



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO  
Universidade Técnica de Lisboa



## **Implementação e Desenvolvimento da Estação de Monitorização de GPS do Instituto de Telecomunicações**

**Pedro Miguel Valente da Silva Gonçalves**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia Electrotécnica e de Computadores**

### **Júri**

Presidente:	Professor José Manuel Bioucas Dias
Orientador:	Professor José Eduardo Charters Ribeiro da Cunha Sanguino
Co-orientador:	Professor António José Castelo Branco Rodrigues
Vogal:	Professor Francisco António Bucho Cercas

Julho de 2010

## **Agradecimentos**

Utilizo este espaço para agradecer a todas as pessoas que de uma forma directa ou indirecta me ajudaram a chegar até aqui, e que me possibilitaram ultrapassar os desafios durante o desenvolvimento deste projecto tanto a nível pessoal como a nível académico.

Começo por agradecer aos orientadores, Professor José Sanguino e Professor António Rodrigues pela oportunidade de desenvolver este projecto com uma elevada componente prática. O seu conhecimento, disponibilidade e o grande profissionalismo foram essenciais para a realização do trabalho.

À Fundação para a Ciência e Tecnologia por financiar o projecto através de uma Bolsa de iniciação à Investigação Científica.

Ao Instituto de Telecomunicações pela disponibilização do espaço e das condições, para o desenvolvimento do trabalho.

Por último um agradecimento especial à minha família e aos meus amigos, que estiveram sempre presentes, desde o início até à conclusão desta dissertação.

Fica aqui expresso o meu sincero agradecimento a todos.

## Resumo

O sistema de posicionamento global está hoje inserido em diversas áreas e aplicações, possibilitando a geração de diversos resultados. Pretende-se com este trabalho a implementação e desenvolvimento de uma estação de monitorização de GPS, utilizando para isso duas antenas e dois receptores de GPS, e um computador.

Numa primeira fase são descritos os conceitos de GPS essenciais para a compreensão do presente trabalho. De seguida é realizada a caracterização do equipamento presente na estação, sendo referidas as suas características mais importantes.

A comunicação entre o computador e os dois receptores de GPS é conseguida recorrendo ao desenvolvimento de software, sendo realizado também o processamento dos dados adquiridos. Com o intuito do trabalho ser usado em projectos futuros, foi desenvolvida uma interface simples e objectiva que permite a utilizadores futuros da estação a aquisição dos dados já adquiridos e processados.

O passo final na implementação da estação, consiste no desenvolvimento de uma interface web. O acesso através da Internet é universal e intuitivo, estando este restrito a utilizadores autorizados. A configuração de parâmetros importantes dos receptores, a visualização de determinados dados e a possibilidade de efectuar o *download* de ficheiros com informação específica está assim disponível em qualquer lugar do globo.

O trabalho resultante serve como um ponto de partida no desenvolvimento de uma estação de monitorização de GPS, tendo sido desenvolvidas algumas funcionalidades.

**Palavras-chave:** GPS, Estação de monitorização, Receptor, Interface

## **Abstract**

The global positioning system is now inserted in various areas and applications, enabling the generation of various results. The aim of this work is the implementation and development of a GPS monitoring station, using for it two antennas and two GPS receivers, and a computer.

Initially, it is described the essentials concepts of GPS to the understanding of this work. Then it is done the characterization of the equipment present in station, and also referred their most important features.

The communication between the computer and the two GPS receivers is achieved using software development, and also performed the processing of acquired data. To future projects, it was developed an objective and simple interface that allows future users of the station to acquire the data already processed.

The final step in the implementation of the station, is to develop a web interface. Access through the Internet is universal and intuitive, which is restricted to authorized users. The setting of parameters of the receivers, the viewing of certain data and the possibility to download files with some information is available anywhere in the world.

The resulting work serves as a starting point in developing a GPS monitoring station, with some features developed.

**Keywords:** GPS, Monitoring station, Receiver, Interface

# Índice

<b>Agradecimentos</b> .....	<b>ii</b>
<b>Resumo</b> .....	<b>iii</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>iv</b>
<b>Índice</b> .....	<b>v</b>
<b>Lista de Tabelas</b> .....	<b>vii</b>
<b>Lista de Figuras</b> .....	<b>viii</b>
<b>Lista de Abreviações</b> .....	<b>ix</b>
<b>1 Introdução</b> .....	<b>1</b>
1.1 Motivação .....	1
1.2 Objectivos.....	1
1.3 Organização .....	2
<b>2 Enquadramento Tecnológico</b> .....	<b>4</b>
2.1 <i>Global Positioning System (GPS)</i> .....	4
2.1.1 História.....	4
2.1.2 Conceitos do sistema .....	4
2.1.3 <i>Differential Global Positioning System (DGPS)</i> .....	8
2.1.4 <i>Radio Technical Commission For Maritime Services (RTCM)</i> .....	9
2.1.5 <i>National Marine Electronics Association (NMEA)</i> .....	10
2.1.6 <i>Receiver Independent Exchange Format (RINEX)</i> .....	11
2.2 Equipamento utilizado no projecto .....	12
2.2.1 Receptor GPS .....	12
2.2.2 Antena .....	15
2.2.3 Computador .....	16
2.2.4 Interligação dos componentes .....	17
2.3 Estado da Arte .....	17
<b>3 Descrição do Sistema</b> .....	<b>19</b>
3.1 Introdução.....	19
3.2 Arquitectura do Sistema .....	19

3.3	Soluções Adoptadas .....	20
3.4	Interface Série .....	25
3.4.1	Programa “Criar e Inicializar” .....	27
3.4.2	Programa “Antena” .....	28
3.4.3	Envio de mensagens para os receptores de GPS .....	29
3.4.4	Programa “Interface com os receptores” .....	32
3.4.5	Programas “Dados de navegação”, “Dados de observação” e “Ficheiros Rinex” ..	35
3.4.6	Programas “Posição dos satélites” e “Azimute e elevação” .....	40
3.4.7	Programas “Dados dos satélites” e “Figura com a posição dos satélites” .....	45
3.4.8	Programa “Gerar correcções diferenciais” .....	48
3.5	Interface “user-friendly” .....	55
3.6	Interface Web .....	58
3.6.1	Autenticação .....	60
3.6.2	Interacção com os receptores .....	61
3.6.3	Dados dos satélites .....	63
3.6.4	Ficheiros no formato Rinex .....	65
3.7	Manual de instruções .....	67
<b>4</b>	<b>Resultados e Testes .....</b>	<b>68</b>
4.1	Introdução.....	68
4.2	Interface Série .....	68
4.3	Interface “user-friendly” .....	77
4.4	Interface Web .....	77
<b>5</b>	<b>Conclusões e Desenvolvimentos Futuros .....</b>	<b>79</b>
5.1	Conclusões.....	79
5.2	Perspectivas de trabalho futuro.....	80
	<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>82</b>
	<b>Anexo A – Formato RTCM .....</b>	<b>84</b>
	<b>Anexo B – Formato NMEA.....</b>	<b>87</b>
	<b>Anexo C – Formato proprietário .....</b>	<b>89</b>
	<b>Anexo D – <i>Instruction Manual</i>.....</b>	<b>93</b>

## Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Características das portadoras L1 e L2. ....	7
Tabela 2.2 – Ângulo de elevação (°) e Ganho (dBi) da antena de GPS.....	16
Tabela 3.1 – Semáforo para sincronização da estrutura de memória partilhada. ....	23
Tabela 3.2 – Campos da mensagem de inicialização.....	31
Tabela A.1 – Primeira palavra do cabeçalho RTCM.....	84
Tabela A.2 – Segunda palavra do cabeçalho RTCM.....	84

## Lista de Figuras

Figura 2.1 – Órbita dos satélites da constelação de GPS. ....	5
Figura 2.2 – Segmentos do sistema GPS. ....	5
Figura 2.3 – Ideia básica do sistema GPS. ....	6
Figura 2.4 – Receptor GPS da estação do IT. ....	13
Figura 2.5 – Antena de GPS da estação do IT. ....	15
Figura 2.6 – Diagrama de radiação da antena de GPS. ....	16
Figura 2.7 – Interligação dos componentes. ....	17
Figura 3.1 – Arquitectura do sistema desenvolvido. ....	19
Figura 3.2 – Exemplo de partilha de dados através de memória partilhada. ....	21
Figura 3.3 – Estrutura usada com os segmentos de memória partilhada. ....	22
Figura 3.4 – Fluxograma com o uso dos semáforos na leitura e escrita de dados. ....	24
Figura 3.5 – Arquitectura do módulo Interface Série. ....	26
Figura 3.6 – Estrutura para a mensagem PBN. ....	28
Figura 3.7 – Ficheiro com a correspondência entre as antenas e a porta série. ....	28
Figura 3.8 – Ficheiro com a posição “exacta” das duas antenas de GPS. ....	29
Figura 3.9 – Ciclo do programa “Interface com os receptores”. ....	34
Figura 3.10 – Ciclo do programa “Dados de navegação”. ....	37
Figura 3.11 – Ciclo do programa “Gerar correcções diferenciais”. ....	49
Figura 3.12 – Exemplo de uma função para aceder aos dados da mensagem PBN. ....	58
Figura 3.13 – Página principal da estação de monitorização de GPS do IT. ....	59
Figura 3.14 – Formulário HTML para o envio da mensagem de inicialização. ....	62
Figura 3.15 – Exemplo da resposta ao envio da mensagem PAR, no módulo Interface Web. ....	63
Figura 3.16 – Página que permite aceder aos dados dos satélites visíveis. ....	64
Figura 3.17 – Página para acesso aos ficheiros no formato RINEX. ....	65
Figura 3.18 – Página com os ficheiros RINEX referentes a um determinado dia. ....	66
Figura 4.1 – Exemplo de uma parte do ficheiro RINEX de navegação. ....	69
Figura 4.2 – Exemplo de uma parte do ficheiro RINEX de observação. ....	70
Figura 4.3 – Azimute e elevação em graus dos satélites visíveis a uma das antenas. ....	72
Figura 4.4 – Distância entre um dado satélite, calculado com recurso aos dois receptores. ....	74
Figura 4.5 – Diferença entre o <i>pseudo-range</i> , calculado com recurso aos dois receptores. ....	75
Figura 4.6 – Diferença entre as correcções diferenciais, com recurso aos dois receptores. ....	76

## Lista de Siglas

ASCII	American Standard Code for Information Interchange
DB	Data Bus
DGPS	Differential Global Positioning System
DOD	Department of Defense
DOP	Dilution of Precision
ECEF	Earth-Centered Earth-Fixed
ESA	European Space Agency
EU	European Union
FIFO	First In First Out
GPS	Global Positioning System
HTML	HyperText Markup Language
HTTP	HyperText Transfer Protocol
ID	Identification
IODC	Issue of Data Clock
IODE	Issue of Data Ephemeris
IPC	Inter-Process Communication
IST	Instituto Superior Técnico
IT	Instituto de Telecomunicações
LS	Least Squares
MCS	Master Control Station

NAVSTAR	Navigation Satellite with Time and Ranging
NMEA	National Marine Electronics Association
PHP	Personal Home Page
PRC	Pseudo-Range Correction
PRN	Pseudo Random Noise
RF	Radio Frequency
RINEX	Receiver Independent Exchange Format
RRC	Range Rate Correction
RS	Recommended Standard
RTCM	Radio Technical Commission For Maritime Services
RTK	Real Time Kinematic
SBAS	Satellite-Based Augmentation System
SNR	Signal-to-Noise Ratio
SV	Space Vehicle
UDRE	User Differential Range Error
UTC	Coordinated Universal Time
WGS-84	World Geodetic System 1984

# 1 Introdução

## 1.1 Motivação

O GPS (*Global Positioning System*) é hoje um sistema inserido em diversas áreas e usado em múltiplas aplicações. Um receptor de GPS permite a um utilizador em qualquer ponto do globo terrestre e a qualquer hora do dia, conhecer a sua posição num determinado sistema de coordenadas global. Para além desta informação, existe um vasto conjunto de dados possíveis de serem adquiridos com um receptor de GPS e que podem ser usados para fins de estudo e investigação científica.

Sendo o GPS um sistema que está operacional 24 horas por dia, é possível implementar uma estação de monitorização permanente que faça uso dos dados enviados pelos receptores de GPS, e que de uma forma simples disponibilize esses dados para os utilizadores da estação ou, de uma maneira mais complexa sejam aplicados diversos algoritmos aos dados e após esse processamento é feita a sua disponibilização.

A estação de monitorização de GPS do IT (Instituto de Telecomunicações), está situada no Laboratório de Satélites no 12º piso da Torre Norte do IST (Instituto Superior Técnico) e permite que diversos tipos de dados estejam disponíveis, para além de possibilitar uma contínua interface com dois receptores de GPS.

## 1.2 Objectivos

O objectivo do projecto descrito neste relatório terá como ponto inicial a interligação de vários componentes, e de seguida o desenvolvimento de software, de raiz, para implementar uma estação de monitorização de GPS.

A estação terá que estar operacional 24 horas por dia, sendo utilizados dois receptores de GPS iguais, ligados a duas antenas situadas em pontos diferentes e localizadas no topo da Torre Norte do IST. A utilização de dois receptores permite validar alguns dos resultados obtidos, comparando os dados de um e de outro, e tem também o objectivo de ser útil em trabalhos futuros.

A implementação da estação terá que estar dividida em dois grandes módulos. O primeiro é um programa desenvolvido em linguagem de programação C e que permite toda a interface com os receptores incluindo o processamento dos dados. O segundo é referente ao desenvolvimento de uma página na Internet com o objectivo de facultar todas as funcionalidades do *software* descrito anteriormente de maneira mais prática e intuitiva.

O programa que faz a comunicação com os receptores e processa os dados enviados por estes é complexo, e por isso um dos objectivos da dissertação começa por construir múltiplos processos cada um com uma determinada função. A interligação entre os vários processos é realizada recorrendo a um dos métodos de IPC (*Inter-Process Communication*), possibilitando assim a partilha de informação entre os mesmos. Alguns dos processos permitem enviar para os receptores determinadas mensagens, num formato específico, de modo a alterar determinadas características destes ou requisitam o envio de algumas informações sobre o estado de alguns parâmetros. A interface com os receptores é realizada por um outro processo, que ao mesmo tempo guarda os dados enviados em segmentos de memória partilhada (um dos métodos de IPC).

Os restantes processos trabalham apenas os dados enviados pelos receptores, não tendo qualquer tipo de interacção com os mesmos. Como objectivos tem-se a geração de ficheiros no formato RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*), o cálculo de correcções diferenciais (DGPS – *Differential Global Positioning System*) e a visualização de uma figura com a representação do azimute e elevação dos satélites em linha de vista com as duas antenas, num determinado instante.

O primeiro módulo pode ser dividido numa segunda parte, que traduz o objectivo de os dados adquiridos serem usados em trabalhos futuros. Será então necessário criar uma interface que seja acessível, para que qualquer utilizador do programa possa facilmente realizar a aquisição dos dados enviados pelo receptor. Esta interface consiste em múltiplos processos desenvolvidos também em linguagem de programação C, e permitem obter os dados ainda numa forma primitiva, ou seja recorrendo aos segmentos de memória partilhada referidos anteriormente.

Relativamente à página na Internet esta terá de ser de uso restrito definindo-se dois tipos de utilizadores, administrador e geral, tendo o administrador acesso a todos os conteúdos disponibilizados na página. As várias funcionalidades disponíveis dizem respeito aos pontos descritos anteriormente, agora num formato muito mais acessível e com a possibilidade de acesso em qualquer ponto do globo terrestre, bastando para isso ter uma ligação à Internet.

### **1.3 Organização**

Esta dissertação está dividida em cinco capítulos. Após o capítulo 1, que contém umas breves notas introdutórias, apresenta-se no capítulo 2 os conceitos gerais do sistema GPS necessários para entender alguns dos aspectos desenvolvidos neste trabalho. São também referidos alguns formatos padrão relacionados com o GPS. O capítulo 2 termina com uma apresentação dos componentes que permitem a implementação da estação de monitorização de GPS, e com uma breve descrição do estado da arte.

No capítulo 3 são descritas as soluções adoptadas para o desenvolvimento do projecto, bem como uma detalhada descrição de todo o *software* desenvolvido. Este capítulo está dividido segundo os dois módulos referidos no ponto 1.2, e que podem ser considerados em três partes distintas.

No capítulo 4 são abordados os principais resultados obtidos, bem como o desempenho e as potencialidades da estação. Referem-se também os principais testes realizados e as respectivas consequências.

As principais conclusões e perspectivas para trabalhos futuros encontram-se no capítulo 5.

## 2 Enquadramento Tecnológico

### 2.1 *Global Positioning System (GPS)*

Neste subcapítulo é feita uma descrição geral do sistema GPS, onde se refere a sua história e alguns dos seus conceitos essenciais, entre os quais DGPS. São também descritos alguns formatos relacionados com GPS, usados no projecto, e essenciais na troca de informação entre receptores de fabricantes diferentes.

#### 2.1.1 História

No início dos anos 60 algumas organizações governamentais dos Estados Unidos da América, entre as quais o DOD (*Department of Defense*), estavam interessadas em desenvolver um sistema de satélites que possibilitasse a determinação da posição de um determinado ponto do globo terrestre em três dimensões. Nesta altura tinha-se como objectivos a cobertura global, uma operação contínua, e uma grande precisão nos resultados. O primeiro sistema de posicionamento global teve a designação de *Transit*, e ficou operacional no ano de 1964. Apesar de ter sido usado em algumas plataformas, o sistema possuía algumas limitações e não cumpria os objectivos requeridos inicialmente. Surgiram diversas variantes do sistema original *Transit*, as quais permitiram obter conhecimentos úteis para o desenvolvimento do GPS [1].

Com o propósito de atingir os objectivos descritos atrás, em 1970 começou o desenvolvimento de um sistema com o nome NAVSTAR (*Navigation Satellite with Time and Ranging*) GPS. O primeiro tipo de satélites lançado tinha o nome de Block I. Após este seguiram-lhe os satélites dos tipos, Block II, Block IIA, Block IIR e Block IIR-M. Os próximos conjuntos de satélites previstos serão Block IIF e Block III [1].

Oficialmente o sistema GPS foi declarado totalmente operacional em 1995, garantindo que pelo menos 24 dos satélites em órbita estavam a funcionar correctamente [2].

#### 2.1.2 Conceitos do sistema

- **Órbita dos satélites**

Para garantir uma cobertura global, os satélites pertencentes à constelação GPS foram colocados em seis órbitas planas, a uma distância próxima de 20,200 km da Terra como pode ser visto na Figura 2.1. As órbitas têm uma forma elíptica com um período orbital de 12 horas e uma inclinação, em relação ao equador, de 55°. Com esta geometria garante-se que pelo menos 4 satélites são visíveis em qualquer ponto do globo, sendo este o número de satélites

mínimo necessário para fornecer uma solução de posição. Se o ângulo de elevação for de  $10^\circ$  o número máximo de satélites visíveis é 10 [2].



Figura 2.1 – Órbita dos satélites da constelação de GPS.

O movimento dos satélites provoca o que se designa por efeito de Doppler. Representa um desvio na frequência de 5 kHz o que obriga o receptor de GPS a fazer uma varrimento de frequências. Para minimizar o varrimento o receptor usa a informação disponível no *almanac*.

O *almanac* fornece informação sobre as órbitas de todos os satélites activos e pode ser usado para prever qual o desvio de frequência provocado pelo efeito de Doppler.

- **Segmentos do sistema**

O sistema GPS está dividido em três segmentos: segmento espacial, segmento de controlo e o segmento dos utilizadores. A sua representação está esquematizada na Figura 2.2.

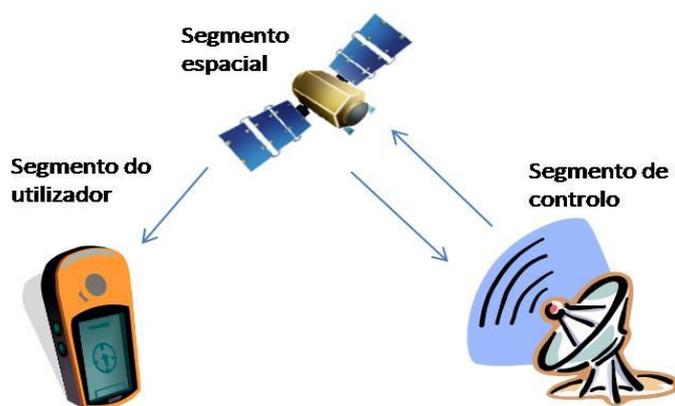


Figura 2.2 – Segmentos do sistema GPS.

O segmento espacial é composto pela constelação de satélites. Cada um dos satélites transmite um sinal a partir do qual os utilizadores realizam medições de distância. Este conceito torna o GPS um sistema passivo para os utilizadores, dado que apenas recebem sinais dos satélites. O sinal inclui dados, entre outros, que permitem ao utilizador calcular a posição do satélite num determinado instante, conhecidos como efemérides.

O segmento de controlo consiste num conjunto de estações, localizadas em diferentes locais, onde a estação principal designada por MCS (*Master Control Station*) está situada no Colorado, Estados Unidos da América [2]. O segmento é responsável por monitorizar, comandar e controlar a constelação de satélites. As principais tarefas são, determinar e prever a posição dos satélites, actualizar o relógio dos satélites, efemérides e *almanac*. A actualização dos vários parâmetros é realizada pelo menos uma vez por dia, sendo enviados para cada um dos satélites para depois serem transmitidas aos utilizadores.

O ultimo segmento inclui todos os utilizadores do sistema. Com um receptor de GPS ligado a uma antena, o utilizador pode receber os sinais provenientes dos satélites e assim determinar a sua posição em qualquer lugar do globo.

- **Ideia básica do sistema**

A ideia por trás do sistema GPS é simples, e está representada na Figura 2.3. Se a distância de um ponto do globo a três dos satélites presentes na constelação for conhecida, então a intersecção de três esferas cujos raios representam a distância do utilizador a cada um dos satélites, define a posição do utilizador.

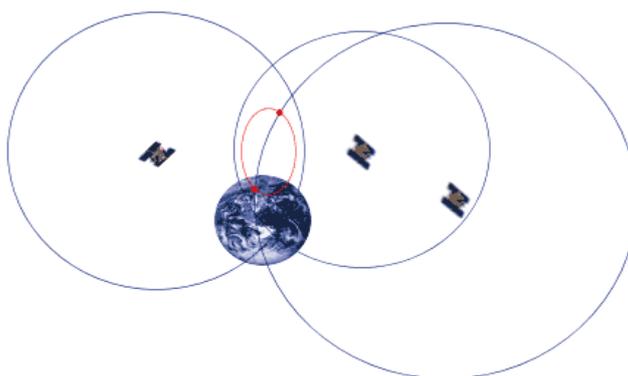


Figura 2.3 – Ideia básica do sistema GPS.

Um das maneiras de determinar a distância aos satélites, é usando os códigos provenientes do sinal enviado por estes. Normalmente estes códigos são designados por PRN (*Pseudo Random Noise*) devido ao facto de parecerem muito complicados, contudo têm uma sequência lógica. Cada satélite transmite um código diferente, existindo por isso uma baixa correlação entre eles. O receptor GPS gera uma réplica do código e é feita uma correlação com o código

enviado pelos satélites de modo a determinar o tempo que o sinal demorou a chegar ao utilizador. Tanto os satélites como os receptores GPS possuem relógios, e é com o relógio do receptor que esse tempo é determinado. Se os relógios de ambos estivessem completamente sincronizados e a propagação do sinal fosse feita no vácuo, a distância a cada um dos satélites estaria medida correctamente. O problema é que os relógios não estão síncronos e assim surge na equação total uma nova incógnita, o *offset* do relógio do receptor. Assim existem 4 incógnitas no sistema: a posição no eixo x do utilizador, a posição y, a posição z e o *offset* do relógio dos receptores de GPS. Para resolver esta situação, a solução encontrada foi adicionar a medição da distância de mais um satélite, sendo então necessários quatro satélites no total para um receptor de GPS calcular a sua posição.

- **Características do sinal**

Os satélites transmitem permanentemente duas ondas portadoras na banda L. São designadas por L1 e L2 com uma frequência de 1575,42 MHz e 1227,60 MHz respectivamente. A escolha das frequências justifica-se pois a interferência do sinal à chuva, neve e outras condições meteorológicas deve ser mínima. O comprimento de onda para a frequência L1 é de aproximadamente 19 cm, e para a portadora L2 de 24,4 cm. A existência de duas portadoras permite conhecer um dos erros do GPS, conhecido como atraso proveniente da ionosfera.

Todos os satélites transmitem nas mesmas frequências, contudo a modulação do código é diferente para cada um dos satélites. Os dois códigos existentes são designados por C/A (*Coarse acquisition*) e P (*Precision*). Cada código consiste num conjunto de dígitos binários conhecidos como *chips*. Normalmente o código C/A é modulado na portadora L1 enquanto que o código P é modulado em ambas as portadoras. A portadora L1, para além de transportar os dois códigos, inclui também os dados de navegação, enquanto que a portadora L2 modula apenas o código P. O uso da portadora L2 está normalmente associado a receptores construídos para posicionamento preciso, como utilizadores militares. A portadora L1 está ligada a uso civil. Na Tabela 2.1 está um resumo das principais características das duas portadoras [2].

Tabela 2.1 – Características das portadoras L1 e L2.

<b>L1</b>	1575,42 MHz	C/A e P	Receptores civis
<b>L2</b>	1227,60 MHz	P	Receptores militares

- **Erros que afectam o sistema**

Os erros que afectam a precisão do sistema GPS têm diferentes origens. As efemérides são um conjunto de dados que permitem ao receptor calcular a posição dos satélites e que são enviadas na mensagem de navegação. No entanto existem alguns factores que introduzem

alguns erros nesses dados, o que afecta a precisão no cálculo da posição dos satélites. Uma outra fonte de erro provém dos relógios. Apesar do relógio dos satélites ser muito preciso, um erro de um nanosegundo equivale a 30 cm de erro no cálculo da distância aos satélites. Também o relógio do receptor, sendo menos preciso, introduz erro como já foi referido atrás. O multi-percurso e o ruído do receptor têm também influência negativa na precisão. A viagem do sinal até ao receptor é outra das fontes de erro. No seu percurso, o sinal atravessa a ionosfera e a troposfera fazendo com que a velocidade não seja exactamente a velocidade da luz no vazio. Por último, a própria geometria com que os satélites estão dispostos no espaço afecta o sistema. Quanto mais afastados os satélites estiverem melhor a sua geometria, ou seja a precisão no cálculo da posição de um utilizador é maior [2].

Existe uma variável que permite medir o efeito da geometria dos satélites designada por DOP (*Dilution of Precision*), e quanto menor o seu valor melhor a geometria dos satélites. Existem mais três vertentes desta variável: PDOP (*Position Dilution of Precision*), HDOP (*Horizontal Dilution of Precision*) e VDOP (*Vertical Dilution of Precision*). O PDOP é usado para saber o efeito da geometria dos satélites no cálculo da posição em três dimensões. O HDOP e o VDOP são as componentes horizontal e vertical, respectivamente, do PDOP. Estas variáveis podem ser obtidas a partir dos receptores de GPS, que informam os utilizadores da precisão da posição.

- **Escalas de tempo**

Existem duas escalas de tempo importantes para os utilizadores do sistema GPS. UTC (*Coordinated Universal Time*) é uma escala de tempo atómica, que periodicamente sofre um ajustamento no tempo sendo os seus segundos incrementados em mais uma unidade. A outra escala de tempo é designada por tempo GPS, e é a escala de referência para os sinais GPS. Esta escala de tempo iniciou-se no dia 6 de Janeiro de 1980 onde se igualou ao tempo UTC, e é uma escala de tempo contínua, não sofrendo por isso ajustamentos periódicos como acontece com o tempo UTC [1]. Na mensagem de navegação são enviados dois parâmetros para caracterizar o tempo GPS: o número da semana desde o seu início (6 de Janeiro de 1980) e os segundos da semana em questão.

### **2.1.3 Differential Global Positioning System (DGPS)**

Existem inúmeras aplicações onde a precisão requerida ao sistema GPS ultrapassa o possível, devido à existência dos erros descritos no ponto 2.1.2. Devido à permanente necessidade de melhorar e evoluir surgiu um subsistema do GPS designado por DGPS. Por definição este método usa uma posição de referência cuja localização é bem conhecida. Para o sistema DGPS estar operacional é necessário ter uma estação com pelo menos um receptor GPS capaz de gerar correcções diferenciais, e essa estação tem de estar numa posição fixa. O

conceito teórico é muito simples. Dado que a estação é fixa e a sua posição é conhecida, pode ser calculada com grande precisão a distância que separa cada um dos satélites, visíveis, e a estação de referência. O receptor de GPS calcula também essa distância, segundo o que foi dito no ponto 2.1.2, designando-se por *pseudo-range*. O nome deriva do facto dessa distância não ser a exacta por incluir erros próprios do GPS. Assim, realizando uma subtracção entre a distância exacta e o *pseudo-range* para cada um dos satélites visíveis, o resultado representa o erro do receptor na medição da distância a cada um dos satélites. Muitos desses erros são comuns entre receptores diferentes desde que estejam a uma distância, não muito elevada, da estação de referência. A estação pode agora transmitir os erros para utilizadores que estejam localizados relativamente perto da estação de referência. Esses erros são aplicados nos receptores de GPS o que permite aumentar significativamente a precisão eliminando grande parte dos erros, como por exemplo o erro das efemérides e também o erro no relógio dos satélites.

Existem dois tipos de correcções diferenciais em tempo real. O primeiro é baseado nas correcções do *pseudo-range*, conseguindo-se uma precisão entre 1 a 3 metros. O segundo tipo de correcção usa medições da fase da portadora, sendo designado por correcção RTK (*Real Time Kinematic*), conseguindo uma precisão de centímetros [3].

#### **2.1.4 Radio Technical Commission For Maritime Services (RTCM)**

RTCM é uma organização científica com fins não lucrativos localizada nos Estados Unidos da América, focalizada em aspectos relacionados com comunicação marítima via rádio e navegação via rádio. Fundada em 1947 é agora uma organização de membros independentes [4].

