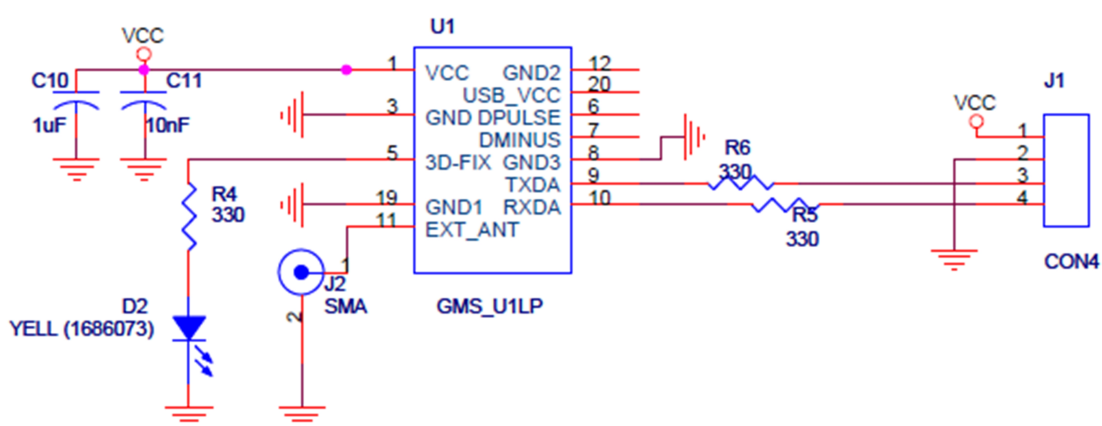


Figura A.1: Esquema elétrico da placa de GPS

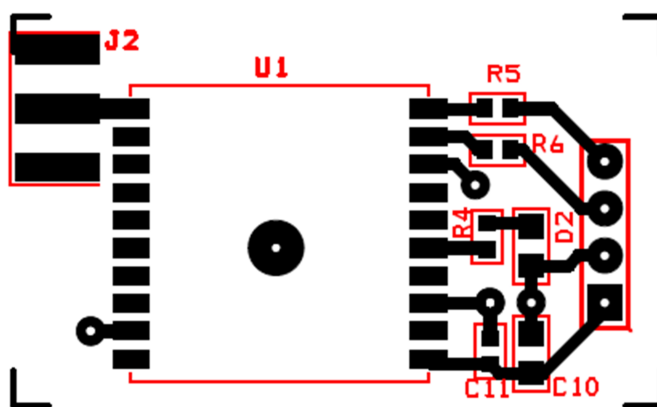


Figura A.2: *Layout* da placa de GPS

Anexos B

Montagem dos sistemas nas caixas

As caixas de plástico utilizadas têm tamanho diferentes, onde a mais pequena é para o sistema aplicado ao barco do treinador e a outra para o sistema aplicado aos *optimists*.

De modo a que os sistemas fiquem seguros dentro das caixas, foram feitos uns moldes em esferovite, um para o módulo do treinador (caixa 1), Figura B.1, e outro para os *optimists* (caixa 2), Figura B.2.

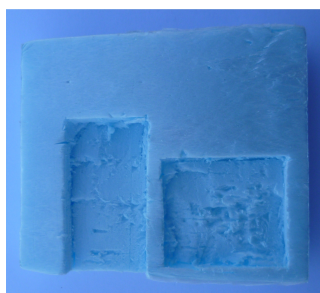


Figura B.1: Molde para o sistema do Treinador



Figura B.2: Molde para o sistema *optimist*

Após estarem terminados os moldes de esferovite, colocaram-se os módulos que constituem os vários sistemas, na Figura B.4 e Figura B.3 estão os dois sistemas desenvolvidos.



Figura B.3: Sistema dos *optimists* montado no molde de esferovite

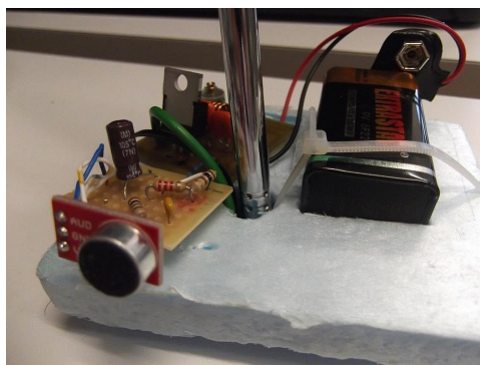


Figura B.4: Sistema do treinador montado no molde de esferovite

Anexos C

Impedância de entrada e de saída

C.1 Impedância de entrada

Para a medição da impedância de entrada do transmissor de FM, montou-se o circuito, representado na Figura C.1, onde R_{in} é o valor de resistência que se pretende descobrir. Em que no sinal V_s foi introduzido um sinal sinusoidal, com uma frequência de 5 KHz e uma tensão pico a pico de 6.12 V.