Como foi descrito no ponto 2.1.3, o DGPS corresponde ao envio de correcções, provenientes de uma estação de referência, para determinados utilizadores. De modo a que esse serviço seja global, o formato em que são enviadas as correcções não pode depender do receptor. Assim o formato das mensagens DGPS está definido pela organização RTCM. A versão mais recente do formato RTCM é a versão 3.1 [5]. Esta versão é apenas baseada em correcções RTK, ao qual se faz referência no ponto 2.1.3. Nesta dissertação as correcções diferenciais geradas são baseadas no *pseudo-range*, daí a justificação para o que o formato das mensagens construídas no presente projecto correspondam ao formato RTCM na versão 2.1, que incluem as mensagens para este tipo de correcção.

Na versão 2.1 do formato RTCM existem vários tipos de mensagens passíveis de serem enviadas para os utilizadores. No projecto foi definida apenas a mensagem do tipo 1, que incorpora as correcções diferenciais para o *pseudo-range* dos satélites que são visíveis para a estação de referência.

No Anexo A está esquematizado o formato da mensagem do tipo 1 [6].

### **2.1.5 National Marine Electronics Association (NMEA)**

A norma NMEA foi desenvolvida para permitir uma comunicação satisfatória entre instrumentos marítimos, equipamentos de navegação e de comunicação. O objectivo da norma é servir o interesse público facilitando a troca de informação entre equipamento de marcas diferentes. São definidos na norma, especificações do sinal, especificações do protocolo de transmissão de dados e um formato de mensagens específico [7].

Os receptores de GPS enviam mensagens num formato próprio, variando de receptor para receptor. Muitos deles possuem mensagens na norma NMEA, o que facilita a generalização da interface com outros receptores que possuam também mensagens nessa norma, dado que este formato NMEA é independente do receptor. Os receptores GPS usados no projecto dispõem de algumas mensagens no formato NMEA, e algumas delas foram usadas no desenvolvimento da estação de monitorização de GPS.

Todas as mensagens NMEA estão bem definidas, e começam sempre com o carácter "\$". O próximo campo na mensagem é constituído por cinco caracteres, sendo os primeiros dois os identificadores do tipo de sistema. Neste caso, dado que o sistema é o GPS os dois primeiros caracteres são sempre "GP". Os restantes três representam o identificador da mensagem, que permite identificar o tipo e o formato dos dados. Após estes primeiros campos estão os dados propriamente ditos e que são separados pelo carácter ",". A mensagem termina quando for encontrado o carácter "\*", que é seguido de dois dígitos hexadecimais usados na validação da mensagem [7].

Das mensagens NMEA disponíveis nos receptores de GPS usados no projecto, foram utilizadas as mensagens com identificador ALM, GGA, GSA e GSV. De seguida está uma descrição do conteúdo principal de cada mensagem.

- **ALM**

A mensagem com identificador ALM contém o número da semana na escala de tempo GPS (referenciado no ponto 2.1.2), informação sobre a "saúde" dos satélites e os dados completos do *almanac* para um determinado satélite. Múltiplas mensagens são transmitidas, sendo transmitida uma mensagem por satélite presente na constelação.

- **GGA**

A mensagem com identificador GGA contém informação relacionada com o tempo UTC, a posição do utilizador definida em termos de latitude, longitude e altitude, a variável HDOP (referenciado no ponto 2.1.2) e outros parâmetros.

- **GSA**

A mensagem com identificador GSA contém informação de quais os satélites presentes em cada um dos canais do receptor GPS, bem como as variáveis PDOP, HDOP e VDOP (referenciadas no ponto 2.1.2).

- **GSV**

A mensagem com identificador GSV contém informação de quantos satélites estão em linha de vista com o receptor, a sua identificação, elevação, azimute e SNR (*Signal-to-Noise Ratio*) para cada um dos satélites.

No Anexo B está detalhado o formato de cada uma das mensagens identificadas em cima [8].

### **2.1.6 Receiver Independent Exchange Format (RINEX)**

Em 1989 existiu uma grande campanha de recolha de dados GPS em que estavam envolvidos mais de sessenta receptores de 4 marcas diferentes. De modo a facilitar a troca dos dados recolhidos, foi definido uma norma padrão que permite guardar os dados num formato específico [9].

Este formato, conhecido como RINEX está definido em ficheiros do tipo ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*). Embora um ficheiro no formato ASCII necessite de um maior espaço de armazenamento que um ficheiro em formato binário, permite uma maior flexibilidade [2].

Desde 1989 surgiram várias versões do formato RINEX, sendo a mais recente a versão 3.00 e a que foi utilizada no projecto. Nesta versão existem três tipos de ficheiros ASCII: ficheiro de observação, ficheiro de navegação e ficheiro com dados meteorológicos. No projecto foram gerados apenas os dois primeiros ficheiros, dado que não estavam disponíveis os dados meteorológicos.

O ficheiro de observação está dividido em duas partes. A primeira é um cabeçalho que contém o nome da estação, informações sobre a antena GPS, as coordenadas da estação, o número e tipo de observações realizadas, entre outros. O cabeçalho termina com a sequência de caracteres "END OF HEADER". A segunda parte está dividida em épocas, que começam sempre com um identificador do tempo na escala GPS e o número de satélites para os quais existem observações dentro da época em causa. Para cada satélite são escritas as observações recolhidas, como *pseudo-range*, fase da portadora, SNR, entre outros.

O ficheiro de navegação está dividido também em duas partes, um cabeçalho e uma secção de dados. O cabeçalho é significativamente mais pequeno, quando comparado com o ficheiro de observação, e entre outras coisas contém informação da data em que o ficheiro foi criado. Na

secção de dados são escritos os parâmetros presentes na mensagem de navegação (efemérides), que permitem calcular a posição e corrigir o relógio dos satélites.

Estes ficheiros têm alguns aspectos característicos. Todos os campos presentes no cabeçalho e na secção de dados têm um formato muito específico e a sua escrita deve ser feita entre determinadas colunas do ficheiro, bem definido em [9]. O nome dos ficheiros deve adoptar o formato “ssssdddf.yyt”, onde “ssss” representa o nome da estação, “ddd” representa o dia do ano em que foi feita a primeira recolha dos dados, o carácter “f” representa uma sequência podendo valer 0 se os ficheiros foram diários ou ser um carácter entre “a” e “x” quando os ficheiros forem gerados de hora a hora. Por último os caracteres “yy” são os últimos dois dígitos do ano corrente e “t” é igual a “O” se for um ficheiro de observação ou igual a “N” se for um ficheiro de navegação.

Mais detalhes sobre o formato dos ficheiros RINEX versão 3.00 podem ser encontrados em [9].

## **2.2 Equipamento utilizado no projecto**

Para estabelecer a estação de monitorização de GPS do Instituto de Telecomunicações, foram usados dois receptores de GPS iguais, ligados a duas antenas e um computador. Neste subcapítulo é feita uma descrição das características mais importantes de cada um dos componentes usados no projecto. São também referenciadas algumas mensagens enviadas pelos receptores e que foram utilizadas no trabalho.

Este subcapítulo termina com o esquema da interligação entre os dispositivos da estação de monitorização de GPS

### **2.2.1 Receptor GPS**

Os dois receptores GPS utilizados na estação são da empresa *Magellan*, modelo AC12. A função dos receptores no trabalho é permitir a recolha dos dados necessários, através do envio de mensagens, para o completo funcionamento da estação.

O receptor AC12 processa sinais da constelação de satélites GPS, com o código C/A na frequência L1 (1575,42 MHz), e satélites SBAS (*Satellite-Based Augmentation System*). Possui doze canais e a capacidade para serem configurados de modo a usar apenas satélites da constelação GPS. Tem duas portas série, uma de *input* e *output* onde é feita a comunicação principal com o receptor e outra porta que permite enviar mensagens no formato RTCM que permitem precisões de 1,5 metros na componente horizontal e 2,25 metros na componente vertical. Numa situação autónoma, sem correcções, as precisões são de aproximadamente 5 metros na componente horizontal e 7,5 metros na vertical [8].

Na Figura 2.4 está representado um dos receptores de GPS da estação.



Figura 2.4 – Receptor GPS da estação do IT.

Existem dois modos possíveis de operação. O primeiro, modo 3D, é por definição o modo padrão. Requer pelo menos a ligação a quatro satélites para o cálculo de uma posição inicial. Latitude, longitude, altitude e tempo são calculados. O segundo, modo 2D, para o cálculo de uma posição inicial precisa de pelo menos três satélites. Latitude, longitude e tempo são os parâmetros calculados neste modo. A altitude é uma variável constante.

Se o receptor for desligado os dados guardados na memória vão deixando de ser válidos à medida que o tempo passa. Num novo arranque, o tempo necessário para o cálculo de uma posição inicial varia entre 10 segundos a 2 minutos, dependendo do tempo total em que o receptor permaneceu desligado.

A porta série que permite uma comunicação bidireccional designa-se por porta A. A comunicação com a porta é feita com o protocolo série RS-232 (*Recommended Standard 232*). Os parâmetros principais da ligação são:

- **ritmo binário** – 1200, 4800, 9600, 19200, 57600 e 115200 bps;
- **bits de dados** – 8;
- **bits de paragem** – 1;
- **paridade** – nenhuma.

As mensagens enviadas pelo receptor AC12, podem ser de dois tipos. Ou têm o formato NMEA como referido no ponto 2.1.5, ou resultam de uma combinação entre o formato NMEA e um determinado formato da marca *Magellan*. Este último formato, designado como formato proprietário do receptor, tem algumas semelhanças com o formato NMEA, entre elas o início de cada mensagem é feito com o carácter “\$”, os dados estão separados pelo carácter “,” e a mensagem termina com dois dígitos que são usados para a sua validação.

Algumas das mensagens utilizadas no trabalho estão descritas no ponto 2.1.5. As restantes mensagens enviadas pelo receptor, com formato proprietário, e utilizadas no projecto têm o identificador PAR, RID, UKO, PBN, MCA, SNV e NAK/ACK. De seguida é feita uma descrição dos pontos essenciais de cada uma das mensagens.

- **NAK/ACK**

O receptor envia a mensagem com identificador ACK, se um determinado comando enviado para o receptor for aceite por este. Sempre que uma mensagem estiver com um formato incorrecto e for enviada para o receptor GPS, este envia uma mensagem com o identificador NAK para informar o utilizador do sistema que a mensagem previamente enviada não está formatada correctamente.

- **PAR**

A mensagem com identificador PAR retorna o estado geral de alguns parâmetros do receptor. O formato da mensagem é completamente diferente das restantes, não tendo qualquer identificador para início de mensagem nem terminador.

- **RID**

A mensagem com identificador RID é útil para utilizadores da estação que queiram saber qual o modelo do receptor e a versão do *firmware*.

- **UKO**

A mensagem com identificador UKO permite, entre outras coisas, receber os dois parâmetros necessários para definir a escala de tempo GPS: o número da semana e os segundos desde o início da semana.

- **PBN**

A mensagem PBN retorna na escala de tempo GPS, os segundos da semana que devem ser usados como referência em todas as medições de tempo e posição. Inclui também a posição X, Y e Z da antena em causa e, entre outros, a variável PDOP.

- **MCA**

A mensagem com identificador MCA contém a informação necessária para gerar o ficheiro RINEX de observação. Inclui, entre outros, o PRN do satélite, a relação sinal ruído, fase da portadora, medição do efeito Doppler, *pseudo-range* e o canal do receptor usado para o satélite em causa.

- **SNV**

A mensagem SNV, inclui as efemérides. Permite gerar o ficheiro RINEX de navegação.

No Anexo C está detalhado o formato das mensagens especificadas anteriormente [8].

### 2.2.2 Antena

A antena é uma parte importante para o sistema de receptores de GPS. Ela recebe e transforma um sinal de uma onda electromagnética num sinal em radiofrequência (RF), que contém a amplitude e fase do sinal GPS. Multi-percurso e o ruído do receptor continuam a ser os dois principais obstáculos do GPS, para atingir precisões cada vez melhores [10].

A função da antena no projecto é permitir aos receptores GPS adquirirem os sinais vindos dos satélites. No topo da torre Norte do IST estão duas antenas iguais, sendo identificadas pela sua localização. Uma é designada por antena Norte, outra por antena Sul.

As antenas são da marca *NovAtel* modelo 531. Na Figura 2.5 está representada uma das antenas da estação de monitorização de GPS.



Figura 2.5 – Antena de GPS da estação do IT.

O modelo usado é de uma antena activa, designada para operar na frequência L1, 1575,42 MHz. A unidade está optimizada para receber sinais com polarização circular direita, e o seu diagrama de radiação foi moldado para reduzir os sinais de GPS provenientes de satélites com baixos ângulos de elevação. Estas características têm como objectivo diminuir os erros associados ao multi-percurso e a interferências electromagnéticas. Na Figura 2.6 está representado o diagrama de radiação das antenas utilizadas no trabalho [11].

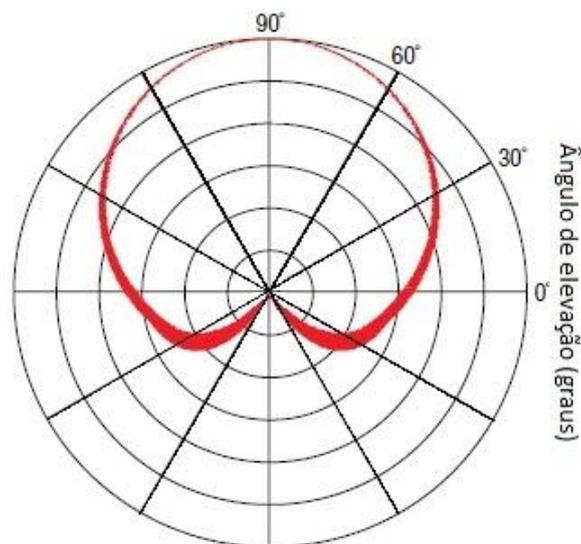


Figura 2.6 – Diagrama de radiação da antena de GPS.

Na Tabela 2.2 estão os valores correspondentes entre o ângulo de elevação, em graus, visto da antena e o ganho em dBi referentes ao diagrama de radiação [11].

Tabela 2.2 – Ângulo de elevação (°) e Ganho (dBi) da antena de GPS.

Ângulo de elevação (°) $\theta$	Ganho (dBi)
$\theta = 90$	+6.8
$20 \leq \theta < 90$	[-0.7, 6.8]
$5 \leq \theta < 20$	[-4.5, 1.0]
$0 \leq \theta < 5$	[-7.0, -2.0]
$\theta = 0$	[-7.0, -2.0]

### 2.2.3 Computador

A função do computador neste projecto é permitir a comunicação com os dois receptores de GPS. Serve também como servidor de uma interface *Web*, de acesso restrito, que permite acesso remoto a algumas funcionalidades da estação. O computador utilizado não necessita de especificações particulares, bastando ter duas portas série e uma ligação à Internet. A comunicação com os receptores é realizada usando duas portas DB-9 (*Data Bus* com 9 pinos), que permitem a implementação do protocolo RS-232.

Algumas das características do computador utilizado são:

- Processador IntelPentium IV a 3,20 GHz;
- memória DDR SDRAM 1x512 MB;
- disco rígido 160 GB;

- placa gráfica Tungsten Graphics Mesa DRI R200;
- sistemas operativos:
  - openSUSE 11,1;
  - Microsoft Windows XP.

#### 2.2.4 Interligação dos componentes

A ligação entre os componentes descritos anteriormente é muito simples. As duas antenas GPS, já instaladas, são ligadas aos dois receptores. Estes por sua vez, através do protocolo RS-232, são ligados ao computador. Na Figura 2.7 estão representadas as ligações entre os dispositivos da estação.



Figura 2.7 – Interligação dos componentes.

A ligação entre os receptores GPS e o computador é bidireccional. A linha a vermelho corresponde ao envio de mensagens por parte do receptor, e a linha azul representa o envio para o receptor de determinados comandos que permitem configurar ou receber informação de alguns parâmetros característicos do receptor em causa.

### 2.3 Estado da Arte

Neste subcapítulo é feita uma apresentação geral do estado da arte, sendo abordado o equipamento actual, o sistema Galileo, a actualidade no sentido de aplicação do sistema GPS e a referência a alguns trabalhos, similares com o trabalho descrito no presente relatório.

#### ➤ Equipamento actual

Actualmente alguns dos receptores e antenas de GPS disponíveis no mercado são mais evoluídos quando comparados com o equipamento utilizado no projecto. De entre as características mais relevantes destacam-se:

- **maior precisão:** os receptores mais evoluídos permitem atingir uma precisão maior, significando isso que o erro na determinação da posição é menor;
- **mais canais:** existem no mercado receptores com muitos canais, por exemplo 75, permitindo a ligação a um número muito maior de satélites;

- **L1 e L2:** algumas das antenas e receptores existentes no mercado, incluem a aquisição de sinais a partir das frequências L1 e L2. Com os dados adquiridos a partir das duas frequências pode-se, por exemplo, calcular o erro provocado pela ionosfera;
- **DGPS:** o receptor utilizado no trabalho tem a opção de receber correcções diferenciais, permitindo um aumento de precisão, funcionando assim em modo remoto. Receptores mais evoluídos, para além de possuírem também este modo, têm a opção do modo base. Este modo traduz-se no cálculo automático das correcções diferenciais por parte do receptor;
- **GLONASS:** é o sistema russo de navegação por satélite. Com o equipamento necessário é possível adquirir simultaneamente dados de satélites pertencentes ao sistema GPS e GLONASS. Receptores com um número elevado de canais, por exemplo 75, podem simultaneamente estar ligados a satélites pertencentes a dois tipos de sistemas de navegação por satélite.

#### ➤ **Sistema Galileo**

Galileo é um sistema de navegação global por satélite, que actualmente se encontra a ser desenvolvido pela EU (*European Union*) e ESA (*European Space Agency*). Começou a ser pensado no ano de 1998 com o intuito de ser independente do GPS, bem como permitir o uso global do sistema não sendo feita uma distinção entre (de uma forma geral) utilizadores civis e militares como aconteceu com o GPS [1].

Um dos objectivos primários deste sistema é possuir uma interoperabilidade com os sistemas GPS e GLONASS. O sistema terá como objectivos, ter em órbita 30 satélites e em 2014 disponibilizar aos utilizadores do sistema três dos cinco serviços finais [12].

#### ➤ **Actualidade**

Durante todos os anos de desenvolvimento do GPS inúmeras aplicações foram desenvolvidas, sendo hoje uma tecnologia de referência em muitos mercados. O GPS está hoje inserido em muitos dos itens que diariamente são usados pela população mundial. Pode ser encontrado em telefones pessoais, nos automóveis, em sistemas militares, na agricultura e em muitas outras aplicações. É usado também na monitorização do movimento migratório de alguns animais.

#### ➤ **Trabalhos similares**

Existem actualmente na Internet diversas páginas que permitem o acesso, por exemplo, a ficheiros no formato RINEX, uma das funcionalidades desenvolvidas no projecto. Algumas das estações possuem equipamento mais avançado possibilitando a aquisição de dados na frequência L2, e também dados de satélites pertencentes ao sistema de navegação russo GLONASS.

## 3 Descrição do Sistema

### 3.1 Introdução

Neste capítulo é feita uma descrição detalhada do *software* desenvolvido para a implementação da estação de monitorização de GPS do IT, bem como a justificação das opções tomadas.

O *software* desenvolvido pode ser considerado em três módulos distintos. O primeiro módulo (Interface Série) permite a comunicação com os receptores de GPS, bem como o processamento dos dados adquiridos. O segundo módulo (Interface “user-friendly”) tem o objectivo de ser útil em trabalhos futuros, permitindo a utilizadores da estação o acesso a dados GPS mas sem ser necessário uma interface directa com os receptores. O terceiro módulo (Interface Web) resulta da transformação dos resultados obtidos com o primeiro módulo num formato intuitivo e global, conseguido através de uma interface *web*.

### 3.2 Arquitectura do Sistema

Os três módulos descritos no ponto 3.1 foram desenvolvidos no computador referenciado no subcapítulo 2.2.3. Na Figura 3.1 está representada a arquitectura do sistema desenvolvido, necessário para cumprir os objectivos do projecto.

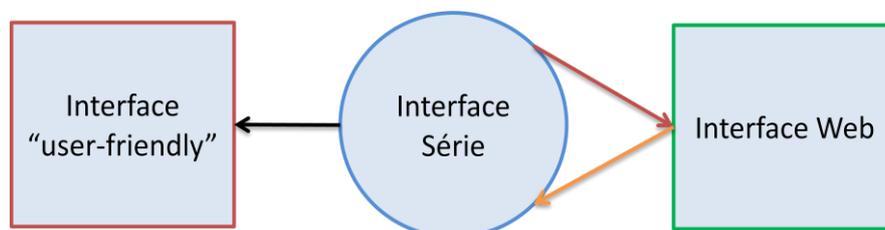


Figura 3.1 – Arquitectura do sistema desenvolvido.

Os dois quadrados e o círculo representados na Figura 3.1 representam o conjunto de *software* desenvolvido no projecto. A comunicação entre o módulo Interface Série e Interface “user-friendly”, é efectuada apenas num sentido. A ligação a preto caracteriza a transferência de dados, gerados no módulo Interface Série para o módulo Interface “user-friendly”. Isto permite a utilizadores da estação a aquisição de dados GPS sem ser necessário uma comunicação directa com os receptores GPS. O quadrado a verde representa a Interface Web que comunica com o módulo Interface Série. A comunicação entre os dois é bidireccional, caracterizando a ligação a vermelho a transferência de determinados resultados gerados no módulo principal (Interface Série) para uma interface web, e a ligação laranja permite a utilizadores autorizados

comunicar directamente com os dois receptores de GPS presentes na estação. As ligações representadas na Figura 3.1 resultam também de *software* desenvolvido.

### 3.3 Soluções Adoptadas

- **Linguagem de programação C**

Para o desenvolvimento dos módulos Interface Série e Interface “user-friendly” foi usada a linguagem de programação C.

A linguagem C foi criada em 1972, existindo por isso muita documentação. Uma das grandes vantagens desta linguagem é adaptar-se ao desenvolvimento de qualquer projecto, não estando restrita a nenhuma aplicação em particular. Consegue obter performances com uma rapidez apreciável, mesmo para aceder a mecanismos de baixo nível como a manipulação de bits. Outra vantagem é ser independente da máquina onde está a ser processada, permitindo no futuro processar os módulos em máquinas mais evoluídas sem ser necessário alterações significativas [13].

- **Comunicação entre múltiplos processos**

Os receptores de GPS utilizados no projecto permitem a aquisição de um grande número de informação. Esta informação pode ser depois processada de modo a gerar certos resultados. Se toda a aquisição de dados e o seu respectivo processamento fosse realizado por um único processo a complexidade do programa seria extrema, e a resolução de eventuais problemas no código seria muito mais complicada.

A maneira mais fácil, e correcta ao mesmo tempo, de desenvolver um *software* com complexidade elevada e com grandes quantidades de código, é construir vários processos cada um com uma função específica e bem delineada. Esta foi a solução implementada no desenvolvimento da estação de monitorização de GPS.

Quando no sistema operativo existem múltiplos processos que querem comunicar entre si é necessário ter em conta certos detalhes. Existem algumas maneiras de realizar aquilo que se designa por IPC, que em português se traduz para “Comunicação entre Processos”. Algumas das formas de IPC são, *pipes*, FIFOs (*First In First Out*), e *message queues*. Um dos problemas destas formas, é que se dois processos estiverem a trocar informação, a informação tem que passar pelo sistema operativo sendo necessário um maior número de cópias entre os dados, requerendo um maior tempo de processamento [14].

A forma de IPC usada no projecto e que permite passar ao lado do problema descrito antes, é com recurso a memória partilhada. Basicamente esta forma resume-se a partilhar, entre os vários processos, um segmento de memória onde estão alocados alguns conjuntos de dados.

Na Figura 3.2 está representado um exemplo de partilha de dados com recurso a um segmento de memória partilhada. O processo A coloca dados do ficheiro de entrada na memória partilhada, e o processo B adquire os dados guardados no segmento de memória e gera um determinado ficheiro de saída.

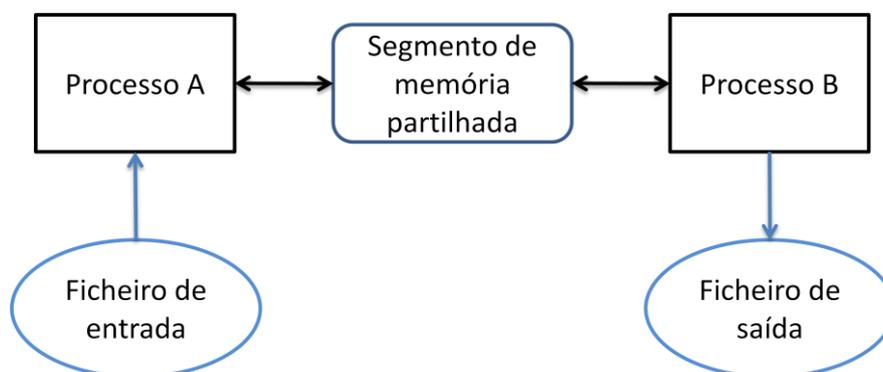


Figura 3.2 – Exemplo de partilha de dados através de memória partilhada.

O exemplo anterior permite compreender o problema associado ao uso de segmentos de memória. Se o processo A estiver a escrever dados no segmento, o processo B não pode nesse instante ir ler os dados da memória partilhada, tendo que esperar que o processo A acabe a escrita dos dados. Este problema é comum sempre que se trabalha com segmentos de memória partilhada, existindo por isso a necessidade de uma forma de IPC que regule o acesso à memória e sincronize os vários processos. A solução para o problema é o recurso a semáforos que são também uma forma de IPC.

Os semáforos são uma forma de sincronização primitiva, e não são usados para troca de grandes quantidades de dados. O objectivo do seu uso é sincronizar as operações que envolvem a comunicação entre múltiplos processos. De uma forma simples, um semáforo pode ser considerado como uma variável global entre processos. Pode tomar qualquer valor, sendo definido pelo programador o significado imposto a cada número. Por exemplo, pode-se definir o valor 0 como o sinal “verde” e o valor 1 como o sinal “vermelho”. Se um processo tentar aceder a um segmento de memória partilhada e o semáforo associado estiver com o valor 1, o processo tem que esperar que o valor seja 0 e aí coloca-o outra vez a 1 para reservar o seu uso da memória partilhada.

- *Estrutura dos segmentos de memória partilhada*

Alguns dos segmentos de memória partilhada criados, no projecto, para guardar dados de GPS têm uma forma particular. Como descrito anteriormente para um processo aceder a um segmento de memória partilhada tem primeiro que verificar o semáforo associado. Se o segmento estiver a ser usado, o processo tem que esperar até estar livre. Isto traduz-se em tempo perdido dado que durante esse tempo o processo está em “pausa”. De modo a passar

por cima do problema e a aumentar a eficiência na comunicação entre os processos foi criado o sistema representado na Figura 3.3.

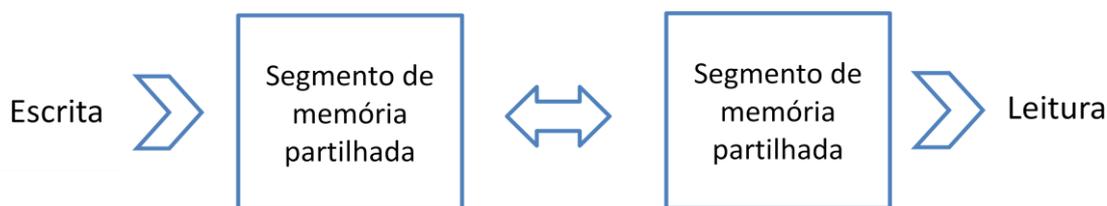


Figura 3.3 – Estrutura usada com os segmentos de memória partilhada.

No esquema apresentado na Figura 3.3 os dois segmentos de memória são estruturas iguais com determinados campos. Esses campos representam dados provenientes das mensagens enviadas pelos receptores de GPS. O esquema apresentado é referente a uma mensagem, sendo aplicado a várias mensagens.

A escrita dos dados é realizada apenas por um processo, sendo a leitura efectuada por vários processos. Um dos segmentos serve para fazer a escrita dos dados, o outro é onde os processos fazem a leitura. Quando a escrita de dados fica completa, esse segmento é agora aquele que possui a informação mais recente e por isso interessa que os processos efectuem a leitura sempre do segmento de memória com os dados mais actualizados. Assim quando a escrita é completada os índices dos segmentos trocam, sendo agora a leitura de dados realizada no segmento que acabou de ser escrito com dados novos. A escrita é agora realizada no segmento de memória onde era efectuada a leitura. A estrutura apresentada permite assim que enquanto um processo faz a escrita dos dados na memória, outros processos possam aceder ao segmento de memória e fazer a aquisição de dados sem terem que esperar que a escrita esteja completa, permitindo assim diminuir o tempo de espera, para leitura e escrita, dos vários processos.

- *Estrutura dos semáforos*

Para que a estrutura apresentada anteriormente fique completa é necessário que exista uma sincronização entre os vários processos, conseguida com recurso a semáforos. A cada uma das estruturas apresentadas na Figura 3.3, está associado um semáforo e este por sua vez está dividido em quatro membros, podendo ser visto cada membro como um semáforo que tem uma determinada função. O segundo e terceiro membros do semáforo são contadores invertidos. Isto significa que são inicializados com um número superior a zero. Representam um contador com o número de processos que se encontram em operação, com uma determinada especificidade. Sempre que se quer contabilizar um processo, o valor do membro respectivo é decrementado em uma unidade dado ser um contador invertido. Quando o respectivo processo acaba a sua função o valor do contador é incrementado no mesmo número de unidades.

Para a estrutura da Figura 3.3 está associado um semáforo com quatro membros, apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Semáforo para sincronização da estrutura de memória partilhada.

<b>Membros do semáforo</b>	<b>Função</b>
Primeiro	Sincronização na leitura e escrita de dados no segmento de memória
Segundo	Número de processos que usam o semáforo
Terceiro	Número de processos a ler dados do segmento de memória
Quarto	Sincronização no momento de criar e fechar o semáforo

A estrutura apresentada na Figura 3.3 completada com a estrutura na Tabela 3.1, é para uma mensagem, existindo por isso no projecto múltiplas estruturas com o esquema anterior.

Os vários membros apresentados na Tabela 3.1 permitem um completo funcionamento do sistema, evitando algumas situações que apesar de muito improváveis podem acontecer. O quarto membro do semáforo é usado apenas quando este é criado e fechado. Funciona como um “verde” e “vermelho” e quando o semáforo é criado ou fechado este membro é colocado a “vermelho” para evitar que entre a sua criação ou fecho, o semáforo seja removido ou criado respectivamente. Se tal acontecesse iria ocorrer um erro no programa. Apesar de ser uma situação improvável, este membro impede tais situações de ocorrerem. O segundo membro é um contador para o número de processos que estão a usar o semáforo. Isto permite que a remoção do semáforo do sistema, e o respectivo segmento de memória partilhada associado, seja realizada pelo último processo a fechar o semáforo.

O primeiro membro e o terceiro são usados em conjunto quando é realizada a leitura e escrita de dados nos segmentos de memória. Para efectuar a escrita, o processo obtém o índice da estrutura onde devem ser escritos os dados, já que a outra está a ser usada para leitura. Após obter o índice, escreve os dados no segmento de memória partilhada. Enquanto este processo corre, outros processos podem efectuar a leitura de dados. Depois da escrita dos dados, o processo coloca o primeiro membro do semáforo a “vermelho” para impedir a entrada de novos processos no segmento de leitura. De seguida espera que todos os processos acabem a leitura de dados, informação obtida com o terceiro membro do semáforo, e troca os índices das duas estruturas para a leitura ser efectuada do segmento com os dados mais recentes. O primeiro membro do semáforo é colocado a “verde”.

Para realizar a leitura de dados, o processo verifica primeiro se o primeiro membro está “verde”, e assim que esteja realiza um decremento no terceiro membro do semáforo informando o sistema que existe um processo a ler dados do segmento de memória. Antes de

efectuar a leitura obtém-se o índice de qual a estrutura a usar para efectuar a leitura dos dados, e quando essa leitura é finalizada o terceiro membro do semáforo é incrementado para assim informar o sistema que aquele processo já não está a ler dados do segmento de memória partilhada.

Na Figura 3.4 está representado um fluxograma com o uso do primeiro e terceiro membros do semáforo, quando é efectuada a escrita e leitura de dados no segmento de memória partilhada associado.

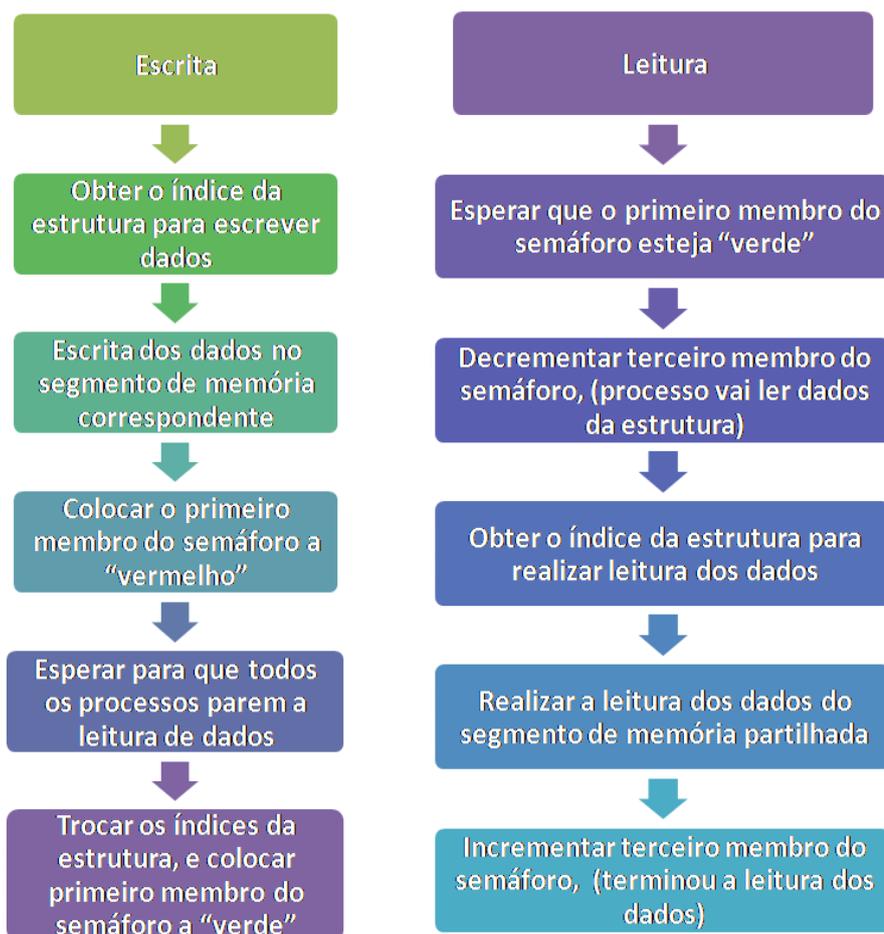


Figura 3.4 – Fluxograma com o uso dos semáforos na leitura e escrita de dados.

- **Matlab**

Outra das opções no projecto, foi o uso da ferramenta Matlab para gerar uma figura com a representação do azimute e elevação dos satélites. O Matlab tem à sua disposição um grande conjunto de bibliotecas de entre as quais uma biblioteca gráfica. Esta tem incorporada as funções necessárias para cumprir os objectivos referentes à geração da figura referida. O Matlab pode também ser iniciado através de um ficheiro em linguagem de programação C, o que facilita a integração com o trabalho descrito anteriormente.

- **Linguagem HTML e servidor HTTP**

Para o desenvolvimento da Interface Web foram desenvolvidas várias páginas em formato HTML (*HyperText Markup Language*). Para que a estação tenha uma página na Internet a correr permanentemente, foi necessário instalar um servidor HTTP (*HyperText Transfer Protocol*) no computador utilizado no projecto. Para tal escolheu-se o servidor mais utilizado na Internet, o *Apache HTTP Server*.

- **PHP**

Para o desenvolvimento de algumas funcionalidades da Interface Web, como por exemplo a interacção com alguns processos presentes na Interface Série, o formato HTML não dispõe dos requisitos necessários, sendo indispensável o recurso à linguagem PHP (*Personal Home Page*) [15]. Esta linguagem é interpretada e permite facilmente integrar código HTML junto com código PHP.

As soluções descritas neste subcapítulo são algumas das mais relevantes no projecto, sendo as restantes referidas ao longo do relatório.

De seguida é feita uma descrição individual e detalhada dos três módulos referidos nos pontos 3.1 e 3.2, e que constituem a totalidade do *software* desenvolvido para implementar a estação de monitorização de GPS.

### **3.4 Interface Série**

O módulo Interface Série corresponde ao módulo principal da estação. É a partir deste módulo que é efectuada toda a comunicação com os receptores de GPS, processamento dos dados e disponibilização dos mesmos sobre determinados formatos.

Como foi referido no ponto 3.3 a maneira mais correcta de implementar grandes quantidades de código, que implicam várias funções com vários objectivos, é fazer uma divisão em múltiplos processos, cada um com a sua função.

A estação de monitorização de GPS do IT usa dois receptores de GPS. Um dos argumentos de iniciação dos processos que compõe o módulo Interface Série, é qual dos receptores se quer usar. Isto permite diferenciar os dois receptores por completo, sendo executados processos independentes para cada um dos receptores presentes na estação.

Na Figura 3.5 está representada a arquitectura do módulo Interface Série constituída por múltiplos programas, minimizando assim a complexidade do programa global. No ponto 3.7 (Manual de Instruções) podem ser encontradas as directorias de todos os programas desenvolvidos nesta interface.

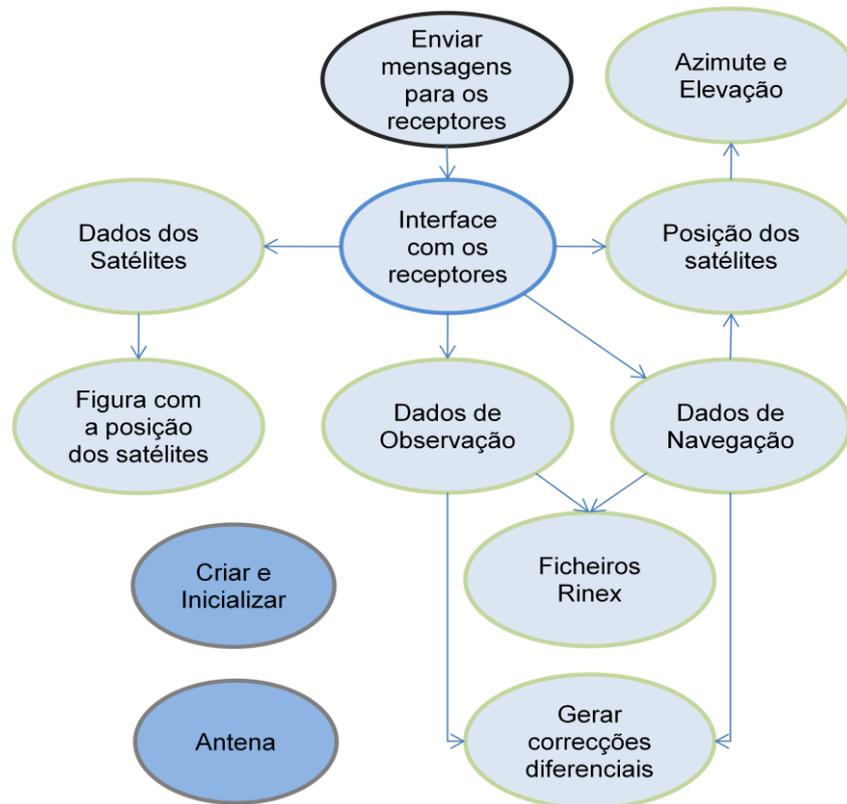


Figura 3.5 – Arquitectura do módulo Interface Série.

Todos os programas que constituem o módulo Interface Série estão representados na Figura 3.5. Os círculos “Criar e Inicializar” e “Antena” não têm ligações para os restantes dado que têm uma função em particular, estando presentes em muitos dos programas apresentados na Figura 3.5. O círculo com contorno a preto, é constituído por múltiplos processos, cada um com a função de informar ao processo principal, “Interface com os receptores”, o envio de determinada mensagem para os receptores de GPS. Num resumo breve da Figura 3.5, muitos dos processos interagem com o processo principal “Interface com os receptores”. É com esta comunicação que se faz a aquisição de dados de GPS. A partir do momento em que os dados estão disponíveis noutros processos estes podem aplicar determinados algoritmos para gerar certos resultados. Após esse processamento outros processos podem adquirir esses dados e realizar um outro tipo de processamento ainda mais complexo, sobre dados já processados. Este tipo de organização permite distribuir as funções por vários blocos simplificando o sistema global.

Neste subcapítulo será feita uma descrição, com os pontos mais relevantes, dos blocos representados na Figura 3.5.

### 3.4.1 Programa “Criar e Inicializar”

O primeiro programa a iniciar, no módulo Interface Série, é “Criar e Inicializar”. Este programa, na directoria de trabalho, está identificado a partir do nome *Create and Initialize*. Como o próprio nome indica este programa é responsável pela criação e inicialização de alguns parâmetros necessários aos restantes programas.

Um aspecto importante no desenvolvimento do módulo Interface Série, é o registo de possíveis erros que podem ocorrer nos vários programas. Assim o programa “Criar e Inicializar” é responsável pela criação de dois ficheiros, um por receptor, onde são escritos todos os eventuais erros que possam surgir em todos os programas do módulo Interface Série. Em cada um dos erros, existe a identificação do programa e a função correspondente onde foi verificado. Com esta informação torna-se mais fácil para o administrador da estação detectar e resolver eventuais problemas no módulo Interface Série.

O programa inicia-se sempre com um de três argumentos possíveis. A existência de três argumentos permite iniciar o módulo Interface Série, ajustando-o de acordo com as necessidades do administrador da estação. Para o presente trabalho são aplicados os três argumentos, que são:

- */dev/ttyS0*;
- */dev/ttyS1*;
- *Antenna*.

O terceiro argumento, *Antenna*, está relacionado com o programa “Antena”. Permite criar e inicializar dois semáforos para sincronizar a leitura e escrita em dois ficheiros. Mais detalhes serão referidos no ponto 3.4.2.

Os dois primeiros argumentos, */dev/ttyS0* e */dev/ttyS1*, permitem criar e inicializar semáforos e segmentos de memória partilhada para o receptor de GPS ligado à porta 0 e ligado à porta 1, respectivamente. Como exemplo, para serem criados e inicializados os semáforos e segmentos de memória do receptor ligado à porta 0, teria de ser introduzido na linha de comandos:

- *./Desktop/it/ac12/Create\_Initialize/start /dev/ttyS0*

Os semáforos e os segmentos de memória criados estão associados a algumas das mensagens referidas nos pontos 2.1.5 e 2.2.1, e cujo identificador é:

- GGA, GSV, UKO, ALM, PBN, SNV e MCA.

Para cada uma das mensagens, existe uma estrutura de memória partilhada e semáforos, como a descrita no ponto 3.3. Os segmentos de memória bem como os semáforos associados são diferentes para cada um dos receptores existindo por isso, para cada mensagem com os

identificadores descritos atrás, duas estruturas como a que foi apresentada no ponto 3.3. A cada um dos segmentos de memória está associada uma estrutura que está dividida em vários campos, correspondentes aos dados da mensagem em causa. Na Figura 3.6, como exemplo, está a estrutura para a mensagem com identificador PBN. O primeiro campo da estrutura, variável *índex*, corresponde ao índice da estrutura de memória onde deve ser realizada a escrita dos dados, sendo a leitura efectuada na outra estrutura de memória.

```
typedef struct {  
    int index;  
    unsigned long int rcvtime;  
    unsigned char sitename[5];  
    double X_Pos;  
    double Y_Pos;  
    double Z_Pos;  
    float Clock_Offset;  
    float X_Vel;  
    float Y_Vel;  
    float Z_Vel;  
    float Clock_Drift;  
    float PDOP;  
} mensagem_PBN;
```

Figura 3.6 – Estrutura para a mensagem PBN.

### 3.4.2 Programa “Antena”

O objectivo do programa “Antena” é permitir ao administrador da estação alterar alguns dos parâmetros relacionadas com as antenas de GPS, em qualquer instante e sem ser necessário interromper os outros programas. Na directoria de trabalho o nome do programa é *Antenna*.

Ao programa “Antena” estão associados dois ficheiros. O primeiro, representado na Figura 3.7, tem a informação da correspondência entre a porta série do computador onde estão ligados os dois receptores de GPS, e as duas antenas. A diferenciação entre as duas antenas da estação é feita com base na sua localização, estando uma identificada como antena Sul, e a outra como antena Norte. Na primeira coluna da Figura 3.7, estão as duas portas série onde estão ligados os dois receptores, sendo a diferenciação dos receptores feita com base na identificação das duas portas. A informação contida no ficheiro representado na Figura 3.7 permite saber que o receptor de GPS ligado à porta série “/dev/ttyS0”, está a adquirir dados com a antena Sul. A mesma interpretação deverá ser feita para o outro receptor.

/dev/ttyS0	Antena_Sul
/dev/ttyS1	Antena_Norte

Figura 3.7 – Ficheiro com a correspondência entre as antenas e a porta série.

O outro ficheiro, representado na Figura 3.8, tem na primeira linha as coordenadas X, Y e Z, respectivamente, no sistema WGS-84 (*World Geodetic System 1984*) da antena Sul. Na segunda linha está a posição da antena Norte. Estas coordenadas foram obtidas durante alguns dias de aquisição de dados, sendo depois realizada uma média das várias componentes. As posições apresentadas na Figura 3.8, são usadas no projecto como as posições exactas (sem erros) das duas antenas.

4918533.3200	-791212.5720	3969758.4510
4918526.6680	-791212.1150	3969767.1400

Figura 3.8 – Ficheiro com a posição “exacta” das duas antenas de GPS.

Para o administrador da estação alterar os dois ficheiros, basta iniciar o processo e aparecerá na consola uma caixa de diálogo com todos os passos necessários para efectuar as modificações.

Os ficheiros apresentados anteriormente, são também usados noutros processos para, por exemplo, saber qual a posição “exacta” da antena ligada ao receptor em causa. Por existir, entre processos, uma partilha de informação é necessário recorrer aos semáforos para a sua sincronização, existindo no sistema dois semáforos, um por ficheiro. A estrutura dos semáforos associados aos ficheiros apresentados é semelhante à referida no ponto 3.3, à excepção do terceiro membro do semáforo, que para este caso não é necessário. Assim o semáforo tem três membros no total, sendo o terceiro membro usado quando o semáforo é criado e fechado, o segundo membro é o numero de processos que estão a usar o semáforo, e o primeiro membro é o verdadeiro “vermelho” e “verde” para sincronizar a leitura e escrita de dados nos ficheiros. O funcionamento global dos três membros tem como base o que foi já referido no ponto 3.3.

### 3.4.3 Envio de mensagens para os receptores de GPS

O objectivo primário do trabalho, era desenvolver uma estação que fizesse o processamento de dados de GPS e a sua respectiva disponibilização. Verificou-se que seria importante permitir a configuração e informação, de alguns parâmetros característicos dos receptores.

O círculo com contorno a preto na Figura 3.5, representa múltiplos processos que permitem enviar mensagens para os receptores de GPS da estação, e que são descritos neste ponto.

No manual do receptor de GPS, [8], existem muitas mensagens possíveis de serem enviadas. Para o trabalho foram definidas algumas dessas mensagens.

As mensagens usadas no trabalho podem ser divididas em dois tipos. O primeiro tipo contém mensagens que possibilitam a modificação de alguns parâmetros próprios dos receptores, tais como:

- **seleccionar sistema de coordenadas:** esta mensagem permite alterar o sistema de coordenadas usado pelo receptor no cálculo da posição. O sistema por omissão é WGS-84, estando disponíveis muitos outros sistemas de coordenadas;
- **inicialização:** a mensagem inicialização tem como parâmetros o ritmo binário da porta A e B do receptor e também três opções para o *reset* da memória interna. Uma das opções disponíveis é reiniciar por completo a memória do receptor, apagando as efemérides e o *almanac*;
- **modo de navegação:** como referido no ponto 2.2.1 o receptor AC12 tem dois modos possíveis de navegação. Esta mensagem permite seleccionar qual dos modos, 2D ou 3D, a usar. O modo por omissão é 3D;
- **reiniciar receptor:** esta mensagem tem como objectivo colocar todos os parâmetros e características do receptor nos valores por omissão;
- **salvar parâmetros:** se um determinado parâmetro for alterado e se o administrador da estação quiser que essa informação fique guardada na memória, é necessário enviar a mensagem para guardar o novo valor;
- **máscara de elevação:** a mensagem permite alterar o ângulo para a máscara de elevação. Os satélites que tenham uma elevação inferior à máscara de elevação definida não são usados pelo receptor para o cálculo da posição. O seu valor tem que estar definido entre 0 e 90 graus, estando o valor por omissão situado em 5 graus;
- **recepção SBAS:** com esta mensagem é possível activar ou desactivar a recepção de sinais SBAS. Se a recepção estiver desactiva, os 12 canais do receptor são usados para satélites GPS.

O receptor responde com NAK/ACK (ponto 2.2.1), para as mensagens descritas atrás.

O segundo tipo contém mensagens que permitem a utilizadores autorizados receber informação do estado de algumas características importantes dos receptores. Ao envio das mensagens deste segundo tipo, o receptor responde com as mensagens referidas no ponto 2.2.1, com identificador RID e PAR, e no ponto 2.1.5 com identificador GSA.

As mensagens definidas anteriormente, tanto do primeiro como do segundo tipo, têm, cada uma, um formato específico mas com alguns pontos semelhantes, como por exemplo o formato geral da mensagem. Como exemplo refere-se no relatório o formato da mensagem que permite inicializar o receptor. Mais detalhes desta e das restantes mensagens podem ser encontrados em [8].

O formato da mensagem de inicialização é:

- `$PASHS,INI,d1,d2,d3,d4,d5,c1,<Enter>`

Na Tabela 3.2 está descrito o significado de cada um dos campos, presentes na mensagem de inicialização.

Tabela 3.2 – Campos da mensagem de inicialização.

Parâmetro	Descrição
d1	<i>baudrate</i> da porta A: 2=1200 4=4800 -> valor por omissão 5=9600 6=19200 8=57600 9=115200
d2	<i>baudrate</i> da porta B: mesmos valores do parâmetro d1
d3	reservado (virgulas seguidas)
d4	reservado (virgulas seguidas)
d5	código de inicialização da memória: 0=nenhuma inicialização 1=inicialização da memória 5=apagar efemérides, mas não <i>almanac</i> , posição e tempo
c1	reservado
<Enter>	caracteres “CR” e “LF”, que na tabela <i>ascii</i> correspondem aos valores decimais, 13 e 10

O envio das mensagens descritas pode ser feito de dois modos. O primeiro é através de processos pertencentes ao módulo Interface Série, correndo-os na linha de comandos como simples executáveis. Para cada uma das mensagens está definido um processo, independente dos outros, e o administrador tem apenas que correr o processo correspondente à mensagem a enviar, com argumentos de entrada próprios da mensagem em causa. Um exemplo, é o envio da mensagem com identificador PAR. O administrador da estação teria que introduzir na linha de comandos, dentro da respectiva directoria, os argumentos:

- `./Receiver 1`

Com o comando, em cima, o administrador envia para o receptor ligado à porta série “/dev/ttyS0” uma mensagem a pedir o envio da informação contida na mensagem com identificador PAR.

O segundo modo, e mais prático, é através do módulo Interface Web, onde são escolhidos pelo utilizador os parâmetros necessários à definição de cada uma das mensagens. Este segundo

modo corresponde a iniciar os processos na linha de comandos (como executáveis) mas a partir de uma Interface Web.

Um dos argumentos comuns nos vários processos é a identificação do receptor. Assim é possível tratar os dois receptores independentemente, sendo possível alterar parâmetros, ou receber informação, apenas de um dos receptores de GPS da estação.

O envio da mensagem propriamente dito é realizado não por nenhum destes processos, mas pelo programa “Interface com os receptores”. Para cada uma das mensagens está definido um semáforo e, para algumas das mensagens estão definidos também segmentos de memória partilhada. Os segmentos de memória existem nas mensagens que têm alguns parâmetros definidos pelo utilizador, como campos da mensagem. Assim no programa “Interface com os receptores”, esta informação está disponível por uma das forma de IPC. Os semáforos são utilizados como variáveis de estado, e indicam ao programa responsável pelo envio das mensagens se existe alguma que deve ser enviada para um dos dois receptores. Se um semáforo para uma dada mensagem estiver a “verde” o programa “Interface com os receptores” envia para um dos receptores (o semáforo tem a informação de qual dos dois receptores foi escolhido pelo utilizador) a mensagem em causa.

#### **3.4.4 Programa “Interface com os receptores”**

A interface com os dois receptores de GPS da estação do IT é realizada apenas por um programa. Na directoria de trabalho o programa está identificado a partir do nome *AC12 Interface*. Na linha de comandos o administrador tem a opção de iniciar o programa para um dos receptores, ou para os dois, bastando para isso introduzir o argumento “/dev/ttyS0” e “/dev/ttyS1” para proceder à interface com o receptor ligado à porta série 0 e 1, respectivamente. No trabalho são usados os dois receptores, estando por isso a correr os dois processos com os dois argumentos.

Antes de iniciar a interface com os receptores é necessário definir determinadas características para a comunicação a partir das duas portas DB-9 do computador seguindo o protocolo RS-232. No ponto 2.2.1 estão referidos alguns dos pontos essenciais para efectuar a comunicação:

- **ritmo binário;**
- **bits de dados;**
- **bits de paragem;**
- **paridade.**

A definição destes parâmetros no programa “Interface com os receptores” tem que estar de acordo com as opções disponíveis nos receptores usados no trabalho. Se por exemplo, o ritmo binário escolhido para os receptores não for igual ao definido no programa para a comunicação

com os mesmos, o número de bytes lidos das portas série seria zero, não existindo por isso qualquer tipo de interface com os receptores. Para além destes parâmetros, existe também a necessidade de definir outros, sendo estes os comuns entre os receptores e o computador.

Os receptores usados no trabalho dispõem da opção de pré-definir mensagens para serem enviadas automaticamente por estes, sem ser necessário o administrador da estação requisitar o envio de determinada mensagem. Por exemplo, se o administrador quisesse que a mensagem com identificador GSV fosse enviada pelo receptor periodicamente (de 1 em 1 segundo) e fosse recebida na porta A, o formato da mensagem a enviar para o receptor seria:

- *\$PASHS,NME,GSV,A,ON,1,13,10*

A mensagem definida em cima teria que ser enviada apenas uma vez dado que o receptor guarda essa informação. A periodicidade da mensagem é definida pelo administrador da estação, e o seu valor tem que estar definido entre 1 e 999 segundos [8].

Para o presente trabalho foram definidas sete mensagens com um envio periódico de 1 segundo. As mensagens usadas estão definidas no ponto 3.4.1 e têm o identificador:

- GGA, GSV, UKO, ALM, PBN, SNV e MCA.

A mensagem com identificador SNV não é enviada periodicamente com 1 segundo, pois tem dados particulares. Por conter as efemérides dos satélites e devido ao facto de a actualização dos seus valores ser feita com um período muito superior a 1 segundo, o receptor envia a mensagem com um período também superior a 1 segundo. As restantes mensagens são enviadas com um período de 1 segundo.

O programa “Interface com os receptores” corre num ciclo de 0,5 segundos. Na Figura 3.9 estão esquematizados os pontos mais relevantes do ciclo e do funcionamento do programa “Interface com os receptores”.

A primeira verificação feita pelo programa, é se existe alguma mensagem criada. Estas mensagens estão descritas no ponto 3.4.3, e se existir alguma mensagem criada significa que foi dada uma “ordem” pelo administrador ou por algum utilizador autorizado para o envio de uma mensagem em particular.

Após a verificação, é feita a leitura de todos os dados enviados pelo receptor através da porta A. Estes dados são guardados num vector de caracteres.

A comunicação com os receptores não é síncrona, e assim no momento da leitura pode acontecer que a última mensagem guardada no vector de caracteres não esteja completa, sendo a leitura da restante mensagem feita no ciclo seguinte. Assim é necessário verificar se

no ciclo anterior existiu dessincronização. Se ocorreu é necessário realizar a descodificação da mensagem em causa e o respectivo processamento de dados.

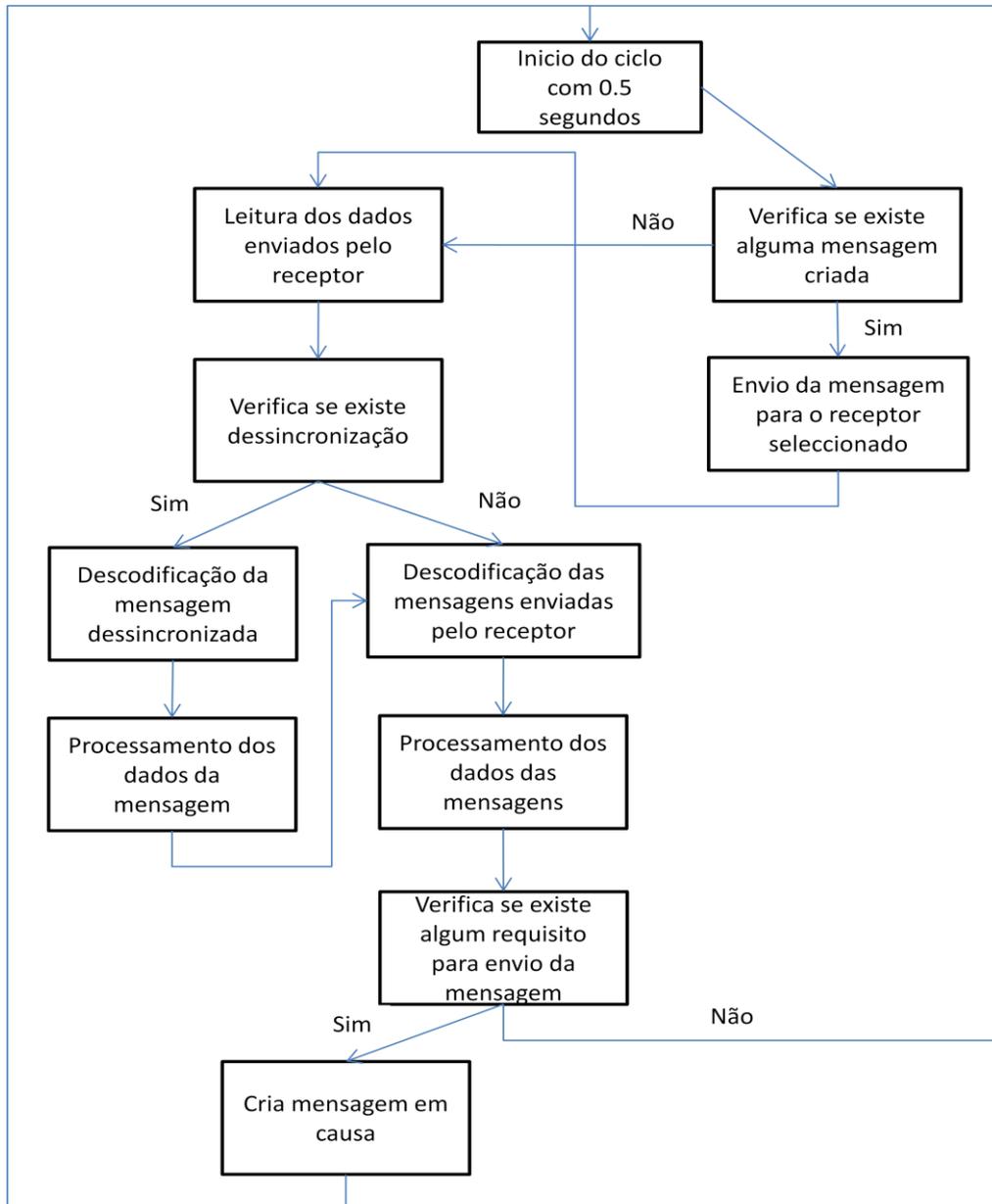


Figura 3.9 – Ciclo do programa “Interface com os receptores”.