Colocou-se na resistência R, uma de $10K\Omega$, de seguida foi medida a tensão que se encontrava na entrada de áudio do TX, sendo esta de 1.72V. Com estes dados, calcula-se a queda de tensão em R e de seguida a corrente na entrada de áudio (I_{in}), através da fórmula de Ohm. Após saber a corrente de entrada, com a mesma fórmula anterior, calcula-se a R_{in} , em seguida serão apresentadas as contas realizadas.

$$I_{in} = \frac{V_s - V_{in}}{R} = \frac{6.12 - 1.72}{10k} = 0.44mA \quad (C.1)$$

$$R_{in} = \frac{V_{in}}{I_{in}} = \frac{1.72}{0.44m} = 3.9k\Omega \quad (C.2)$$

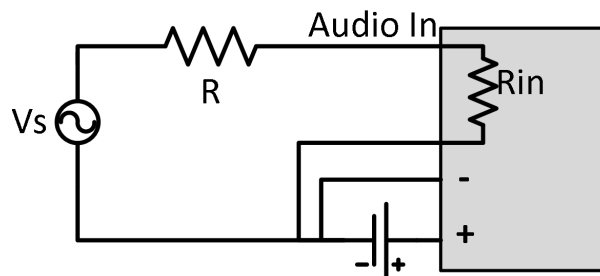


Figura C.1: Esquema de medida para a impedância de entrada Tx

C.2 Impedância de saída

A medição da impedância de saída do *Electret Microphone Breakout*, foi feita através do circuito representado na Figura C.2, em que Figura C.2a é medida a tensão à saída em aberto e na Figura C.2b é medida a tensão à saída, em que nesta se encontra uma resistência. Em ambos os circuitos é colocado um sinal de entrada, com um gerador de sinal.

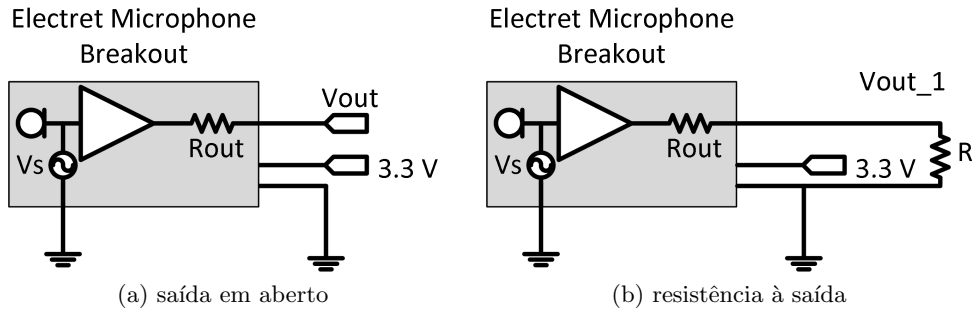


Figura C.2: Método para medição da impedância de saída

O método possível para calcular a impedância de saída, passa por se medirem as tensões V_s e V_{out_1} , em seguida com a ajuda da Fórmula C.3, divisor resistivo, determina-se o R_{in} .

$$\frac{V_{out_1}}{V_s} = \frac{R}{R_{in} + R} \quad (C.3)$$

Neste caso em concreto, o método referido anteriormente não é fácil de ser concretizado, devido ao amplificador e de colocar o sinal entre este e o micro, então o que se fez, foi medir as duas tensões referidas anteriormente, V_{out} e V_{out_1} e verificar quando o sinal diminuía para cerca de metade. Iniciou-se este processo com uma resistência de $1k\Omega$, foi se reduzindo a ordem de grandeza, até que se atingiu o objetivo com o valor de 300Ω .

Anexos D

Consumos energéticos

Para medir a energia consumida pelos vários sistemas, utilizou-se uma resistência e um multímetro. De seguida, está descrito o procedimento utilizado para:

- Sistema de GPS

Montou-se o circuito, representado na Figura D.1, em que:

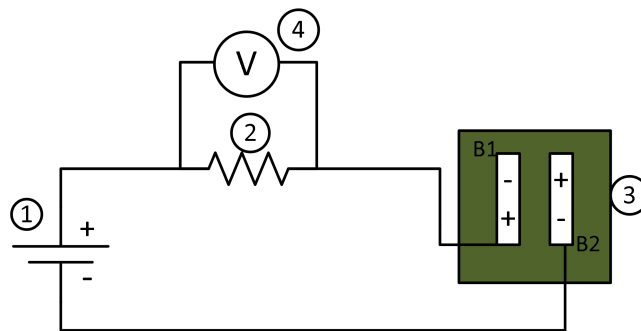


Figura D.1: Esquema de medida do consumo de energia

1. Duas pilhas de 1.5 V em série
2. Resistência auxiliar
3. Suporte para as duas pilhas na placa *SoC Battery*
4. Voltímetro

Colocou-se no ponto 2 uma resistência de pequeno valor, neste caso 4.7Ω e mediu-se no voltímetro a queda de tensão nela.