A descodificação das mensagens é feita começando por procurar o carácter “\$”. Depois é necessário identificar o cabeçalho e a identificação da mensagem, guardando os dados num vector. Algumas das mensagens terminam com o carácter “\*”, outras têm definido um número de bytes total. Antes de se realizar o processamento dos dados, é necessário verificar se as mensagens recebidas são válidas. Todas a mensagens têm no fim um *checksum* que permite

verificar a integridade da mensagem recebida. Durante o projecto nunca foi recebida uma mensagem que não fosse válida, ainda assim optou-se por verificar sempre a validade.

Depois de garantido que a mensagem recebida é válida, é feito o processamento dos dados. Os dados das mensagens com identificadores GGA, GSV, UKO, ALM, PBN, SNV e MCA, são guardados na estrutura apresentada no ponto 3.3, ficando assim disponíveis noutros processos. Para cada uma das mensagens existe uma estrutura própria, nos segmentos de memória, com os campos correspondentes à mensagem. Todo o processo de leitura, incluindo o uso dos semáforos para a sua sincronização está também referido no ponto 3.3. As mensagens com identificador RID, NAK, GSA e PAR são guardadas em ficheiros com um determinado formato. No ficheiro da mensagem RID são guardados apenas os dados, enquanto que nos ficheiros das mensagens NAK, GSA e PAR para além do conteúdo da respectiva mensagem é definido um cabeçalho com o tempo de referência. Todos os dados são formatados nos ficheiros segundo os vários campos da respectiva mensagem e descrito em [8]. Os ficheiros das mensagens RID, GSA e PAR são disponibilizados na Interface Web. O ficheiro com os dados da mensagem NAK é útil apenas para o administrador da estação. Assim se uma dada mensagem, enviada para um dos dois receptores, estiver mal formatada, o administrador da estação é advertido para esse facto devido à existência do ficheiro.

Após o processamento dos dados enviados pelo receptor, o programa verifica se existe alguma mensagem para ser enviada para o receptor. Os semáforos descritos no ponto 3.4.3, são verificados pelo programa e se algum deles estiver com um valor diferente de 0, significa que a mensagem associada ao semáforo em causa deve ser enviada para o receptor (no ciclo seguinte). O valor do semáforo é 1 ou 2, representando o número 1 o receptor ligado à porta série 0 e o número 2 o receptor ligado à porta 1. Para algumas mensagens o programa recorre aos segmentos de memória, referidos no ponto 3.4.3, para criar a mensagem com os campos certos e com os valores definidos pelo utilizador autorizado que os escolheu. A mensagem em causa é enviada no próximo ciclo, através da porta A do receptor.

O ciclo do programa é infinito, terminando com o envio do sinal *SIGINT*. O programa ao receber este sinal, antes de sair, fecha os segmentos de memória, semáforos e ficheiros.

### **3.4.5 Programas “Dados de navegação”, “Dados de observação” e “Ficheiros Rinex”**

- **Dados de navegação**

O programa “Dados de navegação” é responsável pela aquisição das efemérides dos satélites. Na directoria de trabalho o programa está identificado a partir do nome *Navigation Data*. Este programa tem também a opção de dois argumentos, para iniciar o programa na linha de comandos, que o administrador pode introduzir para escolher um dos receptores da estação. No trabalho são usados dois processos, um com o argumento “/dev/ttyS0” e outro com

“/dev/ttyS1”, estando assim a aquisição dos dados de navegação a ser feita a partir dos dois receptores de GPS.

Dado que este programa não faz interface com os receptores, os dados de navegação são obtidos através dos segmentos de memória preenchidos com o programa “Interface com os receptores”. A mensagem enviada pelo receptor que contém as efemérides tem o identificador SNV, por isso o programa usa os segmentos de memória e os respectivos semáforos associados à mensagem SNV. Para a leitura dos dados do segmento de memória o esquema é o descrito no ponto 3.3, mais concretamente os passos definidos para a leitura representados na Figura 3.4.

As efemérides adquiridas com este programa são guardadas num outro segmento de memória partilhada, devido ao facto de serem necessárias noutros programas. O esquema usado nestes segmentos de memória, juntamente com os semáforos, não segue o que foi descrito no ponto 3.3. Isto deve-se ao facto de, quando um outro processo quer obter as efemérides estas têm que estar todas, as que já foram recebidas, disponíveis. Assim o segmento de memória criado tem 32 estruturas cada uma com todos os campos das efemérides. Em cada uma das 32 estruturas são guardadas as efemérides de um satélite, cujo índice da estrutura é o PRN – 1 do satélite em causa. O semáforo associado ao segmento com as 32 estruturas, tem três membros sendo a ideia geral já referida no ponto 3.3. O primeiro membro é o verdadeiro “verde” e “vermelho” para a sincronização entre a escrita e leitura de dados, o segundo membro é um contador invertido do número de processos a usar o semáforo, e o terceiro membro é usado apenas no momento da criação e fecho por razões já referidas.

O programa “Dados de navegação” corre num ciclo de 1 segundo. Na Figura 3.10 estão representados os pontos mais relevantes do programa. Os objectivos deste programa são guardar num segmento de memória partilhada as efemérides de todos os satélites, que já foram recebidas, bem como a escrita das efemérides num ficheiro segundo o formato RINEX.

Os ficheiros RINEX com os dados de navegação gerados no trabalho, são ficheiros horários e o formato para o nome dos ficheiros está referenciado no ponto 2.1.6. O nome do ficheiro depende do tempo a que corresponde a escrita dos dados.

O primeiro passo, representado na Figura 3.10, corresponde à obtenção do nome do ficheiro tendo em conta o instante considerado. O nome do ficheiro bem como outros dados relacionados com o tempo são guardados num segmento de memória partilhada criado para a escrita de ficheiros RINEX, e que será usado num outro programa. É guardada numa variável a informação se a época mudou, e entenda-se época como um período de tempo de 1 hora, e que começa na hora certa, por exemplo, começa às 17:00 horas e irá até às 17:59 horas.

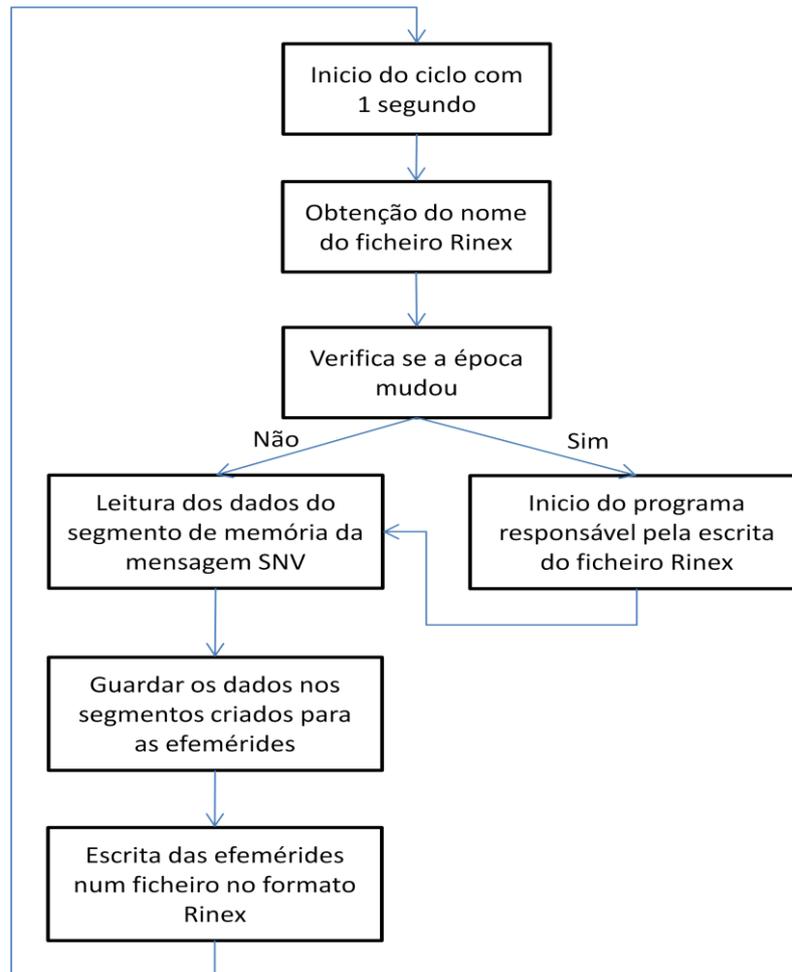


Figura 3.10 – Ciclo do programa “Dados de navegação”.

O próximo passo é a verificação se estamos numa nova época ou não. Se tal acontecer é iniciado um processo que é responsável pela escrita do ficheiro RINEX de navegação para a época em causa. Este processo será referido no final deste ponto.

Independentemente da época ter mudado ou não, o passo seguinte é realizar a leitura das efemérides que estão no segmento de memória partilhada gerado no processo “Interface com os receptores”. Antes da leitura e respectiva escrita, é necessário verificar algumas condições. A primeira tem a ver com o facto de o envio da mensagem SNV por parte do receptor não ter um período de 1 segundo como referido no ponto 3.4.4. Assim como este programa tem um ciclo de 1 segundo é necessário primeiro verificar se as efemérides guardadas são novas ou não. Depois é preciso validar as próprias efemérides recebidas. Estas têm dois parâmetros que permitem verificar a sua integridade, IODC (*Issue of Data Clock*) e IODE (*Issue of Data Ephemeris*). O parâmetro IODC é composto por 16 bits e o parâmetro IODE por 8 bits. Para as efemérides de um dado satélite serem válidas, os 8 bits menos significativos do IODC têm que corresponder ao valor do IODE. Se as condições se verificarem é realizada a leitura da

mensagem SNV, que contém as efemérides de um determinado satélite, e é feita a escrita das mesmas no segmento de memória partilhada criado neste programa.

Este programa é também responsável pela escrita das efemérides num ficheiro segundo o formato RINEX [9]. Antes da escrita propriamente dita das efemérides, é necessário escrever um pequeno cabeçalho que, entre outras coisas, contém o instante de tempo a que dizem respeito as efemérides em causa. No formato RINEX esse instante de tempo tem que ser na escala GPS, ao mesmo tempo seguindo o formato normal de mês, ano, dia, hora, minutos e segundos. Como referido no ponto 2.1.2 a escala de tempo GPS contém apenas dois parâmetros, o número da semana e os segundos da semana. Assim foi necessário implementar um algoritmo que a partir de um instante de referência transforma o número da semana e os segundos da semana, no formato RINEX para a escrita do tempo de referência das efemérides.

O ciclo do programa é infinito, terminando com o envio do sinal *SIGINT*. O programa ao receber este sinal, antes de sair, fecha os segmentos de memória, semáforos e ficheiros.

- **Dados de observação**

O programa “Dados de observação” é responsável pela aquisição dos dados necessários à escrita de um ficheiro RINEX do tipo observação. O nome do programa na directoria de trabalho é *Observation Data*. A estrutura geral do programa é muito semelhante à estrutura apresentada no programa “Dados de navegação”. Também aqui, o administrador tem a opção de iniciar o programa na linha de comandos com dois argumentos, que permite seleccionar um dos receptores. No trabalho, este programa usa os dois receptores.

A aquisição de dados é realizada recorrendo aos segmentos de memória partilhada, preenchidos no programa “Interface com os receptores”. Para gerar os dados necessários é preciso recorrer a mais do que uma mensagem. São usados então os dados das mensagens com identificadores MCA, PBN e UKO. Da mensagem MCA são obtidos os dados propriamente ditos, entre os quais *pseudo-range*, fase da portadora, efeito de Doppler, relação sinal-ruído e canal do receptor. Estes parâmetros são os campos de dados que compõem o ficheiro RINEX de observação. Para além disso é necessário o instante actual na escala de tempo GPS, recorrendo-se por isso às mensagens PBN e UKO. Para a leitura dos dados dos segmentos de memória das mensagens MCA, PBN e UKO, o esquema é o apresentado no ponto 3.3.

Alguns dos dados adquiridos serão necessários noutros programas tais como, o *pseudo-range* e os segundos da semana, na escala de tempo GPS, que servem como tempo de referência para o *pseudo-range*. São então guardados num segmento de memória partilhada, não com o esquema apresentado no ponto 3.3, mas com a estrutura usada também para guardar as efemérides e referenciado no programa “Dados de navegação”. Os semáforos para a

respectiva sincronização têm a mesma estrutura que foi usada para os semáforos associados aos segmentos de memória que guardam as efemérides.

O programa corre num ciclo de 1 segundo. A estrutura do programa segue também os passos representados na Figura 3.10, mas agora as mensagens usadas e os dados guardados são os que foram referidos anteriormente.

No ficheiro RINEX de observação, os dados são escritos num intervalo de 10 segundos. Em cada época é necessário, como no ficheiro de navegação, escrever um cabeçalho com o tempo de referência na escala de tempo GPS mas com o formato convencional de mês, ano, dia, hora, minutos, e segundos. Foi aplicado também um algoritmo semelhante ao descrito no programa “Dados de navegação”.

O ciclo do programa é infinito, terminando com o envio do sinal *SIGINT*. O programa ao receber este sinal, antes de sair, fecha os segmentos de memória, semáforos e ficheiros.

- **Ficheiros Rinex**

Um dos objectivos importantes do trabalho é disponibilizar ficheiros no formato RINEX. Os dois programas referidos anteriormente começam por escrever os dados num ficheiro segundo o formato RINEX e cujos detalhes podem ser consultados em [9].

O programa “Ficheiros Rinex” não é iniciado como os restantes programas. Este programa é iniciado nos programas descritos atrás, quando a época muda. Se por exemplo um ficheiro RINEX for criado às 17:00 horas significa que contém dados que foram adquiridos entre as 16:00 horas e as 16:59 horas.

Em ambos os programas referenciados atrás, é criado um segmento de memória partilhada que contém dados necessários, relacionados com a época em causa, para a escrita do cabeçalho dos ficheiros RINEX, bem como a informação do nome do respectivo ficheiro que depende do instante de tempo em que foi escrito o primeiro conjunto de dados no ficheiro.

O programa “Ficheiros Rinex” tem dois argumentos de entrada. O primeiro permite identificar a qual dos dois receptores correspondem os dados escritos no ficheiro, e o segundo parâmetro é um identificador do tipo de ficheiro RINEX que vai ser criado, ou o ficheiro de observação ou de navegação.

Um dos campos no cabeçalho do ficheiro RINEX de observação é a posição exacta da antena que está ligada ao receptor. Para obter essa informação, o programa recorre aos dois ficheiros descritos no ponto 3.4.2, sendo a leitura dos dados sincronizada com os semáforos associados a cada um dos ficheiros.

Os ficheiros RINEX gerados são guardados num directoria segundo:

- Receptor:
  - Ligado à porta série 0
  - Ligado à porta série 1
- Ano
- Mês
- Dia
- Nome do ficheiro – ssssdddf.yyt:
  - ssss – nome da estação
  - ddd - dia do ano da primeira escrita de dados
  - f – sequência do ficheiro (a-x ficheiros horários)
  - yy – últimos dois dígitos do ano
  - t – tipo de ficheiro (O = Observação, N = Navegação)

### 3.4.6 Programas “Posição dos satélites” e “Azimute e elevação”

- **Posição dos Satélites**

O programa “Posição dos satélites” calcula a posição dos satélites da constelação de GPS no sistema ECEF (*Earth-Centered Earth-Fixed*), WGS-84. Na directoria de trabalho o programa é identificado a partir do nome *Satellite Position*. O administrador da estação tem a opção de iniciar o programa na linha de comandos com dois argumentos, tal como acontece nos programas descritos anteriormente.

O cálculo da posição dos satélites é conseguido através das efemérides. Como foi referido anteriormente, estas são enviadas pelo receptor na mensagem com identificador SNV. Uma das opções neste programa era obter as efemérides a partir do segmento de memória partilhada da mensagem SNV. Contudo, este segmento de memória contém apenas a última mensagem recebida, ou seja existiria apenas a informação de um satélite sendo assim possível calcular a posição apenas para um satélite, num dado instante de tempo.

Como foi descrito no programa “Dados de navegação” este guarda todas as efemérides recebidas num segmento de memória partilhada. Assim o programa “Posição dos satélites”, usa o segmento de memória que contém todas as efemérides de todos os satélites já recebidos.

Devido ao facto de a posição dos satélites ser necessária para o programa “Azimute e elevação”, esta posição é guardada num segmento de memória partilhada. O esquema criado para estes segmentos, bem como a sincronização com semáforos segue o que foi descrito no ponto 3.3. Como foi referido no ponto 3.3, cada segmento tem duas estruturas iguais uma para escrever dados a outra para leitura dos dados. No segmento de memória partilhada que guarda

a posição dos satélites cada uma dessas estruturas contém os campos necessários para guardar no máximo a informação de 32 satélites.

A posição calculada é também escrita num ficheiro segundo o formato:

- *2010 03 02 14 51 30*  
*Posição do satélite determinada usando Antena\_Sul*  
*G13 13750107.608 5597890.060 21890911.144*

Na primeira linha está o tempo de referência para o qual foi realizada a escrita no ficheiro da posição do satélite. A segunda linha informa qual das duas antenas da estação foi usada para o cálculo em questão. Para obter essa informação, o programa recorre aos ficheiros referenciados no ponto 3.4.2. Na terceira linha, o primeiro parâmetro “G13” indica o PRN do satélite, neste caso é o satélite 13. Os restantes parâmetros indicam a posição X, Y, e Z, respectivamente, do satélite 13 no sistema WGS-84. Os dados representados no ficheiro repetem-se para cada um dos satélites disponíveis.

O algoritmo para o cálculo da posição dos satélites no sistema ECEF está descrito em [16]. Os parâmetros necessários para o cálculo são as efemérides e um instante de tempo em segundos na escala de tempo GPS. As efemérides, como foi referenciado antes, são obtidas a partir do segmento criado no programa “Dados de navegação”. O instante de tempo actual é obtido recorrendo a um dos campos presentes na mensagem com identificador PBN. Para obter este valor o programa recorre ao segmento de memória partilhada preenchido no programa “Interface com os receptores” referente à mensagem PBN. Os passos para leitura dos dados deste segmento seguem o que foi descrito no ponto 3.3.

O programa corre num ciclo de 30 segundos e começa por obter o instante de tempo em segundos, actual, na escala de tempo GPS. O algoritmo usado para o cálculo da posição dos satélites começa por considerar duas constantes. Na equação (3.1) está a constante  $\mu$ , que representa a constante gravitacional da terra no sistema WGS-84, e na equação (3.2) está o valor da constante  $\dot{\Omega}_e$  que representa a taxa de rotação da terra no sistema WGS-84.

$$\mu = 3.986005 \times 10^{14} \text{ meters}^3 / \text{sec}^2 \quad (3.1)$$

$$\dot{\Omega}_e = 7.2921151467 \times 10^{-5} \text{ rad} / \text{sec} \quad (3.2)$$

Ao instante de tempo actual  $t$ , na escala de tempo GPS, é necessário subtrair o valor de referência para as efemérides identificado pela variável  $t_{oe}$ . Esta variável é enviada na mensagem de navegação e é um dos campos da mensagem enviada pelo receptor com identificador SNV. O resultado da subtracção é identificado pela variável  $t_k$ , sendo necessário verificar se os segundos actuais estão dentro da mesma semana, considerada na variável  $t_{oe}$ .

Essa conclusão leva a que se realizem correcções ao tempo resultante, se tal for necessário. O algoritmo está representado na equação (3.3). O valor 604800 representa o número de segundos total de uma semana.

$$t_k = t - t_{oe}$$

$$\begin{cases} t_k = t_k - 604800, & \text{se } t_k > 302400 \\ t_k = t_k + 604800, & \text{se } t_k < -302400 \end{cases} \quad (3.3)$$

Juntamente com as efemérides e o instante de tempo, é aplicado o algoritmo global para calcular a posição de cada um dos satélites dos quais existe informação das suas efemérides. A posição final dos satélites é obtida a partir da equação (3.4). A posição do satélite em causa é dada pelas variáveis  $x_s$ ,  $y_s$  e  $z_s$ , estando representada no sistema WGS-84 nas unidades de metros. As variáveis  $x'_s$  e  $y'_s$  representam a posição do satélite no plano orbital, e são obtidas a partir de processamento anterior. A variável  $\Omega_k$  representa a correcção da longitude e é dada em radianos. A correcção da inclinação é dada pela variável  $i_k$  que é calculada também em radianos.

$$\begin{cases} x_s = x'_s \cos \Omega_k - y'_s \cos i_k \sin \Omega_k \\ y_s = x'_s \sin \Omega_k + y'_s \cos i_k \cos \Omega_k \\ z_s = y'_s \sin i_k \end{cases} \quad (3.4)$$

As equações apresentadas no relatório são as mais relevantes do algoritmo. Mais detalhes sobre todo o algoritmo podem ser consultados em [16].

Quando uma posição é calculada é actualizado o segmento de memória que guarda as posições dos satélites e o ficheiro com essa informação. O ciclo do programa termina com o comando "Ctrl+c". O programa ao receber este sinal, antes de sair, fecha os segmentos de memória, semáforos e ficheiros.

- **Azimute e Elevação**

O programa "Azimute e Elevação", calcula o azimute e a elevação dos satélites de GPS. Na directoria de trabalho a identificação do programa é realizada a partir do nome *Azimuth and Elevation*. Tal como nos restantes programas existe a opção de seleccionar um dos receptores, ou os dois, para o cálculo do azimute e elevação. O azimute e elevação calculados neste programa são os valores "vistos" pela antena em causa, em relação aos satélites. Para o seu cálculo é necessário a posição da antena, e a posição dos satélites.

Para obter a posição da antena o programa recorre aos ficheiros referidos no ponto 3.4.2. Com base nesses ficheiros o programa sabe qual é a antena que está ligada ao receptor em causa,

e com essa informação a partir do ficheiro com a posição “exacta” das antenas, guarda numa variável a posição da antena em coordenadas cartesianas. A posição dos satélites é obtida a partir do segmento de memória partilhada preenchido no programa “Posição dos satélites” e descrito anteriormente. Para efectuar a leitura das posições dos satélites, o programa segue os passos descritos no ponto 3.3. Os satélites para os quais é calculado o azimute e elevação são aqueles que estão presentes no segmento de memória criado no programa “Posição dos satélites”.

O programa corre num ciclo de 30 segundos, tal como o programa “Posição dos satélites”. O primeiro passo na determinação do azimute e elevação é calcular o vector que une a antena em causa e cada um dos satélites disponíveis. Este vector, com os dados que existem, é calculado no sistema WGS-84. A equação (3.5) representa o cálculo descrito. A variável com o nome *sat* representa a posição do satélite em causa nas três coordenadas x, y e z. O mesmo significado tem a variável *user*, para a posição da antena em causa.

$$\begin{cases} x = sat_x - user_x \\ y = sat_y - user_y \\ z = sat_z - user_z \end{cases} \quad (3.5)$$

É necessário agora determinar o vector, calculado no sistema WGS-84, num sistema de coordenadas locais. É através deste sistema de coordenadas locais, com origem na antena em causa, que é calculado o azimute e elevação. Para determinar o sistema local é preciso transformar as coordenadas cartesianas da antena X, Y e Z, em coordenadas geográficas, latitude, longitude e altitude [1].

O referencial local obtém-se realizando uma rotação segundo X (do vector que une o satélite à antena no sistema WGS-84) de 90 graus menos a latitude da antena. Segundo Z é feita uma rotação de 90 graus mais Longitude, sendo que a longitude das antenas, devido à sua localização segundo “W” deve aparecer negativa. Na equação (3.6) está o cálculo dos ângulos  $\alpha$  e  $\gamma$ , representado respectivamente a correcção para a latitude e longitude. Estes valores são convertidos para radianos.

$$\begin{cases} \alpha = \frac{((90 - latitude) \times \pi)}{180} \\ \gamma = \frac{((90 - longitude) \times \pi)}{180} \end{cases} \quad (3.6)$$

Com os ângulos referidos anteriormente são construídas as duas matrizes para efectuar as duas rotações. Na equação (3.7) é apresentada a matriz de rotação segundo o eixo x sendo construída com o ângulo  $\alpha$ , e a matriz de rotação segundo o eixo z construída com o ângulo  $\gamma$ .

$$\left\{ \begin{array}{l} Rot_x(\alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \\ Rot_z(\gamma) = \begin{bmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma & 0 \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{array} \right. \quad (3.7)$$

Multiplicando o vector, representado na equação (3.5), constituído pelas 3 coordenadas x, y e z, pelas duas matrizes apresentadas na equação (3.7) obtém-se o vector que une a antena ao satélite num sistema de referência local com origem na antena considerada,  $SatUser_l$ . O respectivo cálculo é apresentado na equação (3.8). A variável  $SatUser_l$  corresponde a um vector coluna com três elementos.

$$SatUser_l = Rot_x(\alpha) \times Rot_z(\gamma) \times \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

A variável  $SatUser_l$  é constituída pelas componentes  $x_l$ ,  $y_l$  e  $z_l$  representando o vector que une a antena ao satélite num sistema de coordenadas local. É agora necessário calcular o vector unitário. Este tem três componentes segundo três direcções, *east*, *north* e *zenith* representadas na equação (3.9).

$$\left\{ \begin{array}{l} east = \frac{x_l}{\sqrt{x_l^2 + y_l^2 + z_l^2}} \\ north = \frac{y_l}{\sqrt{x_l^2 + y_l^2 + z_l^2}} \\ zenith = \frac{z_l}{\sqrt{x_l^2 + y_l^2 + z_l^2}} \end{array} \right. \quad (3.9)$$

Com as três componentes obtidas na equação (3.9), é agora simples calcular o azimute e elevação para o satélite correspondente. O ângulo do vector unitário em relação à direcção *zenith* somado com a elevação (que se quer obter) é igual a 90 graus. Assim a partir da equação (3.10) é obtida a elevação da antena, em graus, em relação ao satélite em causa.

$$\theta_{el} = 90 - \frac{(\cos^{-1}(zenith) \times 180)}{\pi} \quad (3.10)$$

Com as componentes *east* e *north* é obtido o valor do azimute também em graus. A equação (3.11) representa esse processamento.

$$\beta_{az} = \frac{\left(\left(\tan^{-1}(east / north)\right) \times 180\right)}{\pi} \quad (3.11)$$

Mais detalhes sobre o algoritmo usado, podem ser consultados em [17].

Os resultados obtidos com o programa são guardados num ficheiro, de acordo com o formato:

- 2010 03 02 14 53 59  
Cálculo usando o receptor ligado à porta /dev/ttyS1  
G02 45.97 303.71  
G04 71.42 207.42  
G05 15.30 292.48  
G07 49.72 129.02  
G08 27.40 167.27  
G10 36.01 299.28  
G13 54.48 40.27  
G17 5.35 201.30  
G20 9.72 99.24  
G23 25.21 50.05

Na primeira linha do ficheiro é escrito o tempo de referência para o qual os dados foram guardados no ficheiro. A segunda linha dá a informação de qual o receptor usado para o cálculo. O restante conteúdo do ficheiro são os dados propriamente ditos. Na primeira coluna está o PRN do satélite em causa, na segunda coluna a elevação em graus e na terceira coluna o azimute também em graus.

O ciclo do programa termina com o comando “Ctrl+c”. O programa ao receber este sinal, antes de sair, fecha os segmentos de memória, semáforos e ficheiros.

### 3.4.7 Programas “Dados dos satélites” e “Figura com a posição dos satélites”

- **Dados dos satélites**

Este programa tem como objectivo a obtenção do azimute, elevação e SNR de cada um dos satélites em linha de vista com as antenas da estação. Na directoria de trabalho é identificado por *Satellite Data*. No trabalho foram usados os dois receptores para a aquisição dos dados.

A mensagem com identificador GSV, contém todos os dados referidos anteriormente. Assim este programa utiliza o segmento de memória partilhada referente a essa mensagem. Os passos para efectuar a leitura de dados do segmento estão descritos no ponto 3.3.

O programa corre num ciclo de 1 segundo e em cada ciclo faz a aquisição dos dados, a partir do segmento de memória, e escreve-os num ficheiro. A este ficheiro está associado um semáforo, com três membros, idêntico ao semáforo usado para guardar as efemérides num segmento de memória no programa “Dados de navegação”. O uso de um semáforo para sincronização entre leitura e escrita deve-se ao facto de ser usado no programa que irá ser descrito a seguir.

Um exemplo de um ficheiro gerado com o programa é:

- *2010 03 04 13 44 34*  
*Número de satélites visíveis:11*  

<i>17</i>	<i>28</i>	<i>217</i>	<i>50</i>
<i>11</i>	<i>3</i>	<i>144</i>	<i>36</i>
<i>13</i>	<i>83</i>	<i>66</i>	<i>56</i>
<i>23</i>	<i>51</i>	<i>47</i>	<i>55</i>
<i>08</i>	<i>3</i>	<i>175</i>	<i>36</i>
<i>07</i>	<i>26</i>	<i>151</i>	<i>48</i>
<i>02</i>	<i>22</i>	<i>313</i>	<i>46</i>
<i>04</i>	<i>68</i>	<i>303</i>	<i>56</i>
<i>32</i>	<i>2</i>	<i>82</i>	<i>39</i>
<i>10</i>	<i>16</i>	<i>279</i>	<i>47</i>
<i>20</i>	<i>29</i>	<i>79</i>	<i>47</i>

Na primeira linha do ficheiro está o tempo de referência para o qual os dados foram guardados no ficheiro. A segunda linha indica o número total de satélites em linha de vista com a antena, e ao mesmo tempo o número de satélites presentes no ficheiro. As restantes linhas são os dados propriamente ditos, onde na primeira coluna está o PRN do satélite, na segunda e terceira colunas a elevação e azimute em graus, respectivamente, e na última coluna o SNR em dB-Hz.

Neste caso, não é escrito no ficheiro nenhuma referência que permita saber de qual dos dois receptores foi feita a aquisição dos dados. Essa distinção é feita dentro do programa a partir do nome do ficheiro.

O ciclo do programa termina com o envio do sinal *SIGINT*. O programa ao receber este sinal, antes de sair, fecha os segmentos de memória, semáforos e ficheiros.

- **Figura com a posição dos satélites**

Este programa tem como objectivo disponibilizar uma figura com a posição dos satélites em linha de vista com as antenas da estação. Na directoria de trabalho o programa é identificado pelo nome *Plot Satellite Data*. No trabalho são usados os dois receptores, estando assim disponível duas figuras com a posição dos satélites visíveis às duas antenas.

Os dados que o programa utiliza estão no ficheiro apresentado no programa anterior. A leitura dos dados a partir do ficheiro é realizada com recurso ao semáforo associado, para evitar problemas de sincronização entre os dois processos.

Tal como a maioria dos programas do módulo Interface Série, este corre também num ciclo infinito. Neste caso o ciclo é realizado com um intervalo de três minutos devido ao facto de a elevação e azimute dos satélites variar de uma forma relativamente lenta.

A ferramenta utilizada para gerar a figura foi o Matlab, como foi referido no ponto 3.3.

O primeiro passo efectuado pelo programa, em cada ciclo, é copiar o ficheiro gerado no programa “Dados dos satélites”. Com este ficheiro o Matlab é iniciado e é gerada uma figura com o azimute e elevação de cada um dos satélites presentes no ficheiro. O Matlab é iniciado directamente pelo programa sem abrir nenhuma interface gráfica diminuindo assim o tempo total de processamento. Para o seu início é usada a função “system”. Esta função permite, através de um executável em linguagem de programação C executar um determinado comando, como se este estivesse a ser escrito na linha de comandos. Para gerar a figura com os dados do receptor ligado à porta série 0 a função “system” tem o argumento:

- `./matlab -nodesktop -r \[status]=Plot(0)\`

Associado à execução do Matlab existe um semáforo para garantir que a geração da figura não é realizada simultaneamente com os dados dos dois receptores, dado que poderia originar erros imprevistos. Antes de ser invocada a função “system” é verificado o valor do semáforo referido. Se este tiver o valor 0 (significando que está “verde”) o processo em causa reserva o recurso colocando assim o semáforo com o valor 1 (significando que está “vermelho”). Quando o Matlab finaliza a sua execução o valor do semáforo é novamente colocado a 0, libertando assim o recurso.

A figura gerada é guardada na directoria `/usr/local/apache2/htdocs/site/SatelliteData`, dentro do módulo Interface Web. Nesta interface, para além da figura, é apresentado também uma tabela com os dados do ficheiro utilizado pelo Matlab. Devido ao facto de a actualização dos dados ser automática, é necessário garantir que, quando um utilizador na Interface Web tenta aceder aos dados estes não estão a ser escritos. Assim para a sincronização entre este programa e o módulo Interface Web foi criado um semáforo com três membros, cujo funcionamento no

programa é semelhante ao semáforo utilizado para sincronizar o ficheiro criado no programa “Dados dos satélites”. Após o Matlab terminar a sua acção é necessário disponibilizar na Interface Web a figura gerada, bem como o ficheiro com os dados detalhados. Antes desta disponibilização é verificado o valor do semáforo referido anteriormente. Se o semáforo estiver “verde” é colocado a “vermelho” e os dados ficam disponíveis na Interface Web. No final é colocado novamente a “verde”. Durante este período de tempo se um utilizador tentar aceder aos dados na Interface Web, terá de esperar que o semáforo volte a estar “verde”. Este período de tempo é muito pequeno, não notando o utilizador da página *web* que existe algum tipo de sincronização.

O ciclo do programa termina com o comando “Ctrl+c”. O programa ao receber este sinal, antes de sair, fecha os semáforos e ficheiros.

### **3.4.8 Programa “Gerar correcções diferenciais”**

O objectivo deste programa é a obtenção de correcções diferenciais, como ponto de partida para a implementação de uma plataforma na estação de monitorização de GPS do IT, que disponibilize essas correcções para outros receptores de GPS na área circundante ao IST melhorando assim a sua precisão.

Este programa corre apenas num processo e tem somente um argumento, “/dev/ttyS0”. Na directoria de trabalho está identificado pelo nome *DGPS*. O receptor ligado à porta série 0 funciona como o receptor base e gerador de correcções diferenciais, enquanto que o receptor ligado à porta série 1 é usado para testar a validade das correcções geradas.

Como está referido no ponto 2.1.3 e 2.1.4, para obter as correcções diferenciais é necessário que a estação seja fixa com uma posição definida como “exacta”. Através desta posição exacta são obtidas as correcções diferenciais. Segundo o conceito teórico de DGPS, as correcções poderiam ser obtidas subtraindo a posição enviada pelo receptor com a posição exacta da antena. Os erros em cada uma das componentes X, Y e Z seriam depois transmitidas para os restantes receptores de GPS. A verdade é que o conceito de DGPS vai mais para além disso, dado que existem aspectos que não são comuns entre os receptores como por exemplo o seu erro no relógio, os satélites em linha de vista e a influência da troposfera e ionosfera na propagação do sinal. Assim sendo é essencial tratar cada um dos satélites visíveis para a estação de referência independentemente, sendo geradas correcções para cada um desses satélites. O receptor que recebe as correcções é responsável depois por aplicá-las nos satélites correspondentes. Na Figura 3.11 está apresentado o fluxograma com o funcionamento geral do programa.

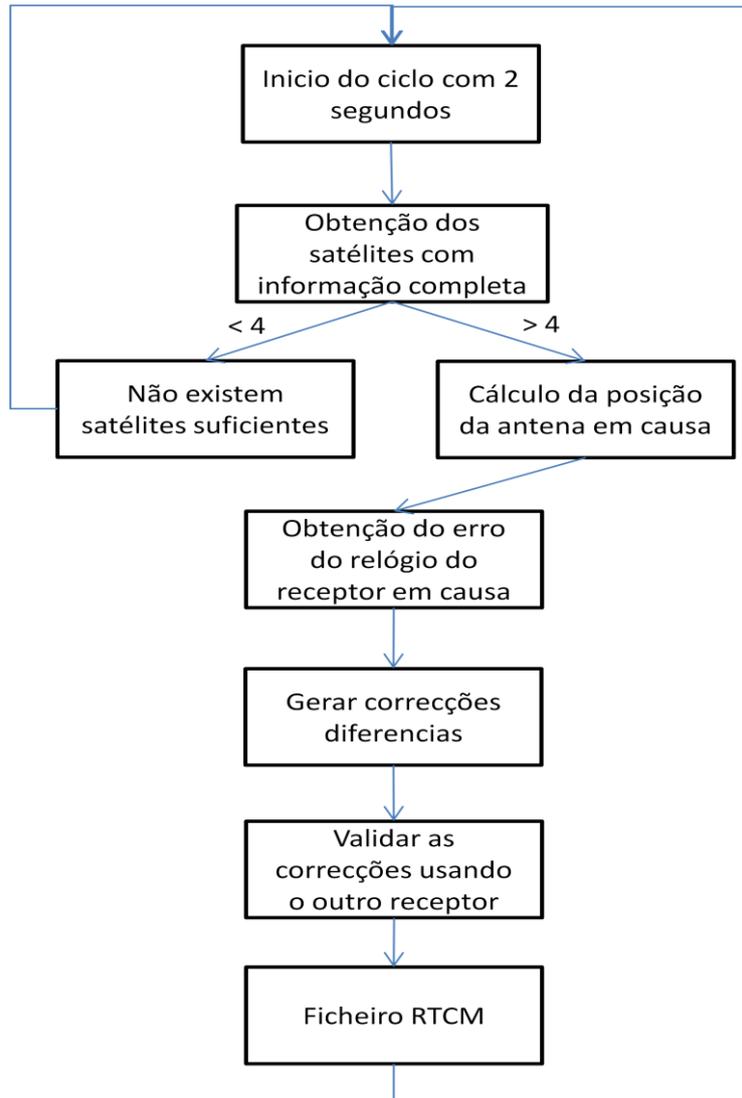


Figura 3.11 – Ciclo do programa “Gerar correções diferenciais”.

As correções diferenciais são geradas com um período de dois segundos. O primeiro passo na obtenção das correções é a aquisição das efemérides e *pseudo-range* dos satélites, do receptor ligado à porta série 0. Os satélites usados no processamento, são aqueles para os quais existe informação das suas efemérides e *pseudo-range*. Estes dados são adquiridos utilizando os segmentos de memória partilhada descritos no ponto 3.4.5, recorrendo aos semáforos associados para sincronização entre leitura e escrita nos segmentos. Após este tratamento é necessário verificar quantos satélites estão disponíveis. Como referido no ponto 2.1.2 são necessários no mínimo quatro satélites para calcular a posição de um utilizador. Consequentemente, se o número de satélites for inferior a quatro o processamento termina neste ponto, e o ciclo volta ao início. Estando disponível mais do que quatro satélites é calculada a posição da antena utilizada pelo receptor ligado à porta série 0, utilizando todos os satélites disponíveis.

- **Cálculo da posição da antena**

O cálculo da posição da antena em causa implica um algoritmo complexo, obtendo-se o resultado final por iterações, usualmente três. Na primeira iteração é necessário usar uma estimativa para a posição da antena e dado que é a primeira iteração a estimativa utilizada é o centro da Terra. Com este estimador é calculada a posição de cada um dos satélites no instante em que foi transmitido, por este, o sinal para o receptor. É necessário utilizar as posições dos satélites no instante de transmissão visto que o *pseudo-range* referido anteriormente é medido pelo receptor como a distância entre este e o satélite no instante em que foi transmitido o sinal. A variável  $t_r$ , referida na equação (3.12), representa os segundo da semana, na escala de tempo GPS, em que o sinal com os *pseudo-range* chegou ao receptor. Sendo um valor medido pelo receptor incorpora por isso, o erro do relógio associado. O algoritmo para o cálculo da posição dos satélites é também iterativo terminando quando for atingida uma determinada precisão nos resultados, neste caso 1 mm. O processo começa por usar o instante de tempo identificado pela variável  $t_r$ . Uma primeira aproximação da posição dos satélites é calculada recorrendo ao algoritmo descrito no ponto 3.4.6, no programa “Posição dos satélites”. Com esta primeira aproximação, é calculada a distância entre o satélite e o estimador da posição da antena e é obtido assim o tempo que o sinal demorou a chegar ao receptor, e identificado pela variável  $t_v$ , considerando que o sinal viaja à velocidade da luz. Com as variáveis  $t_v$  e  $t_r$ , é possível encontrar uma primeira aproximação para o instante de transmissão do sinal,  $t_t$ . Na equação (3.12) encontra-se o cálculo descrito.

$$t_t = t_r - t_v \quad (3.12)$$

Com este novo instante é necessário refazer outra vez o cálculo da posição do satélite, de modo a aproximá-lo o mais possível do instante de transmissão do sinal. Ao mesmo tempo é necessário introduzir na posição obtida uma correcção devido ao movimento da terra durante a transmissão do sinal. Esta correcção é influenciada pelo tempo que o sinal demorou até chegar ao receptor, e é identificado pela variável  $t_v$ . Para o cálculo da correcção é necessário o valor da constante  $\dot{\Omega}_e$  que representa a taxa de rotação da terra no sistema WGS-84, apresentado na equação (3.2). Com esta constante e a variável  $t_v$  é calculado o ângulo  $\beta$ , que representa o ângulo em radianos que a terra rodou durante o tempo que o sinal viajou do satélite até ao receptor. O cálculo descrito está representado na equação (3.13). A partir do ângulo  $\beta$  é construída um matriz para corrigir a posição dos satélites devido ao movimento de rotação da terra.

$$\beta = \dot{\Omega}_e \times t_v \quad (3.13)$$

A matriz obtida está representada na equação (3.14), e corresponde a efectuar uma rotação no eixo z, de acordo com o valor da variável  $\beta$ .

$$Rot_z(\beta) = \begin{bmatrix} \cos \beta & \sin \beta & 0 \\ -\sin \beta & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

Com a matriz  $Rot_z(\beta)$  é corrigida a posição dos satélites previamente calculada. Para isso a matriz é multiplicada pelo vector que tem as três coordenadas do satélite em causa. Na equação (3.15) o vector coluna com as variáveis  $x_s, y_s$  e  $z_s$  corresponde às três componentes da posição do satélite sem a correcção. O vector *sat* tem também 3 componentes segundo os eixos x, y, e z, mas agora com a posição do satélite corrigida devido ao movimento de rotação da terra.

$$sat = Rot_z(\beta) \times \begin{bmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

Todo este processo é iterativo, concluindo-se quando for obtida uma determinada precisão, entre a estimativa da posição do satélite anterior e a actual (1mm).

O próximo passo corresponde ao cálculo de uma estimativa para a influência da troposfera na medição do *pseudo-range* por parte do receptor. Para o seu cálculo é necessário obter a elevação entre a antena em causa e cada um dos satélites, e cujo algoritmo está referenciado no ponto 3.4.6. Com a elevação para cada um dos satélites e os valores médios para a, pressão atmosférica, temperatura e pressão parcial do vapor de água, é calculada uma estimativa para o erro provocado pela troposfera. À excepção da elevação todos os restantes parâmetros foram obtidos tendo em conta a latitude do local e valores de referência. O algoritmo para o cálculo desses parâmetros pode ser consultado em [1]. O valor obtido para estes parâmetros está apresentado na equação (3.16). A variável  $e$  representa o valor médio para a pressão parcial do vapor de água em milibar, a variável  $p$  a pressão atmosférica média também em milibar e a variável  $T$  o valor para a temperatura média em Kelvin.

$$\begin{cases} e = 16.39 \text{ mb} \\ p = 1016.45 \text{ mb} \\ T = 293.15 \text{ K} \end{cases} \quad (3.16)$$

Existem muitos modelos para obter o erro devido à propagação do sinal na troposfera. No projecto optou-se pelo modelo de Hopfield por possuir alguma simplicidade, quando

comparado com outros modelos, e por produzir os resultados esperados. Este modelo usa três constantes, apresentadas na equação (3.17).

$$\begin{cases} a1 = 77.624 \text{ Kmb}^{-1} \\ a2 = -12.96 \text{ Kmb}^{-1} \\ a3 = 371900 \text{ K}^2\text{mb}^{-1} \end{cases} \quad (3.17)$$

Com os valores apresentados nas equações (3.16) e (3.17) são calculadas duas componentes,  $N_d$  e  $N_w$  designadas por *dry* e *wet* respectivamente. O cálculo é apresentado na equação (3.18).

$$\begin{cases} N_d = a1 \times \frac{p}{T} \\ N_w = a2 \times \frac{e}{T} + a3 \times \frac{e}{T^2} \end{cases} \quad (3.18)$$

Com as variáveis  $N_d$  e  $N_w$  são obtidas duas novas variáveis  $h_d$  e  $h_w$ , calculadas segundo a equação (3.19).

$$\begin{cases} h_d = \frac{0.011385 \times p}{(N_d \times 10^{-6})} \\ h_w = \left( \frac{0.00113851}{(N_w \times 10^{-6})} \right) \times e \times \left( \frac{1255}{T} + 0.05 \right) \end{cases} \quad (3.19)$$

A partir das variáveis obtidas nas equações (3.18) e (3.19) é agora possível calcular a influência da troposfera na propagação do sinal do satélite até ao receptor se a elevação fosse 90 graus. Na equação (3.20) a variável  $tropo_{90}$  tem as dimensões em metros e representa a influência da troposfera para uma elevação de 90 graus.

$$tropo_{90} = \frac{10^{-6}}{5} \times (N_d h_d + N_w h_w) \quad (3.20)$$

É necessário agora incluir a elevação, referida anteriormente, do satélite em causa em relação à antena. Na equação (3.21) está o resultado final de todo o algoritmo, estando a variável  $tropo$  a representar o atraso em metros provocado pela troposfera na propagação do sinal. A variável  $\theta_{el}$  foi calculada previamente e cujo algoritmo está referenciado no ponto 3.4.6. Uma conclusão que se tira a partir da equação (3.21) é a relação entre o valor da elevação e o valor do atraso provocado pela troposfera. Quanto menor a elevação maior será o atraso provocado



Nesta altura todos os parâmetros necessários à aplicação do método matemático LS estão calculados. Na equação (3.24) está representado o cálculo realizado para obter a variável  $dR$ .

$$dR = (A'A)^{-1}A'L \quad (3.24)$$

A variável  $dR$  representa uma matriz coluna com quatro elementos. O primeiro,  $dR_x$ , representa a correcção, em metros, para a componente x da estimativa para a posição da antena ( $user_{estx}$ ). O segundo e terceiro elemento,  $dR_y$  e  $dR_z$ , representam respectivamente a correcção da componente y e z da variável  $user_{est}$ . Com estes três novos elementos é obtida uma nova estimativa para a posição da antena. O cálculo realizado está apresentado na equação (3.25).

$$\begin{cases} user'_{estx} = user_{estx} + dR_x \\ user'_{esty} = user_{esty} + dR_y \\ user'_{estz} = user_{estz} + dR_z \end{cases} \quad (3.25)$$

A variável  $user'_{est}$  representa uma nova estimativa da posição para a antena, nas três coordenadas x, y e z. Todas as três componentes têm as suas unidades calculadas em metros. Esta nova posição é utilizada no início da próxima iteração, visto ser a última estimativa (e portanto mais correcta) para a posição da antena.

O quarto elemento da variável  $dR$ ,  $dR_{clk}$ , é o valor para a estimativa do erro do relógio do receptor em metros. Este valor, através da velocidade da luz no vácuo, é convertido para segundos e é aplicado à variável  $t_r$ , referida na equação (3.12), sempre que uma nova iteração é iniciada. Assim tem-se em conta também o erro do relógio do receptor no algoritmo utilizado.

Com a nova estimativa para a posição da antena, todo o processo é aplicado desde o início, começando no cálculo da posição dos satélites, mas agora com uma nova estimativa para a posição da antena. O processo termina quando a distância entre a estimativa, da posição da antena, anterior e a actual atinge uma determinada precisão, igual a 1 mm. Nesta altura tem-se uma estimativa final para a posição da antena em causa e o erro no relógio do receptor.

- **Cálculo das correcções diferenciais**

Recorrendo aos ficheiros descritos no ponto 3.4.2, obtém-se a posição “exacta” da antena utilizada pelo receptor ligado à porta série 0. Neste ponto todos os dados necessários à obtenção das correcções diferenciais estão calculados. É então calculada a distância entre cada um dos satélites e a antena (recorrendo à posição “exacta”). Esta distância é aquela que corresponde ao valor mais correcto possível, sendo subtraída ao *pseudo-range* enviado pelo receptor e que contém erros. A diferença entre as duas distâncias representa o erro introduzido

na medição do *pseudo-range* e que foram referidos no ponto 2.1.2. É necessário nesta altura ter em conta erros que não são comuns entre os receptores, tais como o erro no relógio do receptor e o erro provocado pela troposfera. Assim, a cada um dos *pseudo-range* é necessário subtrair o erro no relógio do receptor e o atraso provocado pela troposfera na propagação do sinal. O resultado final de todo o algoritmo descrito são as correcções diferenciais para os satélites considerados logo no início do ciclo.

- **Validação das correcções diferenciais**

O receptor ligado à porta série 1 é usado para validar as correcções diferenciais obtidas. Primeiro são obtidos os satélites dos quais existe informação das suas efemérides e *pseudo-range*, tal como no receptor ligado à porta série 0. Destes satélites são considerados apenas aqueles para os quais foram geradas correcções diferenciais. Se o número de satélites disponíveis for inferior a 4 o algoritmo termina, não sendo possível validar as correcções diferenciais. Se for superior a 4 existem satélites suficientes para uma estimativa da posição da antena ligado ao receptor conectado à porta série 1. O algoritmo usado para estimativa da posição foi descrito anteriormente, existindo apenas uma diferença. O valor do *pseudo-range* é agora corrigido com as correcções diferenciais obtidas, para além do erro da troposfera que é dependente de cada receptor. Para validar todo o processamento realizado, em especial a influência das correcções diferenciais, recorre-se aos ficheiros descritos no ponto 3.4.2 calculando-se a distância entre a posição “exacta” da antena e a sua estimativa resultante da aplicação de correcções diferenciais. Essa diferença representa o valor do UDRE (*User Differential Range Error*), que é um campo necessário na escrita do ficheiro RTCM.

- **Escrita do ficheiro RTCM**

Com todo o algoritmo processado, é escrito o ficheiro com as correcções diferenciais no formato RTCM. Para a escrita deste ficheiro todos os bytes têm de ser tratados com um processamento de baixo nível. Este processamento traduz-se no cálculo e na formatação do ficheiro, bit a bit. Mais detalhes sobre o formato RTCM podem ser consultados no ponto 2.1.4 em conjugação com o Anexo A.

Com um período de 2 segundos todo o processamento descrito é iniciado, gerando assim correcções diferenciais com uma actualização de dois segundos.

O ciclo do programa termina com o comando “Ctrl+c”. O programa ao receber este sinal, antes de sair, fecha os segmentos de memória, semáforos e ficheiros.

### **3.5 Interface “user-friendly”**

O segundo módulo do sistema desenvolvido designa-se por Interface “user-friendly” por permitir a outros utilizadores adquirirem dados GPS de uma forma muito simples.

A possibilidade de gerar determinados resultados e aplicações a partir de dados de GPS é diversa, e dado esse facto era importante possibilitar a interacção com os dois receptores de GPS da estação, mas não uma interacção directa devido ao facto de no presente projecto essa interacção estar feita. Para além da interacção, indirecta, com o receptor, o projecto tem também dados importantes guardados em segmentos de memória partilhada e que são úteis para produzir no futuro determinadas aplicações.

Uma outra vantagem importante deste módulo relaciona-se com o facto de os dados serem guardados em segmentos de memória partilhada. Como foi descrito no ponto 3.3, e ao longo do módulo Interface Série, o esquema necessário para a interacção com os segmentos de memória tem alguma complexidade. Essa complexidade será maior para os utilizadores externos ao desenvolvimento do *software*. Assim, para além de permitir o acesso aos dados esta interface foi desenvolvida de modo a facilitar a interacção de utilizadores externos com o programa.

Todos os dados que podem ser obtidos com a Interface “user-friendly” são adquiridos a partir da Interface Série, como pode ser observado na Figura 3.1 referida no ponto 3.2.

A interface criada está dividida em vários programas. Cada um desses programas tem como objectivo a aquisição de dados com determinada particularidade. Para que um utilizador possa trabalhar com os dados tem que conhecer a estrutura de cada um dos segmentos de memória utilizados. A estrutura de alguns dos segmentos foi referida no módulo Interface Série, outras correspondem à estrutura das mensagens enviadas pelos receptores de GPS e cujos detalhes podem ser consultados nos Anexo B e Anexo C.

Para o utilizador fazer uso de algum dos programas, precisa de criar uma função em linguagem de programação C incluindo um ficheiro “xxx.h” constituído por diversas funções. O conjunto de caracteres “xxx” representa o nome associado ao ficheiro, e que está associado ao conjunto de dados que se quer obter. Como foi referido no ponto 3.3 e ao longo do módulo Interface Série, a leitura de dados de segmentos de memória partilhada implica o uso de semáforos. As funções construídas permitem que o utilizador externo não necessite de realizar nenhuma interacção com os segmentos de memória e semáforos, dado que essa interacção é feita automaticamente por essas funções.

Para além do utilizador necessitar de incluir o ficheiro “xxx.h”, na função criada terá que ser invocada uma determinada função que tem dois argumentos. Esta função está incluída no ficheiro “xxx.h” e tem o nome representado no conjunto de caracteres “xxx”. O primeiro argumento da função permite seleccionar um dos dois receptores da estação para o qual se quer obter os dados. Com o valor 0 é seleccionado o receptor ligado à porta série 0 e com o valor 1 o receptor ligado à porta série 1. O segundo argumento é uma variável que terá que ter a estrutura do segmento de memória correspondente, e onde serão guardados os dados. A

declaração da variável é da responsabilidade do utilizador, tendo o seu tipo que ser igual ao da estrutura do segmento de memória em questão. Para o utilizador saber o tipo da variável, pode consultar o ficheiro “structs.h”, incluído na mesma directoria onde está o ficheiro “xxx.h”. No ponto 3.7 (Manual de Instruções) podem ser encontradas as directorias de todos os programas desenvolvidos nesta interface.

A função invocada coloca na variável definida pelo utilizador os parâmetros correspondentes, sem ser necessário implementar mais código para a aquisição dos dados.

A função principal, com o nome “xxx”, é responsável por criar um ficheiro onde são escritos todos os erros que possam surgir dentro do conjunto de funções associado ao ficheiro “xxx.h”. Para além disso a função invocada pelo utilizador retorna o valor -1 se existir algum erro.

Os programas criados no módulo Interface “user-friendly” são:

- **Efemérides:** o utilizador com este programa pode obter as efemérides que são guardadas com o programa “Dados de navegação”. Na directoria de trabalho o programa é identificado pelo nome *Ephemeris*;
- **Pseudo-range:** usando a biblioteca de funções associado a este programa o utilizador externo tem acesso ao segmento de memória partilhada criado no programa “Dados de observação”. O programa, na respectiva directoria de trabalho, tem o nome *Pseudo-Range*;
- **Posição dos satélites:** o utilizador, correndo a função associada a este programa consegue obter a posição dos satélites calculada no programa “Posição dos satélites”. Este programa é identificado, na directoria de trabalho, por *Satellite Position*;
- **ALM:** dados da mensagem com identificador ALM. O nome do programa, na directoria de trabalho, é *ALM message*;
- **GGA:** dados da mensagem com identificar GGA. O programa é identificado pelo nome *GGA message*;
- **GSV:** dados da mensagem com identificador GSV. Na directoria de trabalho o programa toma o nome de *GSV message*;
- **UKO:** dados da mensagem com identificador UKO. O programa é identificado pelo nome *UKO message*;
- **MCA:** dados da mensagem com identificador MCA. O nome do programa, na directoria de trabalho é *MCA message*;
- **PBN:** dados da mensagem com identificador PBN. O programa é identificado pelo nome *PBN message*;
- **SNV:** dados da mensagem com identificador SNV. Na directoria de trabalho o programa é identificado pelo nome *SNV message*.

Para que o entendimento desta interface seja facilitado, é apresentado na Figura 3.12 um exemplo da função que o utilizador externo teria que construir para ter acesso aos dados da mensagem com identificador PBN.

---

```
#include "PBN_read.h"
#include <unistd.h>

int main() {

    int status, i;
    PBN data;

    for(i = 1; i <= 20; i++) {

        status = PBN_read(0, &data);
        if(status == -1)
            printf("error in PBN_read\n");

        printf("%.3f  %.3f  %.3f\n", data.X_Pos, data.Y_Pos, data.Z_Pos);

        sleep(1);
        printf("\nNext cycle: %d\n\n", i);
    }
}
```

---

Figura 3.12 – Exemplo de uma função para aceder aos dados da mensagem PBN.

O exemplo de código apresentado na Figura 3.12 engloba os pontos descritos anteriormente. O ficheiro que o utilizador tem de incluir neste caso designa-se por “PBN\_read.h”, onde estão todas as funções necessárias para aceder ao segmento de memória da mensagem. Na função criada, pelo utilizador, tem que invocar a função “PBN\_read” que neste caso usa os dados do receptor ligado à porta série 0. Os dados são guardados na variável local “data” que é uma estrutura com os campos idênticos à estrutura do segmento de memória partilhada com os dados da mensagem PBN.

### 3.6 Interface Web

O terceiro módulo do sistema, e o último, permite disponibilizar alguns dos resultados e funcionalidades desenvolvidas no módulo Interface Série. É importante também que os resultados estejam acessíveis em qualquer máquina, independentemente do sistema operativo.

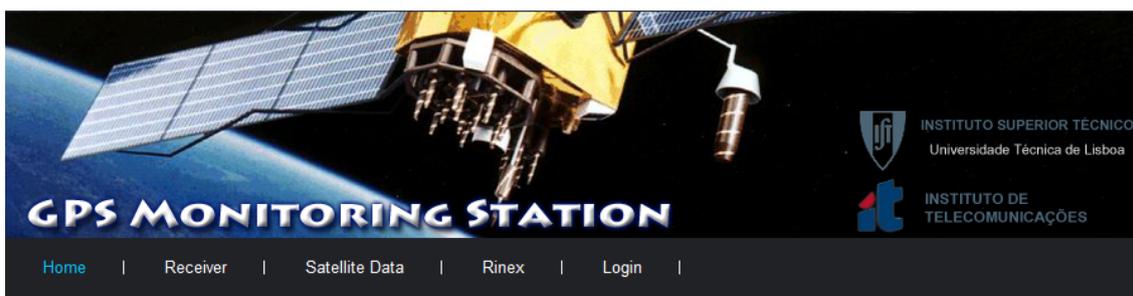
Assim, foi desenvolvida uma interface web que tem a vantagem de possibilitar um acesso universal e também a disponibilização dos resultados é conseguida com uma melhor apresentação a nível gráfico.

Alguns dos aspectos relevantes no desenvolvimento da interface estão referidos no ponto 3.3.

No directório `/usr/local/apache2/conf` existe um ficheiro com o nome `httpd.conf`, onde podem ser definidos parâmetros característicos do servidor. Algumas das opções disponíveis no ficheiro permitem alterar a pasta raiz do servidor, bem como o ficheiro inicial com que é iniciado. No directório `/usr/local/apache2/logs` está um ficheiro, `error_log`, onde o servidor escreve automaticamente erros que possam existir na execução dos ficheiros que compõem o módulo Interface Web. A pasta onde são armazenados todos os ficheiros que constituem a interface designa-se por `htdocs` e está na directoria `/usr/local/apache2`. Esta pasta é também conhecida como pasta raiz do servidor.