Com estes dados e aplicando a lei de Ohm, representada na Equação D.1, calculou-se a intensidade de corrente que passa na resistência, em que esta corresponde ao consumo do sistema em *Ampères*, analisado.

$$R = \frac{V}{I} \Leftrightarrow V = RI \quad (\text{D.1})$$

Onde:

V = tensão em Volts (V);

R = Resistência elétrica em *Ohm* (Ω);

I = Intensidade da corrente elétrica em *Ampères* (A)

O consumo calculado é de 44.7 mA.

Passando agora para a potência consumida, basta utilizar a Fórmula D.2, que vem em VA (*Volt-Ampère*)= W (*Watts*).

$$P = VI \tag{D.2}$$

Onde:

V = Tensão na pilha

Neste caso, utiliza-se 2 pilhas de 1.5 V, então V = 3 V, logo a potência será de 134.1 mW.

- Sistema de TX e RX

Com estes dois sistemas o procedimento utilizado foi semelhante ao referido anteriormente, à exceção que neste caso no ponto 1 está uma pilha de 9 V e no ponto 3 está um adaptador para ligar à pilha de 9 V. Utilizou-se uma resistência de 10 Ω e o consumo calculado é de:

TX	RX
2 mA	20 mA

Tabela D.1: Consumo energético sistemas base

Em ambos os casos são utilizadas uma pilha de 9 V, então a autonomia calculada é de:

TX	RX
300 horas	30 horas

Tabela D.2: Autonomia sistemas base

A experiência efetuada anteriormente para os sistemas de TX e RX, foi realizada novamente, em que foram adicionados os pormenores finais ao TX e RX, para que seja feita a transferência de áudio, microfone e coluna, respetivamente. O consumo energético e a autonomia calculados estão representados de seguida.

TX	RX
6.2 mA	52 mA

Tabela D.3: Consumo energético sistemas completos

TX	RX
97 horas	12 horas

Tabela D.4: Autonomia sistemas completos

Anexos E

Script para o mapa

```
<!DOCTYPE html>
<html>
  <head>
    <meta name="viewport" content="initial-scale=1.0, user-scalable=no">
    <meta charset="utf-8">
    <title>Simple markers</title>
    <style>
      html, body, #map-canvas {
        height: 100%;
        margin: 0px;
        padding: 0px
      }
    </style>
    <script src="https://maps.googleapis.com/maps/api/js?v=3.exp"></script>
    <script>
function initialize() {
  var cCenter = new google.maps.LatLng(40.6390,-8.6572);
  var mapOptions = {
    zoom: 15,
    center: cCenter
  }
  var map = new google.maps.Map(document.getElementById('map-canvas'),mapOptions);

//Inicio do acesso aos dados no servidor em PHP
<?php

  // converte as coordenadas DMS em DD
function convert($coordinate){
  // SPLIT BY '.'
  $coordinate = explode('.', $coordinate);
  $coordinate[1] = str_replace("\n", '', $coordinate[1]);

  // extrai os dados
  $minute = intval(substr($coordinate[0], -2));
  $second = intval(substr($coordinate[1], 0, 4));
  $test= doubleval(substr($coordinate[0], -2).'.'.substr($coordinate[1], 0, 4));
```

```

$degree = intval(str_replace(substr($coordinate[0], -2), "", $coordinate[0]));

// Make the calculations with the variables now!
$dcCoordinate = ($degree + ($test/60));

// converte S e W para coordenadas negativas
if(substr($coordinate[1], -1, 1) == 'S' || substr($coordinate[1], -1, 1) == 'W')
    $dcCoordinate = -1 * $dcCoordinate;

return $dcCoordinate;
}

//dados de cada linha
$lineSize = 43;
$numOfLines = 6;
$nextlineChar = 2;
$totalBytes = ($lineSize+$nextlineChar)*$numOfLines;

//abre o ficheiro
$handle = fopen("C:\\Users\\Ana\\Desktop\\putty.log", "r");

if ($handle) {
    fseek($handle,-1*$totalBytes,SEEK_END);

    //for($i=0; $i < 2 && ($line = fgets($handle)) !== false; $i++){
    while (($line = fgets($handle)) !== false)
    {
        //retira o último espaço do ficheiro
        if(ctype_space($line )) {

        }else{
            //extraí para o array os campos
            $lineArray = explode(',', $line);

            //identificador do dispositivo
            $name = trim(preg_replace('/\s\s+/', ' ', $lineArray[0]));

            //convert coordenadas
            $lat = convert($lineArray[1]);
            $lon = convert($lineArray[2]);

            //coloca no map
            echo "\r\n". 'new google.maps.Marker({';
            echo "\r\n". 'position: new google.maps.LatLng('.$lat.','.$lon. '),';
            echo "\r\n". 'map: map,';
            echo "\r\n". 'title: \''.$name.'\'';
            echo "\r\n". '});';
        }
    }
}

```

```
    } else {
        echo 'Opps';
    }
    fclose($handle);
?>
//Fim do acesso aos dados no servidor
}
google.maps.event.addDomListener(window, 'load', initialize);

</script>
</head>
<body>
    <div id="map-canvas"></div>
</body>
</html>
```