A linguagem PHP tem também um ficheiro específico onde podem ser configurados alguns parâmetros específicos. Está localizado na directoria `/usr/local/lib` com o nome `php.ini`.

Com o objectivo de ser o mais universal possível, a interface é apresentada em língua inglesa. Na Figura 3.13 é apresentada a página principal da estação de monitorização de GPS do IT.



The GPS Monitoring Station of IT-IST allows authorized users to view and download some important data related with the Global Positioning System.

The station has two GPS receivers, and one of the arguments in all sections is which of the receivers the user wants to use. Only the administrator of station is allowed to interact with receivers.

#### [Technical specifications of receiver](#)

- Receiver: Magellan, AC12
- Frequency: 1575.42 MHz
- Number of channels: 12
- Code: Coarse/Acquisition
- Mode: 2D or 3D

#### [Location](#)

- Instituto Superior Técnico  
North Tower, 12th floor  
Av. Rovisco Pais, 1  
1049-001 Lisboa
- WGS84 coordinates:  
Latitude(N) → 38.73753°  
Longitude(W) → 9.3863°  
Altitude → 192m

Figura 3.13 – Página principal da estação de monitorização de GPS do IT.

De uma forma geral, os conteúdos que a interface dispõe são alguns dos referenciados no módulo Interface Série. As principais funcionalidades desenvolvidas foram:

- acesso restrito aos conteúdos da página;
- interacção com os receptores de GPS da estação;
- visualização de determinados dados;
- possibilidade de efectuar *download* de alguns ficheiros.

O principal objectivo desta interface é permitir a outros utilizadores da estação o acesso aos dados produzidos bem como a interacção, de uma forma simples, com os dois receptores de GPS. Sem esta interface esse objectivo só poderia ser cumprido, ou através do acesso ao computador onde foi desenvolvido o trabalho ou então desenvolvendo *sockets* em outras máquinas. A interface web possibilita passar por cima dessas soluções, facilitando o acesso aos dados em qualquer lugar do mundo.

### 3.6.1 Autenticação

À excepção da página principal, todos os conteúdos da interface web são de acesso restrito. Para que um utilizador tenha acesso aos conteúdos da página da estação terá que introduzir a sua identificação, composta por *username* e *password*.

O PHP dispõe das funcionalidades necessárias para implementar o acesso restrito aos conteúdos da página. Recorre-se assim a sessões e variáveis de sessão onde são guardados os dados dos utilizadores que acedem à página.

A página *Login* está armazenada no ficheiro *login.php* e consiste num formulário em HTML, onde o utilizador tem de introduzir a sua identificação. A identificação é guardada em duas variáveis sendo a sua verificação realizada no ficheiro *checklogin.php*. Neste ficheiro a primeira confirmação é verificar se o utilizador introduziu a sua identificação completa. Se tal não acontecer é apresentada a página de *Login* com uma mensagem para o utilizador introduzir todos os dados. No caso de os dados estarem incorrectos é indicada na página uma mensagem de erro.

A informação do nome dos utilizadores autorizados e das respectivas senhas de acesso está num ficheiro cujo nome é um conjunto de caracteres escritos aleatoriamente. A identificação introduzida pelo utilizador é comparada com a que está guardada no ficheiro, e se corresponder a algum utilizador autorizado é iniciada uma sessão onde é guardado, em duas variáveis de sessão, o *username* e tipo de utilizador. Iniciada a sessão, o utilizador é remetido para a página principal estando agora autorizado a navegar pelos conteúdos.

Foram definidos dois tipos de utilizadores autorizados, administrador e geral. O administrador tem acesso a todos os conteúdos desenvolvidos no módulo Interface Web, enquanto que o utilizador geral tem acesso a todas as páginas excepto à página que permite uma interacção com os dois receptores. Quando a sessão é iniciada uma das variáveis guarda a informação do tipo de utilizador, permitindo assim um acesso controlado ao conteúdo da página dependendo do tipo de utilizador.

Se o *Login* estiver efectuado a opção disponível na interface web é *Logout* e vice-versa. A página *Logout* permite ao utilizador, já registado, destruir a sua sessão ficando assim desabilitado no acesso aos conteúdos reservados.

Sempre que é efectuado o *Login* ou *Logout*, é escrito no ficheiro *loginfo.txt* informação do nome do utilizador, bem como a data e qual das acções foi efectuada. Um exemplo do ficheiro referido é:

➤ *pedro 04/03/2010 13:57:33 Login*  
*pedro 04/03/2010 22:52:23 Logout*

O ficheiro descrito é utilizado para consulta do administrador da estação, servindo para controlo de acesso e também como um dado estatístico.

### **3.6.2 Interacção com os receptores**

Um dos conteúdos desenvolvidos no módulo Interface Web permite enviar mensagens para os dois receptores de GPS da estação do IT. No portal, a página onde estão definidas as mensagens designa-se por *Receiver*.

Para que um utilizador consiga enviar mensagens para os receptores, tem que efectuar o *Login* como administrador, não estando os utilizadores do tipo geral autorizados a interagir com os receptores da estação.

Na página *Receiver* as mensagens encontram-se divididas em dois tipos como descrito no ponto 3.4.3, estando as mensagens disponíveis na interface web referidas no mesmo ponto. O administrador encontra primeiro uma descrição breve com os principais pontos de cada mensagem, podendo depois seleccionar uma das mensagens para envio. Seleccionada uma mensagem aparece um formulário em HTML onde terão que ser escolhidos os parâmetros que permitem definir a mensagem. Um dos parâmetros comuns a todas as mensagens, é a qual dos dois receptores se quer enviar a mensagem em causa. Na Figura 3.14 está o exemplo do formulário que o administrador teria que preencher para enviar a mensagem de inicialização.



This message allows authorized user to reset the receiver memory, and sets the serial port baud rate.

**Note:** The default value for baud rate of port A and B is 4800.

Select Receiver, port A/B baud rate, and memory reset code.

Select Receiver:

Select A baud rate:

Select B baud rate:

Select Memory reset code:

Figura 3.14 – Formulário HTML para o envio da mensagem de inicialização.

Quando o utilizador selecciona o envio da mensagem, o portal é remetido para o ficheiro *initialization.php* associado à mensagem em causa. Nesse ficheiro, recorrendo às funcionalidades da linguagem PHP é executado o programa referente à mensagem com os parâmetros seleccionados enviados como argumentos. Os programas, localizados na directoria */usr/local/apache2/htdocs*, estão referidos no ponto 3.4.3 e correspondem a executáveis construídos no módulo Interface Série. Por razões de segurança os ficheiros e programas no módulo Interface Web têm algumas restrições. Para que seja possível a execução dos programas desenvolvidos no módulo Interface Série a partir do módulo Interface Web, é necessário, após a compilação dos programas, mudar as permissões dos mesmos. Assim é fundamental que na linha de comandos sejam introduzidos os comandos:

- **chown root:root nome\_do\_programa**, que permite definir o proprietário do programa como o administrador;
- **chmod a+rx nome\_do\_programa**, para definir que todos os utilizadores podem executar o programa como se fossem o proprietário.

As mensagens do tipo 1 não retornam nenhuma resposta por parte do receptor. Após o envio da mensagem é escrito no portal a informação referente ao receptor escolhido. Se ocorrer algum erro nos programas desenvolvidos no módulo Interface Série esses são escritos também no portal, permitindo assim ao administrador detectar e resolver alguma situação anómala.

Nas mensagens do tipo 2 é retornada a informação pedida. No formulário HTML o único parâmetro que o administrador tem de escolher é o receptor. Após o envio da mensagem, o portal é colocado num momento de pausa de aproximadamente 3 segundos. Este tempo de espera deve-se ao facto de, no módulo Interface Web, a mensagem ter de ser enviada para o receptor escolhido, o receptor tem de responder e a respectiva resposta tem de ser escrita num ficheiro segundo um determinado formato. Os ficheiros gerados são colocados na directoria */usr/local/apache2/htdocs/site/upload/File*.

Na Figura 3.15 está representado o exemplo da resposta ao envio da mensagem com identificador PAR. O conteúdo do ficheiro é disponibilizado no portal com a informação do receptor seleccionado e o instante de tempo referente aos dados, bem como a opção de o utilizador efectuar o *download* do ficheiro.

The screenshot shows the 'GPS MONITORING STATION' web interface. At the top, there is a navigation menu with links for Home, Receiver, Satellite Data, Rinex, and Logout. The main content area displays a message received from a receiver connected to port 0. The message content is as follows:

```

Message sent to receiver connected to port 0
2010 03 16 14 31 31
PMD:4 FIX:0 PEM:05 PDP:06 HDP:04
DTM:W84 LTZ:000,00 SAV:Y
ANT:Y WAAS:N
USE:YYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYY
CDS:AUTO DIF_RTCM_MODE:OFF PRT:? AUT:Y MAX:0015
LAT:0000.000000,N LON:00000.000000,E ALI:00000.00
NMEA: ZDA GGA GLL GSA GSV MSG POS RMC SAT VTG ALM RRE UKO CRT XMG UTM MCA PBN
PRTA: 001 001 001 001 001 001
PRTB:
NMEA: SNV
PRTA: 001
PRTB:
PER:001 SPD: PORT A:9 PORT B:9

```

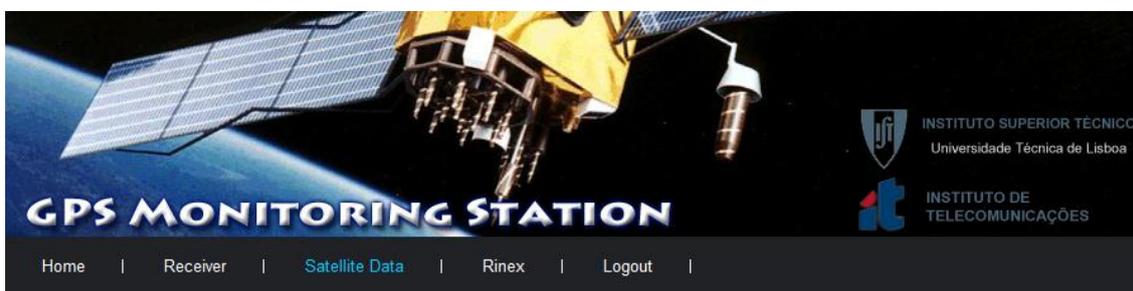
At the bottom of the message content, there is a blue hyperlink that reads: [Click here to download the file](#).

Figura 3.15 – Exemplo da resposta ao envio da mensagem PAR, no módulo Interface Web.

### 3.6.3 Dados dos satélites

Na página designada por *Satellite Data*, podem ser encontrados os dados gerados no programa “Figura com a posição dos satélites” do módulo Interface Série. Na Figura 3.16 está

representada a página inicial. O acesso a este conteúdo é permitido para utilizadores do tipo administrador e geral.



In this section the authorized user can view some data (described below) about the satellites-in-view.

- Total number of satellites in view

- 1-16

- Satellite PRN

- 1-32 for GPS

- 33-64 for SBAS

- Elevation in degrees

- 0-90

- Azimuth in degrees

- 0-359

- SNR in dB-Hz

- 30-60

[View current data](#)

Figura 3.16 – Página que permite aceder aos dados dos satélites visíveis.

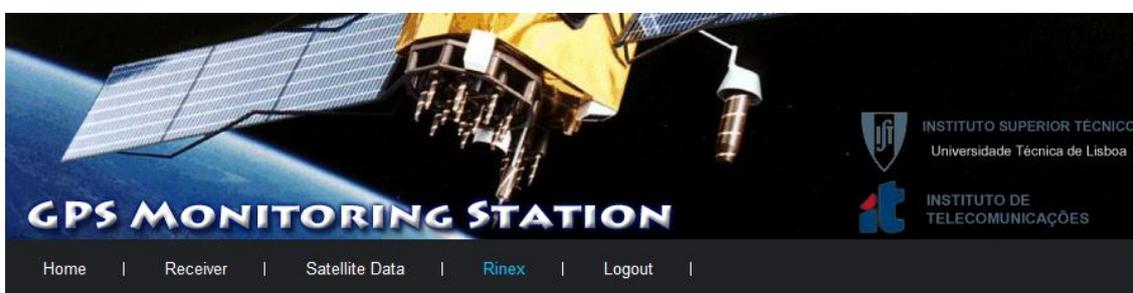
Na página são apresentadas as características que o utilizador encontra quando acede aos dados. Estes são apresentados na forma de uma figura com o azimute e elevação, em graus, dos satélites visíveis para a estação, e numa tabela onde para cada PRN de cada satélite é escrito o azimute, elevação e SNR. Na directoria `/usr/local/apache2/htdocs/site/SatelliteData` estão os ficheiros e as figuras obtidas com os dados dos dois receptores de GPS.

Quando o utilizador selecciona a opção para ver os dados, é necessário verificar se naquele preciso momento estes não estão a ser actualizados pelo módulo Interface Série. Recorrendo às funcionalidades da linguagem PHP, antes de disponibilizar os dados na página é executado um programa em C que espera que o semáforo, referido no ponto 3.4.7, fique “verde” e posteriormente coloca-o a “vermelho”. Depois de os dados serem disponibilizados é executado outro programa que coloca agora o semáforo a “verde”. Esta abordagem permite evitar erros, que apesar de improváveis iriam gerar na página resultados inesperados. Em todos os acessos ao conteúdo da página, e nos períodos de teste, nunca foi notado nenhum tempo de espera sendo o acesso aos dados praticamente instantâneo.

### 3.6.4 Ficheiros no formato Rinex

Uma outra página disponível na interface *web* tem os ficheiros no formato RINEX, gerados a partir de alguns dos programas descritos no módulo Interface Série. O acesso a este conteúdo é permitido para utilizadores do tipo administrador e geral.

O acesso aos ficheiros é realizado a partir da página com o nome *Rinex*, Figura 3.17. Na página são apresentados algumas características importantes dos receptores e que interferem nos dados guardados no ficheiro. É também referenciado o modo como os ficheiros estão guardados, informando assim o utilizador das várias pastas que terá que seleccionar para chegar aos dados. Sobre a directoria dos ficheiros, mais detalhes podem ser consultados no ponto 3.4.5. Os ficheiros RINEX estão guardados na directoria `/usr/local/apache2/htdocs/Rinex`.



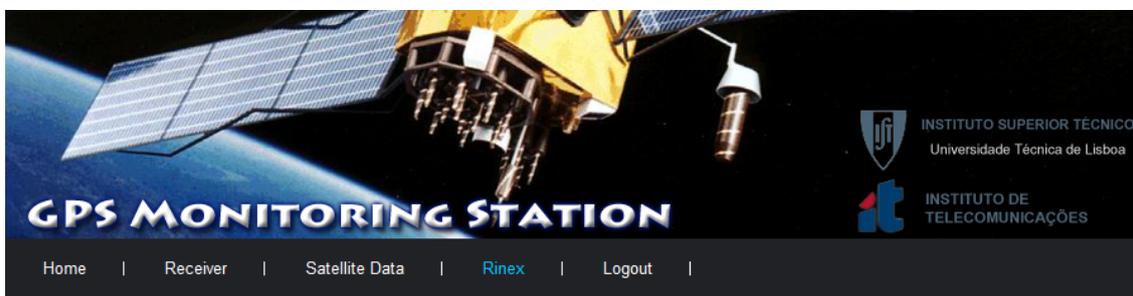
In this section the authorized user can view Rinex files version 3.00 format, obtained from the two receivers. At each hour, two types of files are generated: observation data and navigation data.

- [Frequency \(MHz\)](#)
  - L1 - 1575.42
- [Code](#)
  - C/A - Coarse/Acquisition
- [Interval data recorder](#)
  - 10 seconds
- [Directory of files](#)
  1. [Receiver](#)
    - Connected to port 0
    - Connected to port 1
  2. [Year](#)
  3. [Month](#)
  4. [Day](#)
  5. [Name of file](#) - ssssdddf.yyt
    - ssss → station name
    - ddd → day of the year of first record
    - f → sequence number (a-x hourly files)
    - yy → last two-digit year
    - t → file type (O=Observation, N=Navigation)

[Access to data](#)

Figura 3.17 – Página para acesso aos ficheiros no formato RINEX.

O utilizador quando selecciona o acesso aos dados, encontra primeiro a opção dos dois receptores, depois o ano, mês e dia. Na Figura 3.18 está apresentada a página que um utilizador encontra quando tenta aceder aos ficheiros de um determinado dia.



Index of Rinex/Receiver1/2010/March/15

[Parent Directory](#)

<a href="#">IT12074i.10N</a>	Last change: March 15 2010 09:00:00	Size: 24279 bytes
<a href="#">IT12074m.10O</a>	Last change: March 15 2010 13:00:00	Size: 274568 bytes
<a href="#">IT12074p.10N</a>	Last change: March 15 2010 16:00:00	Size: 8079 bytes
<a href="#">IT12074p.10O</a>	Last change: March 15 2010 16:00:00	Size: 242930 bytes
<a href="#">IT12074j.10N</a>	Last change: March 15 2010 10:00:00	Size: 18447 bytes
<a href="#">IT12074c.10N</a>	Last change: March 15 2010 03:00:00	Size: 21039 bytes
<a href="#">IT12074r.10O</a>	Last change: March 15 2010 18:00:00	Size: 257102 bytes
<a href="#">IT12074h.10O</a>	Last change: March 15 2010 08:00:00	Size: 301443 bytes
<a href="#">IT12074k.10O</a>	Last change: March 15 2010 11:00:00	Size: 238905 bytes
<a href="#">IT12074b.10N</a>	Last change: March 15 2010 02:00:00	Size: 12615 bytes
<a href="#">IT12074k.10N</a>	Last change: March 15 2010 11:00:00	Size: 24927 bytes
<a href="#">IT12074r.10N</a>	Last change: March 15 2010 18:00:00	Size: 10671 bytes
<a href="#">IT12074g.10O</a>	Last change: March 15 2010 07:00:00	Size: 311775 bytes
<a href="#">IT12074q.10O</a>	Last change: March 15 2010 17:00:00	Size: 231593 bytes
<a href="#">IT12074j.10O</a>	Last change: March 15 2010 10:00:01	Size: 235782 bytes
<a href="#">IT12074l.10N</a>	Last change: March 15 2010 12:00:00	Size: 18447 bytes
<a href="#">IT12074d.10N</a>	Last change: March 15 2010 04:00:00	Size: 15207 bytes
<a href="#">IT12074f.10O</a>	Last change: March 15 2010 06:00:00	Size: 284237 bytes
<a href="#">IT12074o.10O</a>	Last change: March 15 2010 15:00:00	Size: 109388 bytes
<a href="#">IT12074e.10N</a>	Last change: March 15 2010 05:00:00	Size: 21687 bytes
<a href="#">IT12074f.10N</a>	Last change: March 15 2010 06:00:00	Size: 18447 bytes
<a href="#">IT12074q.10N</a>	Last change: March 15 2010 17:00:00	Size: 15207 bytes
<a href="#">IT12074n.10O</a>	Last change: March 15 2010 14:00:00	Size: 288836 bytes
<a href="#">IT12074b.10O</a>	Last change: March 15 2010 02:00:00	Size: 269277 bytes
<a href="#">IT12074e.10O</a>	Last change: March 15 2010 05:00:00	Size: 289246 bytes
<a href="#">IT12074n.10N</a>	Last change: March 15 2010 14:00:00	Size: 19743 bytes
<a href="#">IT12074a.10O</a>	Last change: March 15 2010 01:00:00	Size: 270172 bytes
<a href="#">IT12074h.10N</a>	Last change: March 15 2010 08:00:00	Size: 17799 bytes

Figura 3.18 – Página com os ficheiros RINEX referentes a um determinado dia.

Para além de serem apresentados os ficheiros, é escrito na página o tempo referente à sua criação, bem como o tamanho em bytes. O utilizador ao seleccionar um ficheiro tem a opção de o abrir ou efectuar o respectivo *download*.

### **3.7 Manual de instruções**

Para uma completa compreensão do trabalho desenvolvido, é fundamental acompanhar este relatório com um manual de instruções. O manual contém os nomes e as respectivas directorias dos programas referidos ao longo do capítulo 3. Está escrito na forma de administrador dado que relaciona-se com o *software* base desenvolvido, contendo também directorias onde estão localizados ficheiros importantes, por exemplo o ficheiro de configuração do servidor *web*.

O manual de instruções encontra-se no Anexo D permitindo a futuros utilizadores tirarem partido das funcionalidades e aplicações desenvolvidas. Está dividido nos três módulos descritos no presente capítulo de modo a facilitar a sua compreensão. São referenciados os comandos necessários para introduzir na linha de comandos, de modo a iniciar o respectivo programa, bem como as respectivas directorias.

Com o intuito do trabalho ser o mais universal possível, o manual de instruções está redigido em língua inglesa.

## 4 Resultados e Testes

### 4.1 Introdução

Neste capítulo vão ser abordados os principais resultados obtidos com o projecto. Serão também referidos alguns testes efectuados e algumas das consequências resultantes.

Em termos globais, a implementação da estação de monitorização de GPS do IT permite a obtenção dos dados relacionados com o sistema GPS. A estação desenvolvida têm à disposição de futuros utilizadores, programas para aquisição dos parâmetros mais importantes desenvolvidos no trabalho. O desenvolvimento de uma interface *web* dá uma maior universalidade ao projecto desenvolvido, integrando o trabalho implementado numa forma de acesso simples e universal.

Este capítulo está dividido nos três módulos descritos no capítulo 3. Em cada um serão apresentados os resultados mais relevantes, bem como os testes efectuados.

### 4.2 Interface Série

- **Comunicação entre processos**

O bloco principal da estação é o módulo Interface Série. O primeiro resultado importante a considerar é a divisão das várias funções do programa global em vários processos cada um com um objectivo final diferente. Isto permite diminuir significativamente a complexidade global. São usados dois receptores de GPS para a aquisição de dados, podendo o administrador da estação fazer uso dos dois receptores ou apenas de um. O *software* desenvolvido foi testado durante mais de dois meses, dependendo o tempo total de operação da memória do computador onde o programa está a correr.

A estrutura descrita no ponto 3.3 que permite a comunicação entre os vários processos, tem alguma complexidade. Os testes realizados, durante a fase inicial de desenvolvimento, tiveram sempre os resultados esperados. No programa final verifica-se que não existe nenhuma dessincronização entre os vários processos, conseguindo com a estrutura implementada que vários processos efectuem a leitura dos dados enquanto estes são escritos nos segmentos de memória partilhada. Esta estrutura, apesar de possuir alguma complexidade, permite aumentar a eficiência do programa. A estrutura dos semáforos permite monitorizar o acesso a um recurso comum entre processos diferentes. Sejam segmentos de memória partilhada, sejam ficheiros a estrutura implementada cumpriu sempre com os objectivos propostos. A estrutura desenvolvida permite também que, independentemente do processo que criou o semáforo ser finalizado,

outros processos continuem a ter à sua disposição o semáforo e o respectivo segmento de memória (se existir), pois estes são removidos pelo último programa que os utiliza.

- **Programa “Antena”**

Um dos programas desenvolvidos destaca-se, não pela sua complexidade, mas pelo seu objectivo final. O programa “Antena”, descrito no ponto 3.4.2, possibilita que as duas antenas de GPS da estação do IT sejam, no futuro, colocadas numa outra posição sem ser necessário alterar os programas que fazem uso dessa informação. Para que os resultados gerados continuem a ser os esperados o administrador tem apenas de iniciar o programa “Antena” e na caixa de diálogo realizar as alterações necessárias.

- **Ficheiros RINEX**

No módulo Interface Série são gerados por hora quatro ficheiros no formato RINEX, dois por cada receptor de GPS. Existem dois tipos de ficheiro, um de navegação com as efemérides e outro de observação que inclui o *pseudo-range*, fase da portadora, efeito de Doppler, SNR e canal do receptor para cada satélite ligado ao receptor em causa. Na Figura 4.1 está apresentado uma parte de um ficheiro RINEX de navegação. No ficheiro estão as efemérides de três satélites com PRN 2, 3 e 4. O cabeçalho do ficheiro tem apenas a identificação do formato RINEX e a data correspondente à sua criação.

3.00	N	G	RINEX VERSION / TYPE	
G = GPS			COMMENT	
ITRINEXN	ISTIT	20100309 190000 UTC	PGM /	RUN BY / DATE
END OF HEADER				
G02 2010 03 09 18 00 00	.234582927078D-03	.386535248253D-11	.000000000000D+01	
.290000000000D+02	.136875000000D+02	.537129496436D-08	.825881912337D+00	
.694766640663D-06	.940706476104D-02	.619702041149D-05	.515378135300D+04	
.237600000000D+06	.126659870148D-06	.732424134005D+00	.689178705215D-07	
.940251556017D+00	.248125000000D+03	.298332486284D+01	-.839963565369D-08	
-.285726182297D-10		.157400000000D+04		
.200000000000D+01	.000000000000D+01	-.172294676304D-07	.290000000000D+02	
.999900000000D+09	.400000000000D+01			
G03 2010 03 09 12 00 00	.525780022144D-03	.511590769747D-11	.000000000000D+01	
.630000000000D+02	-.222187500000D+02	.525879029212D-08	-.245344573653D+01	
-.133179128170D-05	.128735649632D-01	.897981226444D-05	.515369769859D+04	
.216000000000D+06	.150874257088D-06	-.418347069720D+00	-.894069671631D-07	
.927301418969D+00	.185125000000D+03	.983234481057D+00	-.810855205202D-08	
.378230030629D-09		.157400000000D+04		
.282842712475D+01	.000000000000D+01	-.419095158577D-08	.630000000000D+02	
.999900000000D+09	.400000000000D+01			
G04 2010 03 09 18 00 00	.327755697072D-04	.886757334229D-11	.000000000000D+01	
.670000000000D+02	.144062500000D+02	.533486499421D-08	-.243811338807D+01	
.510364770889D-06	.911357533187D-02	.651367008686D-05	.515364491463D+04	
.237600000000D+06	.102445483208D-06	.750393009018D+00	-.208616256714D-06	
.939390258609D+00	.242125000000D+03	.599345460687D+00	-.830748891900D-08	
.108933105591D-09		.157400000000D+04		
.200000000000D+01	.000000000000D+01	-.605359673500D-08	.670000000000D+02	
.999900000000D+09	.400000000000D+01			

Figura 4.1 – Exemplo de uma parte do ficheiro RINEX de navegação.

Algumas conclusões se podem retirar por observação dos ficheiros de navegação. Uma primeira conclusão é o número total de satélites que fazem parte da actual constelação GPS, que é cerca de 30 satélites. Uma outra conclusão é o valor do PRN dos satélites que estão activos. Todos os satélites são identificados pelo seu PRN, que varia de 1 a 32. Na constelação actual de satélites os únicos que não se encontram activos são os satélites com PRN 1 e 25. Estas conclusões foram obtidas após algumas horas de processamento.

Na Figura 4.2 está apresentado uma parte do ficheiro RINEX de observação.

3.00						O	G	RINEX VERSION / TYPE		
G = GPS								COMMENT		
ITRINEXO		ISTIT		20100309		190000 UTC		PGM / RUN BY / DATE		
IT12								MARKER NAME		
IT12								MARKER NUMBER		
IT		ISTIT						OBSERVER / AGENCY		
111050		AC12		SENSOR				REC # / TYPE / VERS		
531L1		NovAtel						ANT # / TYPE		
4918533.3200		-791212.5720		3969758.4510				APPROX POSITION XYZ		
0.0000		0.0000		0.0000				ANTENNA: DELTA H/E/N		
G		5 C1C L1C D1C S1C X0						SYS / # / OBS TYPES		
C=Pseudorange L=Phase D=Doppler S=S/N X=Receiver Channel								COMMENT		
1=L1 C=C code-based								COMMENT		
C:meters L:full cycles D:Hz								COMMENT		
DBHZ								SIGNAL STRENGTH UNIT		
S/N given in dbHz								COMMENT		
10.000								INTERVAL		
2010		03		09		18 00		11.0000000	GPS	TIME OF FIRST OBS
2010		03		09		18 59		53.0000000	GPS	TIME OF LAST OBS
11								# OF SATELLITES		
G02		13		13		13 13		13	PRN / # OF OBS	
G05		336		336		336 336		336	PRN / # OF OBS	
G08		353		353		353 353		353	PRN / # OF OBS	
G09		357		357		357 357		357	PRN / # OF OBS	
G10		359		359		359 359		359	PRN / # OF OBS	
G15		347		347		347 347		347	PRN / # OF OBS	
G18		256		256		256 256		256	PRN / # OF OBS	
G21		350		350		350 350		350	PRN / # OF OBS	
G24		341		341		341 341		341	PRN / # OF OBS	
G27		344		344		344 344		344	PRN / # OF OBS	
G28		359		359		359 359		359	PRN / # OF OBS	
								END OF HEADER		
> 2010 03 09 18 00								11.0000000	0 10	
G28		22198159.468		108665818.059				-351.786	54.000	11.000
G10		21755926.625		91228702.876				2744.002	55.000	10.000
G02		24961868.257		146406658.903				3336.088	40.000	9.000
G09		23837239.623		120184325.923				-3528.141	46.000	8.000
G08		22229209.059		93558972.294				2625.488	51.000	6.000
G21		24600813.635		123186084.350				-1345.149	44.000	5.000
G15		21481748.676		101836095.663				-1692.262	55.000	4.000
G27		22760148.927		118023450.776				-2352.778	50.000	3.000
G24		23748240.985		117953169.948				-357.616	46.000	2.000
G05		20531736.629		87505882.086				1374.965	56.000	1.000
> 2010 03 09 18 00								21.0000000	0 10	
G28		22197496.906		108662331.522				-347.008	54.000	11.000
G10		21761152.614		91256164.673				2746.889	55.000	10.000
G02		24968214.250		146440015.119				3333.646	40.000	9.000
G09		23830524.258		120149056.208				-3527.266	46.000	8.000
G08		22234208.661		93585241.758				2626.944	51.000	6.000
G21		24598252.797		123172662.059				-1340.817	44.000	5.000
G15		21478530.494		101819185.043				-1691.314	55.000	4.000
G27		22755672.537		117999941.515				-2350.564	50.000	3.000
G24		23747564.761		117949625.146				-352.819	46.000	2.000
G05		20534359.012		87519662.803				1379.703	56.000	1.000

Figura 4.2 – Exemplo de uma parte do ficheiro RINEX de observação.

O ficheiro de observação tem um cabeçalho muito mais complexo que o ficheiro de navegação. Entre outros parâmetros contém o número total de satélites para os quais existem observações no ficheiro, o número de observações para cada satélite em particular, a data para a primeira e

última observação registada, e o intervalo entre cada observação. Na Figura 4.2 estão apenas duas épocas com um intervalo de 10 segundos. Em cada época são registados os dados referidos anteriormente, para cada um dos satélites.

- **Posição dos satélites, azimute e elevação**

Com o programa “Posição dos satélites”, descrito no ponto 3.4.6, os utilizadores da estação têm acesso à posição dos satélites da constelação de GPS na forma de coordenadas cartesianas. Os dados estão disponíveis num ficheiro e também num segmento de memória partilhada. Nos resultados do programa obtém-se também a posição de satélites que não estão em linha de vista com as antenas de GPS da estação. Este facto é devido às efemérides terem um determinado tempo de validade, superior a uma hora, e por estarem guardadas em segmentos de memória estão disponíveis no programa para o cálculo da posição do respectivo satélite. No programa “Azimute e elevação” é calculado, para cada satélite considerado no programa anterior, o azimute e elevação com casas decimais, conseguindo-se uma maior precisão relativamente aos dados enviados pelo receptor. Os resultados obtidos permitem validar alguns algoritmos e pós-processamento. A mensagem enviada pelo receptor com identificador GSV, inclui o azimute e elevação dos satélites em linha de vista com a antena de GPS. Comparando os valores calculados com aqueles que são enviados pelo receptor, verificou-se eram bastante próximos (centímetros). Esta conclusão permite validar a descodificação das efemérides enviadas pelo receptor, o algoritmo usado no cálculo da posição dos satélites e o algoritmo utilizado na estimativa da elevação e azimute dos satélites.

- **Figura com a posição dos satélites**

O programa “Figura com a posição dos satélites” permite aos utilizadores da estação visualizar a posição dos satélites visíveis às duas antenas de GPS, actualizada de 4 em 4 minutos. Esta posição é traduzida em termos de azimute e elevação em graus.

O programa foi testado durante vários dias, sem nenhuma interrupção. Ao fim de cinco dias ocorreu um erro no Matlab, a partir do qual não se verificou qualquer anomalia na programação efectuada. Devido ao facto da suspeita recair num erro dentro do próprio Matlab, foi necessário desenvolver um processo que monitorize o funcionamento deste programa. No processo implementado foi utilizado um semáforo para sincronizar a leitura e escrita num segmento de memória partilhada. Este segmento é apenas uma variável, em que o seu valor indica ao processo de monitorização se o Matlab está a correr ou não. Se esta variável indicar que o Matlab está em funcionamento o processo de monitorização espera um determinado tempo que é dependente do tempo médio que demora a obtenção da figura. Ao fim desse tempo, o processo que monitoriza o Matlab lê o valor que está no segmento de memória partilhada. Se esse valor for o mesmo significa que ocorreu alguma anomalia dentro do Matlab. Nessa

situação o processo de monitorização envia o sinal de “kill” ao Matlab, voltando a correr o programa em linguagem C no ponto a seguir à execução do Matlab.

Na Figura 4.3 está representado um exemplo do resultado obtido com o programa e que é disponibilizado no módulo Interface Web.

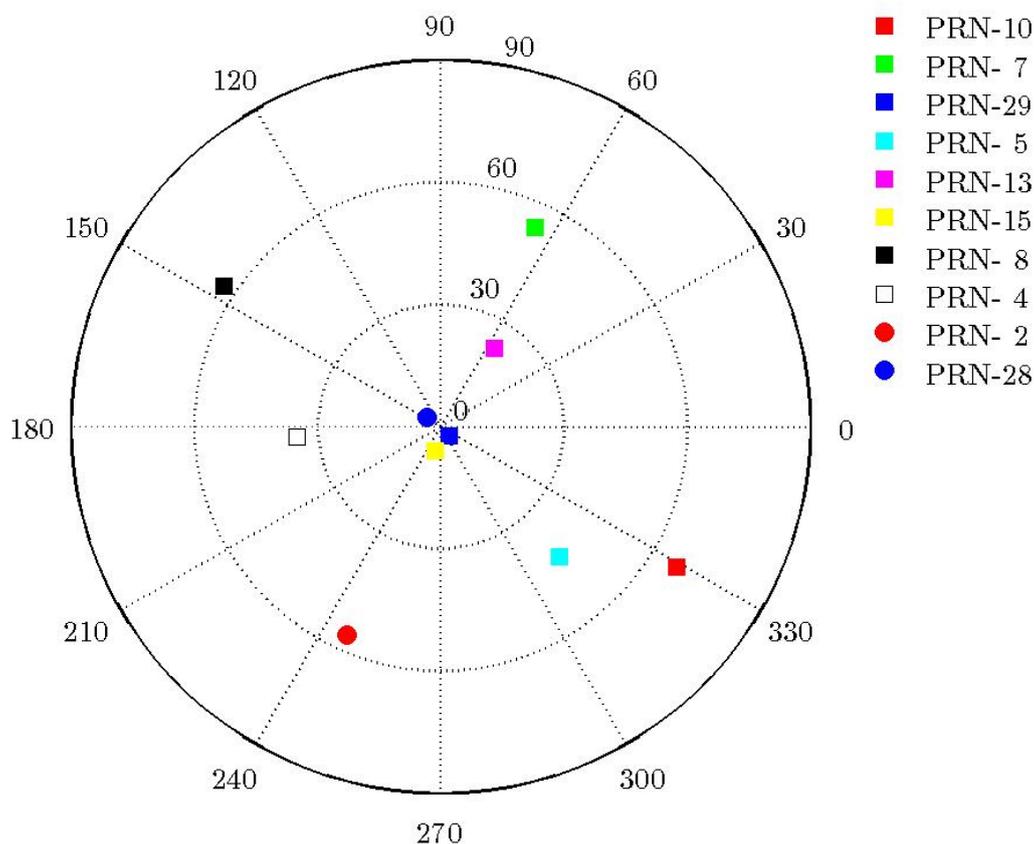


Figura 4.3 – Azimute e elevação em graus dos satélites visíveis a uma das antenas.

- **Correcções diferenciais**

Relativamente ao programa “Gerar correcções diferenciais”, algumas conclusões importantes podem-se retirar a partir do processamento realizado. No algoritmo aplicado no cálculo da posição da antena, numa situação autónoma, ou seja sem introduzir correcções diferenciais, o resultado obtido teve um erro médio de 3,3 metros e um desvio padrão de 1,6 metros. Este erro diz respeito a 12000 observações realizadas, e representa a distância entre a posição obtida com o algoritmo descrito no ponto 3.4.8 (sem aplicar correcções diferenciais) e a posição “exacta” da antena em questão. Esta posição “exacta” é obtida recorrendo aos ficheiros descritos no ponto 3.4.2. O valor obtido é o esperado, dado que não foi introduzida a correcção da ionosfera devido ao facto de o receptor não possuir as características necessárias para o

seu cálculo. Fica assim validado todo o processamento realizado para calcular a posição da antena.

Ao mesmo tempo que o cálculo da posição da antena é realizado, verifica-se que as correções introduzidas, no valor do *pseudo-range* medido pelo receptor, têm grande influência no resultado obtido. As correções feitas dizem respeito ao erro do relógio dos satélites e ao atraso provocado pela propagação do sinal na troposfera. Se o erro do relógio dos satélites não for aplicado o processo que é iterativo, nunca chega a atingir a precisão requerida de 1 mm. Aplicando o erro do relógio dos satélites, mas não aplicando o erro provocado pela troposfera o resultado final, ou seja a distância entre a posição calculada da antena e a posição “exacta”, tem um erro compreendido entre 30 a 35 metros. Verifica-se assim que é essencial introduzir no algoritmo correções que permitam anular alguns dos erros inerentes ao sistema GPS.

Relativamente às correções diferenciais obtidas com o programa “Gerar correções diferenciais”, os resultados conseguidos não permitiram melhorar o erro de 3,3 metros correspondente à situação autónoma. Devido ao facto de as antenas estarem localizadas numa posição próxima, os erros inerentes ao sistema GPS são, à partida, semelhantes entre uma antena e outra, sendo expectável que as correções diferenciais melhorassem a precisão no cálculo da posição da antena. Apesar de não serem os resultados mais eficientes, o *software* desenvolvido é um bom ponto de partida para futuros trabalhos na área de DGPS.

De modo a tentar ultrapassar o problema e tornar os resultados mais eficientes foram realizados vários testes, não tendo os seus resultados conseguido uma melhoria significativa nas correções diferenciais e no respectivo erro associado.

O teste realizado consistiu em transformar os dois receptores de GPS da estação como receptores de referência, ou seja ambos os receptores geram correções diferenciais. Assim, comparando os diversos valores durante o processamento estes têm de ser significativamente próximos. O primeiro dado recolhido foi o erro provocado pela troposfera na influência da propagação do sinal do satélite até ao receptor. Comparando os dados de um receptor e de outro estes são muito próximos verificando-se uma precisão superior a três casas decimais. Com esta conclusão exclui-se algum problema no cálculo do erro associado à troposfera.

Outra comparação realizada foi a posição dos satélites calculada pelos dois receptores. Sendo este um parâmetro importante na geração das correções diferenciais era fundamental comparar os dois resultados obtidos. Os valores foram guardados num ficheiro, tendo sido calculada a distância entre as posições dos satélites obtidas com o receptor ligado à porta série 0 e o receptor ligado à porta série 1. O valor da distância tem que ser significativamente pequeno dado que a posição de cada satélite é independente do receptor. Na Figura 4.4 está representada a evolução da distância, em metros, para um determinado satélite. Foram realizadas 50 observações verificando-se um comportamento semelhante para mais

observações. Na Figura 4.4 está apenas a representação para um determinado satélite verificando-se uma analogia com os restantes.

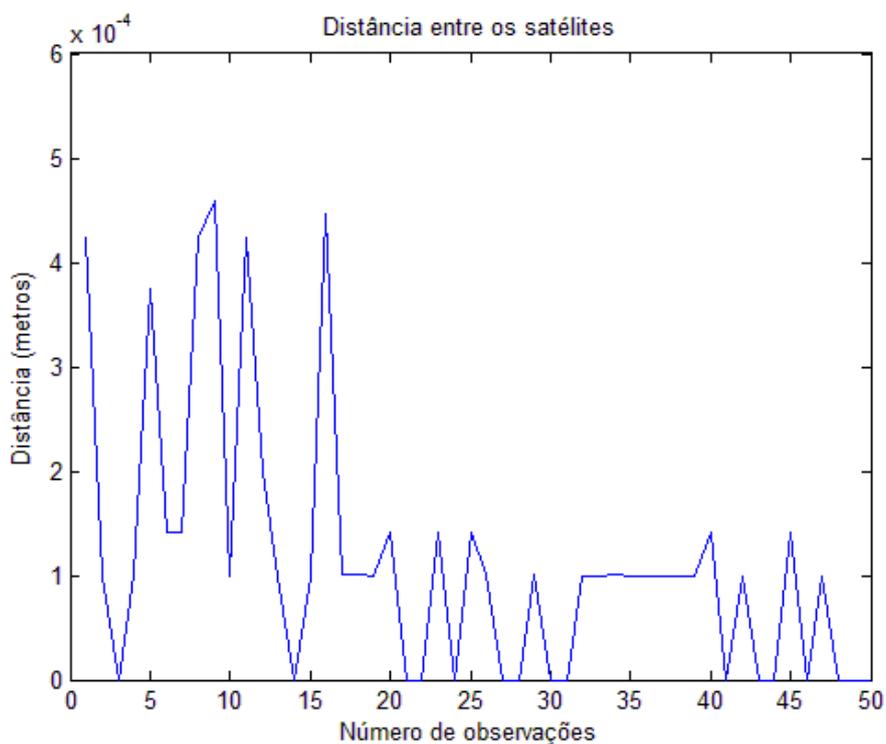


Figura 4.4 – Distância entre um dado satélite, calculado com recurso aos dois receptores.

Pela observação da Figura 4.4 verifica-se que a distância entre a posição de um determinado satélite calculada com um dos receptores e a posição calculada com o outro receptor tem uma ordem de grandeza de 0,0001 metros. Esta conclusão permite excluir também a hipótese de erro na estimativa das posições dos satélites no instante de transmissão do sinal.

Um outro parâmetro importante no cálculo das correcções diferenciais é o *pseudo-range* medido por cada um dos receptores. Na medição deste *pseudo-range* está incluído o erro do relógio de cada um dos receptores. De modo a possibilitar uma generalização na analogia entre as duas medições foi adquirido o *pseudo-range* dos satélites, sendo subtraído o erro do relógio do receptor em causa e que pode ser obtido como descrito no ponto 3.4.8. Com esta subtracção obtém-se a distância entre o receptor em causa e cada um dos satélites sem incluir o erro do relógio que é dependente do receptor. Tem-se assim dois conjuntos de dados, um por receptor. É importante agora verificar qual a diferença entre os dois dados obtidos com recurso aos dois receptores. É de esperar que exista alguma diferença, dado que as duas antenas não estão localizadas na mesma posição, e por isso a distância para um mesmo satélite terá de ser diferente. Na Figura 4.5 está apresentada a evolução dessa diferença em metros, realizada para um conjunto de 50 observações.

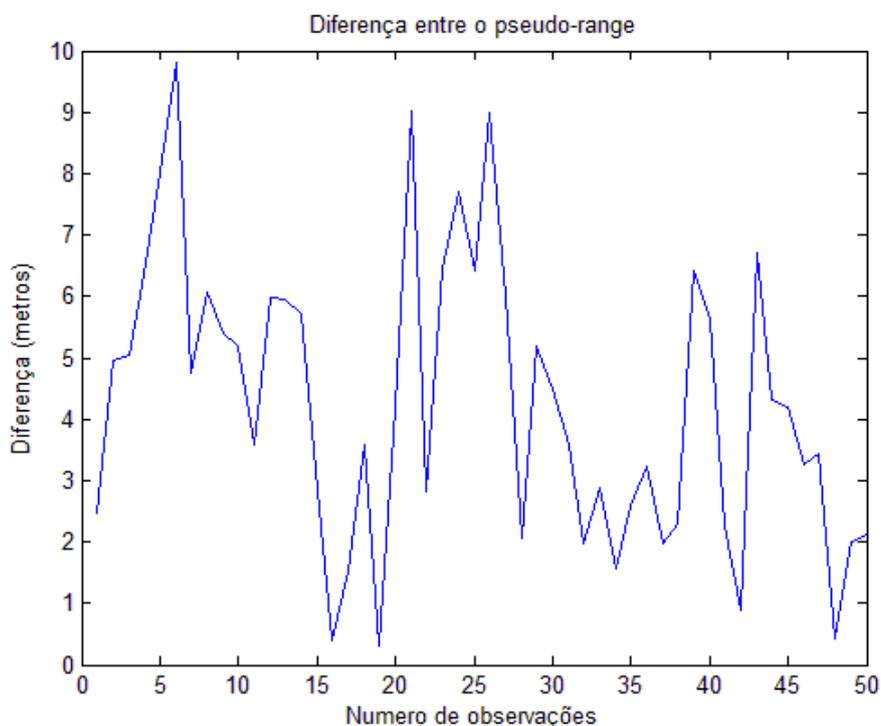


Figura 4.5 – Diferença entre o *pseudo-range*, calculado com recurso aos dois receptores.

Os dados da Figura 4.5 são referentes a um determinado satélite, verificando-se um comportamento semelhante com os restantes satélites. Pela observação da Figura 4.5 verifica-se que a diferença entre os dados dos dois receptores referentes ao *pseudo-range*, sofre algumas oscilações tomando em alguns casos valores maiores ao que seria de esperar. Das 50 observações realizadas, a média obtida foi de 4,2 metros, sendo um valor razoável, tendo em conta a distância que separa as duas antenas. Com os resultados da Figura 4.5, pode-se admitir que a eficiência das correcções diferenciais poderia ser influenciada pelo melhoramento destes resultados. Uma solução possível que podia melhorar os resultados da Figura 4.5, era a utilização de um filtro de Kalman. Este filtro resulta de uma técnica matemática para combinar e suavizar uma sequência de soluções de navegação, com o objectivo de obter uma melhor estimativa real do valor considerado. Esta solução não foi testada no algoritmo usado, contudo deixa-se aqui como uma possível solução.

Os testes realizados concluíram-se com a análise do resultado final, obtido com o processamento dos dois receptores. Este resultado traduz as correcções diferenciais calculadas considerando o receptor ligado à porta série 0 como referência e o receptor ligado à porta série 1 também como referência. Para que as correcções diferenciais geradas fossem ideais a comparação dos dois conjuntos de dados teria de ter uma diferença de zero metros. Assim, no programa “Gerar correcções diferenciais” o erro obtido no valor de UDRE seria zero. Esta diferença, de zero metros, é apenas um valor ideal, verificando-se que na prática nunca é

atingida esta precisão. A eficácia das correções diferenciais é traduzida pela diferença dos dois conjuntos de dados, e quanto menor for essa diferença melhor os resultados obtidos. Foi assim realizada a aquisição das correções diferenciais, obtidas com recurso aos dois receptores. Foram consideradas 50 observações, verificando-se um comportamento semelhante para as restantes observações. Para cada satélite considerado no algoritmo existe duas correções diferenciais, uma por cada receptor. Na Figura 4.6 está apresentada a diferença entre as correções diferenciais obtidas com os dois receptores para um determinado satélite. Para os restantes satélites o comportamento é análogo.

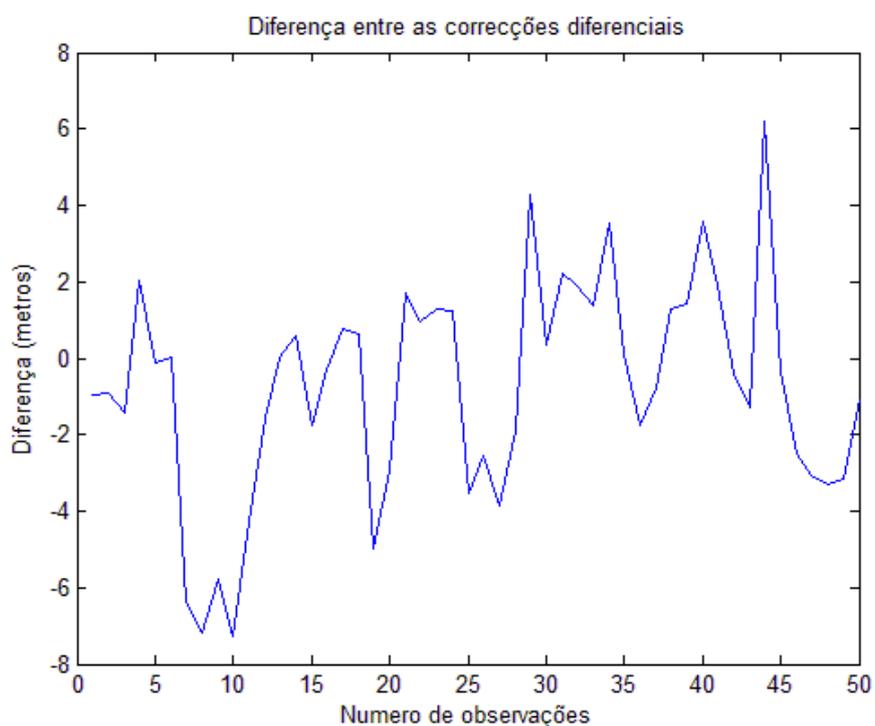


Figura 4.6 – Diferença entre as correções diferenciais, com recurso aos dois receptores.

Pela observação da Figura 4.6 verifica-se a existência de oscilações com uma elevada amplitude. O valor médio das 50 observações realizadas, em módulo, é cerca de 2,3 metros. O valor médio resultante é razoável, contudo as grandes oscilações traduzem no UDRE um valor médio superior. O resultado ideal seria uma variação mais pequena com um valor médio próximo dos zero metros, obtendo-se assim uma boa eficácia com o uso das correções diferenciais.

O valor da variável UDRE obtida com o programa “Gerar correções diferenciais”, para um número de observações de 12000 teve um valor médio de 4,3 metros e um desvio padrão de 2,3 metros.

Com todos os testes realizados e com os respectivos resultados, uma solução possível de melhorar os resultados seria a utilização de um filtro de Kalman. Apesar das correcções diferenciais calculadas não terem permitido melhorar a precisão, todo o algoritmo é um bom ponto de partida em futuros desenvolvimentos na área de DGPS.

O ficheiro RTCM obtido no programa “Gerar correcções diferenciais” não foi testado em nenhum receptor, não podendo ser por isso validado.

### **4.3 Interface “user-friendly”**

Os múltiplos programas desenvolvidos com este módulo são úteis para os utilizadores da estação obterem dados de GPS. Cada programa permite a aquisição de dados com uma característica em particular. Estes programas têm que ser usados a partir da linha de comandos, e requerem um conhecimento por parte do utilizador, da estrutura utilizada nos segmentos de memória partilhada. Um dos resultados importantes conseguido com os programas é a facilidade de os utilizadores interagirem com grande parte do módulo Interface Série, apenas no sentido de obter dados. Os dados adquiridos com os programas são guardados numa variável ficando à escolha do utilizador o que fazer a seguir.

Todos os programas foram testados e a aquisição dos dados realizada em ciclos de 1 segundo. Foi testado também o mesmo programa a correr em dois processos distintos um por cada receptor de GPS da estação, obtendo-se os resultados esperados.

### **4.4 Interface Web**

O último módulo da estação permite a utilizadores autorizados terem à sua disposição, numa interface web, alguns dos resultados produzidos com o módulo Interface Série. Estão definidos dois tipos de utilizadores autorizados, administrador e geral, restringindo o acesso aos dados, principalmente a interacção com os receptores de GPS da estação.

Uma das mais valias conseguidas com esta interface é a possibilidade do administrador, em qualquer parte do globo, interagir com os dois receptores da estação enviando para este determinadas mensagens. Foi enviado para os dois receptores, cada uma das mensagens pertencentes ao primeiro tipo tendo-se obtido os resultados esperados. Para confirmar os resultados, foi utilizada a mensagem com identificador PAR que permitiu verificar se os parâmetros definidos pelo administrador na mensagem do primeiro tipo, tinham sido alterados.

Nas mensagens do segundo tipo, que implicam uma resposta por parte do receptor, verificou-se a existência de um problema na situação da mensagem com identificador PAR. Como referido no ponto 2.2.1, o formato da mensagem é completamente diferente das restantes não

possuindo qualquer cabeçalho de início nem terminador. Nas situações em que se verifica uma dessincronização no envio de mensagens por parte do receptor, se esta mensagem for a última acontece que ficará “partida ao meio”. Dado que não existe nenhuma referência para início nem fim da mensagem os dados ficam incompletos, sendo visualizada na interface web uma mensagem que indica a falta de dados. Nesta situação o administrador terá de reenviar a mensagem novamente.

Um outro aspecto importante desenvolvido nesta interface, foi a disponibilização da Figura 4.3 juntamente com uma tabela, onde os dados se encontram mais detalhados. É possível para o utilizador autorizado, visualizar a posição dos satélites em linha de vista com cada uma das duas antenas da estação do IT. Os dados são actualizados de 4 em 4 minutos. Poderia ter-se diminuído este tempo, mas tal não se verificou essencial dado que a variação da posição dos satélites num intervalo de 4 minutos não é significativa (em termos de visualização).

A disponibilização de dados importantes num formato padrão conhecido como RINEX, possibilita o *download* de determinados parâmetros obtidos com os receptores sem ser necessário aos utilizadores conhecerem o formato específico usado nos receptores. A organização dos ficheiros, segundo várias directorias, dá a oportunidade ao utilizador de facilmente adquirir dados num determinado mês em particular, ou mais especificamente num determinado dia.

## 5 Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

### 5.1 Conclusões

O GPS é hoje um sistema em pleno funcionamento e com múltiplas aplicações. O objectivo do presente trabalho traduziu-se na implementação e desenvolvimento de uma estação de monitorização de GPS, incidindo fundamentalmente na interacção com dois receptores de GPS, processamento de dados e disponibilização dos mesmos.

Inicialmente é feita uma caracterização de conceitos essenciais relacionados com GPS, bem como uma descrição de formatos universais, tais como NMEA, RTCM e RINEX. Foi realizada a caracterização do equipamento que constitui a estação de monitorização e que consiste em dois receptores e duas antenas de GPS e um computador. É através do computador que é feita a interacção com os dois receptores, tendo sido desenvolvido para tal, *software* de raiz.

O trabalho foi dividido em dois grandes módulos. O primeiro módulo, desenvolvido em linguagem C, realiza a aquisição dos dados bem como o seu processamento e disponibilização. O segundo módulo permite a interacção com os dois receptores e a visualização de determinados resultados de uma forma simples e universal.

Relativamente ao primeiro módulo, este foi desenvolvido recorrendo a segmentos de memória partilhada sincronizados com recurso a semáforos, devido ao facto do módulo estar dividido em múltiplos programas. Com esta forma de IPC é possível disponibilizar resultados construídos num determinado programa num outro, dividindo assim as funções do trabalho global em vários programas. O primeiro módulo foi considerado em duas partes distintas. A primeira representa a base da estação de monitorização do IT, onde foi feita a interacção directa com os dois receptores, descodificação dos dados e a aplicação de diversos algoritmos. A segunda parte resulta de objectivos futuros, sendo útil para futuros utilizadores da estação adquirirem dados enviados pelos receptores mas já guardados na memória do computador, evitando-se toda a componente de interacção com os receptores.

O segundo módulo consistiu no desenvolvimento de uma interface *web*, com algumas das funcionalidades desenvolvidas no primeiro módulo. O acesso à página foi condicionado a utilizadores autorizados. Com esta interface qualquer utilizador, com permissão, pode em qualquer lugar do globo tirar partido do projecto desenvolvido. Este portal permite aumentar a visibilidade do trabalho desenvolvido, integrando alguns dos resultados obtidos.

De todos os resultados desenvolvidos no projecto, os mais relevantes são:

- **aquisição de dados dos dois receptores de GPS:** a estação de monitorização realiza a aquisição de dados dos dois receptores e a sua respectiva descodificação;

- **envio de mensagens para os receptores:** o administrador da estação tem a possibilidade de enviar determinadas mensagens para os receptores requisitando o envio de determinada informação, ou a alteração de alguns parâmetros. Esta interação pode ser realizada através da linha de comandos, executando os programas específicos para tal, ou pela interface web possibilitando o controlo remoto dos receptores;
- **posição dos satélites:** através do processamento de dados enviados pelo receptor, é calculada a posição dos satélites, presentes na constelação, em coordenadas cartesianas sendo depois transformada em elevação e azimute;
- **visualização da posição dos satélites:** através da ferramenta Matlab, é construída uma figura com a posição dos satélites em linha de vista com a antena em causa. Esta figura é actualizada com um período de 4 minutos, estando disponível na interface web;
- **ficheiros Rinex:** obtenção dos ficheiros de navegação e observação no formato Rinex, disponíveis para *download* na interface web;
- **correções diferenciais:** os resultados obtidos numa situação autónoma, ou seja não introduzindo correções diferenciais, foram os esperados permitindo assim validar a aplicação de todo o algoritmo usado. Os resultados obtidos com o processamento de correções diferenciais não permitiram melhorar os valores conseguidos numa situação autónoma. Contudo, representam um bom ponto de partida para futuros desenvolvimentos nesta área;
- **interface para futuros utilizadores:** a disponibilização de programas, específicos, para que futuros utilizadores da estação possam adquirir determinados dados de uma forma simples e sem ser necessário o conhecimento em detalhe do *software* implementado.

Do projecto desenvolvido resulta uma plataforma, que para além de produzir diversos resultados, tem uma interface simples para futuros utilizadores. A localização das duas antenas de GPS da estação traz vantagens em futuros desenvolvimentos. Devido ao facto de estarem localizadas no topo da Torre Norte do IST, é possível diminuir a interferência multi-percurso, e o número de satélites em linha de vista com as duas antenas será maior, quando comparado com uma localização das antenas a uma altura inferior.

## 5.2 Perspectivas de trabalho futuro

Para além dos resultados conseguidos com o projecto, a plataforma destina-se também a futuros desenvolvimentos que poderão complementar e acrescentar funcionalidades à estação de monitorização. Ao nível da interface web poderão ser aproveitados alguns dos dados já construídos e após algum tipo de processamento disponibilizá-los no portal. O desenvolvimento

dos programas para possibilitar a futuros utilizadores a recolha de dados, enquadra-se inteiramente nas perspectivas de trabalhos futuros. O utilizador apenas tem de possuir conhecimentos básicos em linguagem de programação C, e a partir daí tem à sua disposição diversos dados. Com estes dados poderiam ser desenvolvidos diversos resultados tais como:

- aplicação de algoritmos, relacionados com GPS, com dados reais;
- estudo da variação da posição da antena, calculada pelo receptor, e possíveis relações com alguns parâmetros tais como o erro do relógio dos receptores;
- representação gráfica, com a evolução ao longo do tempo, das variáveis ligadas ao efeito da geometria dos satélites (DOP) na precisão obtida;
- construção de uma mapa mundo com a posição de todos os satélites da constelação de GPS, actualizado periodicamente;
- guardar os dados mais relevantes numa base dados, ficando assim disponíveis no futuro;
- melhoramento das correcções diferenciais calculadas no presente trabalho, e disponibilizá-las a determinados utilizadores do sistema GPS;
- comparação do *pseudo-range*, calculado pelos dois receptores, e estudo da influência dos erros inerentes ao GPS.

Na altura da escrita deste relatório estavam já quatro alunos, ainda numa fase inicial, com o objectivo de cumprir algumas das aplicações descritas anteriormente.

Existe assim uma forte possibilidade do projecto desenvolvido ser usado em trabalhos futuros, deixando-se aqui algumas propostas para esse trabalho.

## Referências Bibliográficas

- [1] **Kaplan, Elliott D. e Hegarty, Christopher J.** *Understanding GPS, Principles and Applications*. Artech House, London, England, 2005.
- [2] **El-Rabbany, A.** *Introduction to GPS the global positioning system*. Artech house publishers, 2002.
- [3] **Soares, Manuel G., Malheiro, Benedita e Restivo, Francisco F.** *An Internet DGPS Service for Precise Outdoor Navigation*. Proceedings Emerging Technologies and Factory Automation IEEE Conference, 2003 .
- [4] **RTCM.** The Radio Technical Commission For Maritime Services. <http://www.rtcn.org/>. [Online] [Citação: 19 de Fevereiro de 2010.]
- [5] **RTCM Standard, 10403.1.** *Differential GNSS (Global Navigation Satellite Systems) Services*. Version 3.1.
- [6] **RTCM, 1994.** *Recommended Standards For Differential NAVSATR GPS Service*. Version 2.1.
- [7] **NMEA 0183, 2000.** *Standard For Interfacing Marine Electronic Devices*. Version 3.00.
- [8] **Professional, Magellan.** *Reference Manual*. A12, B12, AC12.
- [9] **Rinex, 2007.** *The Receiver Independent Exchange Format*. Version 3.00.
- [10] **Waldemar Kunysz, NovAtel Inc.** Effect of Antenna Performance on the GPS sinal Accuracy. <http://www.novatel.com/Documents/Papers/effectofantenna.pdf>. [Online] [Citação: 22 de Fevereiro de 2010.]
- [11] **NovAtel.** L1 GPS Antenna Model 531 Rev 2. <http://www.novatel.com/Documents/Manuals/om-20000032.pdf>. [Online] [Citação: 22 de Fevereiro de 2010.]
- [12] **Commission, European.** Enterprise and Industry Space. [http://ec.europa.eu/enterprise/policies/space/galileo/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/enterprise/policies/space/galileo/index_en.htm). [Online] 30 de Março de 2010.
- [13] **Damas, Luis.** *Linguagem C*. 10ª Edição, FCA, 1999.
- [14] **Stevens, W. Richard.** *UNIX Network Programming*. Second Edition, Prentice Hall, 1990.

- [15] **Lerdorf, R.** *PHP Pocket Reference*. O'Reilly, 2003.
- [16] **NAVSTAR, Global Positioning System.** *Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interfaces*. Revision D, 2004.
- [17] **Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. e Collins, J.** *GPS Theory and Practice*. Third edition, Springer-Verlag Wien New York, 1994.

## Anexo A – Formato RTCM

As mensagens no formato RTCM versão 2.1, estão divididas em várias palavras, cada uma ocupando 30 bits. Os últimos 6 bits de cada palavra representam os bits de paridade e são usados para verificar a validade de cada uma das palavras. A geração destes bits está descrita em [16]. Cada uma das palavras está dividida em determinados campos, com um determinado número de bits.

Como foi descrito no ponto 2.1.4 existem vários tipos de mensagens, mas todas elas são iniciadas com um cabeçalho comum, de 2 palavras. Este cabeçalho contém informação pertinente para todas as mensagens, como o identificador da estação de referência, tempo de referência e a informação necessária para existir sincronização no utilizador. Na Tabela A.1 e na Tabela A.2 estão representadas, respectivamente, a primeira e segunda palavra do cabeçalho.

Tabela A.1 – Primeira palavra do cabeçalho RTCM.

<b>Preamble</b>	<b>Tipo da mensagem</b>	<b>Identificador da estação</b>	<b>Paridade</b>
8 bits	6 bits	10 bits	6 bits
<b>30 bits</b>			

Tabela A.2 – Segunda palavra do cabeçalho RTCM.

<b>Modified Z-Count</b>	<b>Número de sequência</b>	<b>Comprimento da mensagem</b>	<b>“Saúde” da estação</b>	<b>Paridade</b>
13 bits	3 bits	5 bits	3 bits	6bits
<b>30 bits</b>				

- **Preamble** – tem um valor fixo, e é o início de cada mensagem. O receptor que recebe a mensagem RTCM deve procurar o *preamble para se sincronizar*;
- **Tipo da mensagem** – número entre 1 e 64, que corresponde ao identificador da mensagem em causa;
- **Identificador da estação** – número arbitrário entre 0 e 1023, definido pela estação de referência;
- **Paridade** – permite validar a palavra em causa;
- **Modified Z-Count** – tempo de referência para os parâmetros da mensagem. O seu valor está entre 0 e 3599,4 segundos, e tem um escala de 0,6 segundos;

- **Número de sequência** – tem o seu valor compreendido entre 0 e 7. Ajuda na sincronização entre mensagens e o seu valor é incrementado sempre que uma nova mensagem for gerada;
- **Comprimento da mensagem** – o seu valor está compreendido entre 2 e 33. Representa o número de palavras que a mensagem em causa possui;
- **“Saúde” da estação** – tem oito estados possíveis, sendo o seu valor definido na estação de referência. Permite ao utilizador do serviço RTCM saber se a estação de referência está a funcionar correctamente.

Na mensagem do tipo 1 (a única considerada no projecto), o número total de palavras depende da quantidade de satélites considerados na estação de referência. Cada uma das palavras tem 30 bits, terminando com os 6 bits de paridade. Os campos descritos de seguida correspondem aos dados para um satélite. A repetição dos dados depende da quantidade de satélites considerados pela estação de referência.

- **Factor de escala** – tem 1 bit, e informa o utilizador qual o factor de escala usado em alguns dos parâmetros da mensagem;
- **UDRE (*User Differential Range Error*)** – tem 2 bits e quatro estados possíveis. Este campo dá ao utilizador a informação de qual a precisão que pode ser obtida com as correcções diferenciais presentes na mensagem;
- **Identificador do satélite** – tem 5 bits, e representa a identificação do satélite correspondendo ao seu PRN;
- **PRC (*Pseudo-Range Correction*)** – tem 16 bits, e corresponde à correcção diferencial que o utilizador deverá aplicar no *pseudo-range* do satélite em questão. A unidade é metros e é um campo afectado pelo factor de escala definido anteriormente;
- **RRC (*Range Rate Correction*)** – tem 8 bits, e serve para o utilizador aplicar ao PRC, juntamente com o campo *modified Z-count*. A necessidade deste campo deve-se ao facto de a transmissão das correcções diferenciais da estação de referência para os utilizadores não ser instantânea. O utilizador deve aplicar este parâmetro para ter em conta a diferença de tempo entre a geração das correcções diferenciais e a sua aplicação. A unidade é metros/segundo e é também afectado pelo factor de escala definido anteriormente;
- **IODE (*Issue of Data Ephemeris*)** – tem 8 bits e é um campo que está presente na mensagem de navegação enviada pelos receptores GPS. Este parâmetro é a garantia para o utilizador do serviço RTCM, que as correcções diferenciais são baseadas no mesmo conjunto de elementos orbitais e parâmetros do relógio, para os quais foram geradas na estação de referência. Assim o utilizador apenas aplica as correcções diferenciais se o IODE for igual. Caso contrário, a precisão em vez de aumentar poderia diminuir;

- **FILL** – pode ter 0, 8 ou 16 bits. Corresponde a um número binário com bits 1 e 0 alternados. O seu uso advém do facto das palavras terem que ter 30 bits. Assim se os dados dos satélites terminarem antes desses 30 bits este campo é usado;
- **Paridade** – permite validar a palavra em causa.

## Anexo B – Formato NMEA

### Mensagem ALM

Formato da mensagem:

`$GPALM,d1,d2,d3,d4,h1,h2,h3,h4,h5,h6,h7,h8,h9,h10,h11*cc`

<code>\$GPALM</code>	<i>header of message</i>
<code>d1</code>	<i>total number of messages</i>
<code>d2</code>	<i>number of this message</i>
<code>d3</code>	<i>satellite PRN number</i>
<code>d4</code>	<i>GPS week</i>
<code>h1</code>	<i>satellite health (in ASCII hexadecimal)</i>
<code>h2</code>	<i>eccentricity (in ASCII hexadecimal)</i>
<code>h3</code>	<i>almanac reference time (in ASCII hexadecimal)</i>
<code>h4</code>	<i>inclination angle (semicircles, in ASCII hexadecimal)</i>
<code>h5</code>	<i>rate of ascension (semicircles/sec, in ASCII hexadecimal)</i>
<code>h6</code>	<i>root of semi-major axis (in ASCII hexadecimal)</i>
<code>h7</code>	<i>argument of perigee (in ASCII hexadecimal)</i>
<code>h8</code>	<i>longitude of ascension mode (semicircle, in ASCII hexadecimal)</i>
<code>h9</code>	<i>mean anomaly (semicircle, in ASCII hexadecimal)</i>
<code>h10</code>	<i>clock parameter (seconds, in ASCII hexadecimal)</i>
<code>h11</code>	<i>clock parameter (seconds/seconds, in ASCII hexadecimal)</i>
<code>*cc</code>	<i>checksum to validate the message</i>

### Mensagem GGA

Formato da mensagem:

`$GPGGA,m1,m2,c1,m3,c2,d1,d2,f1,f2,M,f3,M,f4,d3*cc`

<code>\$GPGGA</code>	<i>header of message</i>
<code>m1</code>	<i>current UTC time, in hours, minutes and seconds (hhmmss.ss)</i>
<code>m2</code>	<i>latitude in degrees and decimal minutes (ddmm.mmmmm)</i>
<code>c1</code>	<i>direction of latitude</i>
<code>m3</code>	<i>longitude in degrees and decimal minutes (dddmm.mmmmm)</i>
<code>c2</code>	<i>direction of longitude</i>
<code>d1</code>	<i>position type:</i> <i>0-invalid or not available</i> <i>1-autonomous position</i> <i>2-RTCM or SBAS differentially corrected</i>
<code>d2</code>	<i>number of satellites used in position computation</i>
<code>f1</code>	<i>HDOP</i>
<code>f2</code>	<i>altitude in meters above mean sea level</i>
<code>M</code>	<i>altitude units – meters</i>
<code>f3</code>	<i>geoidal separation in meters above WGS-84 reference ellipsoid</i>
<code>M</code>	<i>geoidal separation units – meters</i>
<code>d3</code>	<i>age of differential corrections (seconds)</i>
<code>d4</code>	<i>base station ID (RTCM only)</i>
<code>*cc</code>	<i>checksum to validate the message</i>

## Mensagem GSA

Formato da mensagem:

$\$GPGSA,c1,d1,d2,d3,d4,d5,d6,d7,d8,d9,d10,d11,d12,d13,f1,f2,f3*cc$

$\$GPGSA$	<i>header of message</i>
c1	<i>mode:</i> <i>M-manual</i> <i>A-automatic</i>
d1	<i>mode:</i> <i>1-fix not available</i> <i>2-2D</i> <i>3-3D</i>
d2-d13	<i>satellites used in solution (empty for unused channel)</i>
f1	<i>PDOP</i>
f2	<i>HDOP</i>
f3	<i>VDOP</i>
*cc	<i>checksum to validate the message</i>

## Mensagem GSV

Formato da mensagem:

$\$GPGSV,d1,d2,d3,n(d4,d5,d6,f1)*cc$

$\$GPGSV$	<i>header of message</i>
d1	<i>total number of messages</i>
d2	<i>message number</i>
d3	<i>total number of satellites in view</i>
d4	<i>satellite PRN</i>
d5	<i>elevation in degrees</i>
d6	<i>azimuth in degrees</i>
d7	<i>SNR in dBHz</i>
*cc	<i>checksum to validate the message</i>

## Anexo C – Formato proprietário

### Mensagem NAK/ACK

Formato da mensagem:

*\$PASHR,s1,\*cc*

<i>\$PASHR</i>	<i>header of message</i>
<i>s1</i>	<i>ACK or NAK</i>
<i>*cc</i>	<i>checksum to validate the message</i>

### Mensagem PAR

Devido ao facto da mensagem não apresentar um formato específico, de seguida está apresentado um exemplo da mensagem enviada pelo receptor.

```
PMD:4 FIX:0 PEM:05 PDP:06 HDP:04
DTM:W84 LTZ:000,00 SAV:Y
ANT:Y WAAS:N
USE:YYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYY
CDS:AUTO DIF_RTCM_MODE:OFF PRT:~ AUT:Y MAX:0015
LAT:0000.000000,N LON:00000.000000,E ALT:00000.00
NMEA: ZDA GGA GLL GSA GSV MSG POS RMC SAT VTG ALM RRE UKO CRT XMG UTM MCA PBN
PRTA: __ 001 __ __ 001 __ __ __ __ __ 001 __ 001 __ __ __ 001 001
PRTB: __ __ __ __ __ __ __ __ __ __ __ __ __ __ __ __
NMEA: SNV
PRTA: 001
PRTB: __
PER:001 SPD: PORT A:9 PORT B:9
```

A explicação do significado de cada um dos campos pode ser encontrada em [8].

### Mensagem RID

Formato da mensagem:

*\$PASHR,RID,s1,s2\*cc*

<i>\$PASHR</i>	<i>header of message</i>
<i>RID</i>	<i>message identifier</i>
<i>s1</i>	<i>receiver ID</i>
<i>s2</i>	<i>firmware version</i>
<i>*cc</i>	<i>checksum to validate the message</i>

## Mensagem UKO

Formato da mensagem:

$\$G\text{PUKO},d1,f1,d2,f2,d2*(d3,d4,d5,d6,d7,f3)*cc$

$\$G\text{PUKO}$	<i>header of message</i>
d1	<i>GPS week number</i>
f1	<i>time of week (seconds)</i>
d2	<i>number of SVs used in solution</i>
f2	<i>scale factor</i>
d3	<i>PRN number</i>
d4	<i>Post-fit residuals</i>
d5	<i>line of sight, latitude sensitivity</i>
d6	<i>line of sight, longitude sensitivity</i>
d7	<i>line of sight, altitude sensitivity</i>
f3	<i>weight of SV</i>
*cc	<i>checksum to validate the message</i>

## Mensagem PBN

Formato da mensagem:

$\$P\text{ASHR},\text{PBN},\langle\text{Raw position data} + \text{checksum}\rangle$

$\$P\text{ASHR}$	<i>header of message</i>
PBN	<i>message identifier</i>
4 bytes	<i>time at which the signal was received in milliseconds of the week referenced to GPS system time</i>
4 bytes	<i>station name</i>
8 bytes	<i>X coordinate of the antenna position in meters</i>
8 bytes	<i>Y coordinate of the antenna position in meters</i>
8 bytes	<i>Z coordinate of the antenna position in meters</i>
4 bytes	<i>receiver clock offset (error) in meters</i>
4 bytes	<i>the antenna x velocity in meters per second</i>
4 bytes	<i>the antenna y velocity in meters per second</i>
4 bytes	<i>the antenna z velocity in meters per second</i>
4 bytes	<i>receiver clock drift in meters per second</i>
2 bytes	<i>PDOP multiplied by 100</i>
2 bytes	<i>checksum to validate the message</i>

69 bytes no total

## Mensagem MCA

Formato da mensagem:

$\$P\text{ASHR},\text{MCA},\langle\text{Magellan type 3 data string} + \text{checksum}\rangle$

$\$P\text{ASHR}$	<i>header of message</i>
MCA	<i>message identifier</i>
2 bytes	<i>sequence ID number in units of 50 ms, modulo 30 minutes</i>
1 byte	<i>number of remaining MCA messages to be sent for current epoch. The AC12 outputs a separate MCA message for each satellite</i>
1 byte	<i>satellite PRN number</i>

1 byte	<i>elevation angle in degrees of the satellite referenced in PRN</i>
1 byte	<i>azimuth angle in degrees of the satellite referenced in PRN</i>
1 byte	<i>channel assigned to the satellite referenced in PRN</i>
1 byte	<i>flag:</i> 0-code and/or carrier phase have been measured for the satellite referenced in PRN 1-code and/or carrier phase have been measured, and the navigation message was obtained for the satellite referenced in PRN, but these data were not used in the position computation 2-code and/or carrier phase have been measured, the navigation message was obtained, and these data were used in the position computation 3-symbols in the navigation message have not been synchronized 4-pseudo-range measurement is not smoothed 5-reserved 6-a loss of lock has occurred on the code and/or carrier phase of the satellite signal 7-reserved 8-a loss of continuity has occurred
1 byte	<i>indicates the quality of the position measurement:</i> 0-measurement not available, no additional data will be sent 1-the satellite is below the elevation mask 2-code and/or carrier phase has been measured 23-code and/or carrier phase has been measured, and navigation message was obtained, but measurement(s) not used to compute position 24-code and/or carrier phase measured, navigation message was obtained, and measurement(s) used to compute position
1 byte	<i>polarity:</i> 0-the satellite has just been locked 5-meaning the first frame of the navigation message has been found
1 byte	<i>signal-to-noise measurement (db Hz) for the satellite referenced in PRN not used, always zero</i>
1 byte	<i>full carrier phase, measured in cycles, of the satellite referenced in PRN</i>
8 bytes	<i>raw range, in seconds, to the satellite referenced in PRN using the following formula: receiver time-transmitted time = raw range</i>
8 bytes	<i>doppler measurement (10<sup>-4</sup> Hz) for the satellite referenced in PRN</i>
4 bytes	<i>bits 31-24 represent the amount of smoothing:</i> 0-unsmoothed 1-least smoothed 100-most smoothed
4 bytes	<i>bits 23-0 represent the magnitude of the correction in centimeters</i>
1 byte	<i>checksum to validate the message</i>
50 bytes	no total

## **Mensagem SNV**

Formato da mensagem:

*\$PASHR,SNV,<Ephemeris data string + checksum>*

2 bytes	<i>GPS week number</i>
4 bytes	<i>seconds of GPS week</i>

4 bytes	<i>group delay (seconds)</i>
4 bytes	<i>clock data issue</i>
4 bytes	<i>clock data reference time in seconds</i>
4 bytes	<i>clock correction (sec/sec<sup>2</sup>)</i>
4 bytes	<i>clock correction (sec/sec)</i>
4 bytes	<i>clock correction (sec)</i>
4 bytes	<i>orbit data issue</i>
4 bytes	<i>mean anomaly correction (semicircles/sec)</i>
8 bytes	<i>mean anomaly at reference time (semicircles)</i>
8 bytes	<i>eccentricity</i>
8 bytes	<i>square root of semi-major axis</i>
4 bytes	<i>reference time for orbit (sec)</i>
4 bytes	<i>cic, harmonic correction term (radians)</i>
4 bytes	<i>crc, harmonic correction term (radians)</i>
4 bytes	<i>cis, harmonic correction term (radians)</i>
4 bytes	<i>crs, harmonic correction term (radians)</i>
4 bytes	<i>cuc, harmonic correction term (radians)</i>
4 bytes	<i>cus harmonic correction term (radians)</i>
8 bytes	<i>longitude of ascending node (semicircles)</i>
8 bytes	<i>argumento of perigee (semicircles)</i>
8 bytes	<i>inclination angle (semicircles)</i>
4 bytes	<i>rate of right ascension (semicircles/sec)</i>
4 bytes	<i>rate of inclination (semicircles/sec)</i>
2 bytes	<i>user range accuracy</i>
2 bytes	<i>satellite health</i>
2 bytes	<i>curve fit interval</i>
1 byte	<i>satellite PRN number minus 1</i>
1 byte	<i>reserved character</i>
2 bytes	<i>checksum to validate the message</i>

145 bytes no total

## Anexo D – *Instruction Manual*

This manual gives to the future users of the GPS monitoring station, a brief introduction to the work done. With this manual the future users can easily interact with the features developed, and adapt them according to their objectives. It is essential that users also read the main points described in this thesis, which addition to the manual provides the necessary information to take advantage of the features already developed.

The manual is divided into the three modules described in this thesis.

### Serial Interface

This section describes the commands needed, to run from terminal the programs developed in the module “Serial Interface”. All the files and functions developed, are stored in the corresponding folder. If the future user changes any function in a program, it is essential run in a terminal the command *make*, to compile all data.

1. **Create and Initialize:** program responsible for creating and initializing some important parameters for the other programs such as, semaphores, shared memory segments and error files.

**To run:** `./Desktop/it/ac12/Create_Initialize/start [argv]`

a. [argv]:

- i. /dev/ttyS0
- ii. /dev/ttyS1
- iii. Antenna

2. **Antenna:** the program’s objective is to allow the administrator of the station to change some parameters related with GPS antennas.

**To run:** `./Desktop/it/ac12/Antenna/user_config`

3. **Channel Data:** send to receiver, the message with ID GSA.

**To run:** `./Desktop/it/ac12/Channel_Data/Channel [argv]`

a. [argv]:

- i. 1 (receiver connected to serial port 0)
- ii. 2 (receiver connected to serial port 1)

4. **Datum:** send to receiver a message to allow the administrator to change the Coordinated system.

**To run:** `./Desktop/it/ac12/dtm/DTM [argv1] [argv2]`

a. [argv1]:

- i. 1 (receiver connected to serial port 0)
      - ii. 2 (receiver connected to serial port 1)
    - b. [argv2] = string with three characters representing the ID of datum (1)
5. **Initialization:** allows the administrator of the station to send to receivers a message with some parameters for the initialization.
- To run:** `./Desktop/it/ac12/Initialization/Initialize [argv1] [argv2] [argv3] [argv4]`
- a. [argv1]:
    - i. 1 (receiver connected to serial port 0)
    - ii. 2 (receiver connected to serial port 1)
  - b. [argv2] = baudrate port A (1)
  - c. [argv3] = baudrate port B (1)
  - d. [argv4] = memory reset code (1)
6. **Navigation Mode:** program to send for receivers a message with the navigation mode chosen. It can be 2D or 3D mode.
- To run:** `./Desktop/it/ac12/Navigation_Mode/Navigation_Mode [argv1] [argv2]`
- a. [argv1]:
    - i. 1 (receiver connected to serial port 0)
    - ii. 2 (receiver connected to serial port 1)
  - b. [argv2]:
    - i. 2 (2D mode)
    - ii. 4 (3D mode)
7. **Receiver ID:** send to receivers, the message with ID RID.
- To run:** `./Desktop/it/ac12/Receiver_ID/Receiver_ID [argv]`
- a. [argv]:
    - i. 1 (receiver connected to serial port 0)
    - ii. 2 (receiver connected to serial port 1)
8. **Receiver Status:** send to receivers, the message with ID PAR.
- To run:** `./Desktop/it/ac12/Receiver_Status/Receiver [argv]`
- a. [argv]:
    - i. 1 (receiver connected to serial port 0)
    - ii. 2 (receiver connected to serial port 1)
9. **Reset Values:** program that allows the administrator of the station to send a message with the objective of restart all values to their default numbers.
- To run:** `./Desktop/it/ac12/Reset_Values/Reset [argv]`
- a. [argv]:

- i. 1 (receiver connected to serial port 0)
- ii. 2 (receiver connected to serial port 1)

10. **Save Parameters:** allows the administrator to save current parameters.

**To run:** *./Desktop/it/ac12/Save\_Parameters/Save [argv1] [argv2]*

- a. [argv1]:
  - i. 1 (receiver connected to serial port 0)
  - ii. 2 (receiver connected to serial port 1)
- b. [argv2]:
  - i. 1 (save current parameters)
  - ii. 2 (not save current parameters)

11. **Elevation Mask Angle:** send the message for receivers, that allows the administrator of the station to set the mask angle.

**To run:** *./Desktop/it/ac12/Set\_Mask\_Angle/Mask\_Angle [argv1] [argv2]*

- a. [argv1]:
  - i. 1 (receiver connected to serial port 0)
  - ii. 2 (receiver connected to serial port 1)
- b. [argv2] = value between 0 and 90 degrees (mask angle)

12. **Wide-Area:** program to send the message that enable or disable the reception of SBAS signals.

**To run:** *./Desktop/it/ac12/was/WAS [argv1] [argv2]*

- a. [argv1]:
  - i. 1 (receiver connected to serial port 0)
  - ii. 2 (receiver connected to serial port 1)
- b. [argv2]:
  - i. 1 (enable)
  - ii. 2 (disable)

13. **AC12 interface:** program responsible for all the direct interaction with the two receivers of station.

**To run:** *./Desktop/it/ac12/interface\_AC12/serial [argv]*

- a. [argv]:
  - i. /dev/ttyS0
  - ii. /dev/ttyS1

14. **Navigation Data:** program responsible for the storage of ephemeris.

**To run:** *./Desktop/it/ac12/Nav\_Rinex/download [argv]*

- a. [argv]:

- i. /dev/ttyS0
- ii. /dev/ttyS1

15. **Observation Data:** program responsible for the storage of observation data, such as pseudo-range, carrier phase, SNR and doppler.

**To run:** *./Desktop/it/ac12/Obs\_Rinex/download [argv]*

- a. [argv]:
  - i. /dev/ttyS0
  - ii. /dev/ttyS1

16. **Satellite Position:** the program's objective is to compute the satellite positions, with the ephemeris.

**To run:** *./Desktop/it/ac12/Satellite\_Position/compute [argv]*

- a. [argv]:
  - i. /dev/ttyS0
  - ii. /dev/ttyS1

17. **Azimuth and Elevation:** with the satellite positions, previous referred, the program is responsible for computing the azimuth and elevation of GPS satellites. The reference is the two GPS antennas of station.

**To run:** *./Desktop/it/ac12/Azimuth\_Elevation/compute [argv]*

- a. [argv]:
  - i. /dev/ttyS0
  - ii. /dev/ttyS1

18. **Satellite Data:** program responsible for the acquisition of satellite data, such as elevation, azimuth and SNR. This data comes from the message with ID GSV.

**To run:** *./Desktop/it/ac12/Satellite\_Data/download [argv]*

- a. [argv]:
  - i. /dev/ttyS0
  - ii. /dev/ttyS1

19. **Plot Satellite Data:** with the data previous described, this program generate a figure with satellite positions.

**To run:** *./MATHWORKS\_R2009B/bin/PlotMatlab [argv]*

- a. [argv]:
  - i. /dev/ttyS0
  - ii. /dev/ttyS1

20. **Monitoring Matlab:** program used to control the operation of Matlab.

**To run:** `./Desktop/it/ac12/Monitoring_Matlab/monitoring`

21. **DGPS:** the program's objective is to compute differential corrections.

**To run:** `./Desktop/it/ac12/User_Position/compute /dev/ttyS0`

Some of the programs described above, can be launched from an executable in C language, that puts the processes running in background. The programs running in background are related with the operation of Web Interface.

1. **Run programs:** the executable is located in directory `/home/it/Desktop/it/ac12`. The function has the name `Daemon.c`. To run the program type `./Run`. When the administrator type this command several processes begin running in background. The programs running in background are:

- *AC12 Interface*, with two arguments `/dev/ttyS0` and `/dev/ttyS1`;
- *Navigation Data*, with two arguments `/dev/ttyS0` and `/dev/ttyS1`;
- *Observation Data*, with two arguments `/dev/ttyS0` and `/dev/ttyS1`;
- *Satellite Data*, with two arguments `/dev/ttyS0` and `/dev/ttyS1`;

2. **Stop programs:** to stop all the programs described above, is necessary send to respective program the SIGINT signal. First the user needs to obtain the process identifier. To make this, the user must type `ps -e | grep executable_name`. This command return the process identifier. With that, the user must type the command `kill -s SIGINT pid`.

It must be send to all programs, to stop the entire GPS monitoring station.

## “User-friendly” Interface

This section describes the commands to the directories, where the future user can find the programs developed in the module “User-friendly Interface”. The user is responsible for developing the programs to interact with the data. The error files are stored in the directory corresponding to the program in question.

In all the directories there is a model program. The user can use this program like an example for future development.

1. **Ephemeris:** acquisition of ephemeris, storage in a shared memory segment.

**To change directory:** `cd Desktop/it/Eph_download`

2. **Pseudo-Range:** access to data storage in program *Observation Data*. The user can make the acquisition of satellites pseudo-range.

**To change directory:** `cd Desktop/it/Raw_download`

3. **Satellite Position:** access to shared memory segment with satellite positions.  
*To change directory: cd Desktop/it/SatPos\_download*
4. **ALM message:** access to data of message with ID ALM.  
*To change directory: cd Desktop/it/GPALM\_download*
5. **GGA message:** access to shared memory segment with data of message with ID GGA.  
*To change directory: cd Desktop/it/GPGGA\_download*
6. **GSV message:** access to data of message with ID GSV.  
*To change directory: cd Desktop/it/GPGSV\_download*
7. **UKO message:** access to shared memory segment with data of message with ID UKO.  
*To change directory: cd Desktop/it/GPUKO\_download*
8. **MCA message:** access to data of message with ID MCA.  
*To change directory: cd Desktop/it/MCA\_download*
9. **PBN message:** access to shared memory segment with data of message with ID PBN  
*To change directory: cd Desktop/it/PBN\_download*
10. **SNV message:** accesso to data of message with ID SNV.  
*To change directory: cd Desktop/it/SNV\_download*

## Web Interface

In this section is described the commands and directories related with the web interface.

1. **Adress of web page:** *http://www.satlab.it.pt*, then the users need to choose the link for GPS.
2. **Start HTTP server:** the administrator can run or stop the server from terminal with:
  - a. to run type: */usr/local/apache2/bin/apachectl -k start*
  - b. to stop type: */usr/local/apache2/bin/apachectl -k stop*
3. **Root directory:** */usr/local/apache2/htdocs*
4. **Configuration file:** */usr/local/apache2/conf/httpd.conf*

5. **Change permissions:** is essential that the administrator changes the permissions of the programs developed in the module “Serial Interface”, that lets the web page run executables developed in c language. Form terminal, type yhe commands:
  - a. change the owner: *chown root:root program\_name*
  - b. change the permissions: *chmod a+rwx program\_name*
6. **Files required to receivers:** */usr/local/apache2/htdocs/site/upload/File*
7. **Rinex files:** */usr/local/apache2/htdocs/Rinex*
8. **File with data about authorized users:** */usr/local/apache2/htdocs/includes*
9. **File with informations about login/logout:** */usr/local/apache2/htdocs/includes/logininfo*