



**António José Duarte
Figueiredo Guilherme
dos Santos**

Localização de Comboios via Rádio



**António José Duarte
Figueiredo Guilherme
dos Santos**

Localização de Comboios via Rádio

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Electrónica e Telecomunicações, realizada sob a orientação científica do Doutor Nuno Miguel Gonçalves Borges de Carvalho, Professor Auxiliar do Departamento de Electrónica e Telecomunicações da Universidade de Aveiro e co-orientação científica do Engenheiro Américo Rodrigues Soares, da Divisão de Integração de Sistemas, da NEC – Telecomunicações e Sistemas, SA.

o júri

Presidente

Professor Doutor José Carlos da Silva Neves
Professor Catedrático da Universidade de Aveiro

Vogais

Professor Doutor Francisco António Bucho Cercas
Professor Associado do Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa

Professor Doutor Nuno Miguel Gonçalves Borges de Carvalho
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

agradecimentos

É com uma enorme satisfação que aproveito este espaço para expressar algumas palavras para com as pessoas, que das formas mais diversas, me ajudaram ao longo desta dissertação.

Um sincero obrigado e profunda estima para os meus Orientadores, Professor Doutor Nuno Borges de Carvalho e Engenheiro Américo Rodrigues Soares, por todo o apoio científico e pedagógico, bem como, pelos inúmeros comentários efectuados ao longo desta dissertação.

O meu profundo agradecimento ao Engenheiro Fernando M. Almeida Redondo, cujas as suas ideias e palavras me encorajaram a iniciar esta dissertação, assim como, todas as suas diligências junto da NEC Portugal e por todo o apoio necessário para a escrita da mesma.

Agradeço à NEC Portugal, como instituição, por me ter acolhido, pela logística e facilidades disponibilizadas, e a todos que colaboram nesta instituição e que contribuem para o bom ambiente humano que aqui se vive, nomeadamente aos Engenheiros Armando Xavier e Hermínio Paulos, assim como, aos Técnicos João Paulo, João Carlos e João Trindade, pela disponibilidade que sempre demonstraram. Neste particular, um especial agradecimento ao Engenheiro Bruno Fialho pela colaboração, aconselhamento e paciência prestada ao longo deste trabalho.

Igualmente, agradeço a todas as pessoas que se cruzaram comigo e que de algum, modo me transmitiram conhecimentos do âmbito ferroviário, permitindo a redacção da presente dissertação.

Agradeço ao Sr. Nicolas Erb, da UNIFE (Union of European Railway Industries), pela autorização de reprodução, neste trabalho, das figuras referentes ao sistema ERTMS.

Finalmente, dedico esta dissertação à minha Mãe, pelos inúmeros sacrifícios feitos ao longo da sua vida, no sentido de ultrapassar as diversas dificuldades da vida, com o objectivo final de me apoiar ao máximo na minha vida pessoal, académica e profissional.

resumo

A evolução tecnológica que se verificou nos sistemas digitais, proporcionou o aparecimento de novos serviços, com aplicação ferroviária. As comunicações rádio desempenharam desde sempre um papel importante na gestão, exploração e manutenção do transporte ferroviário.

O trabalho apresentado nesta dissertação descreve a evolução dos sistemas de localização, usados nos caminhos de ferro. Pela importância vital inerente de segurança, o sistema de comunicações Rádio Solo Comboio é alvo nesta dissertação de um estudo mais aprofundado, com alterações significativas através da integração no seu funcionamento dos sistemas GSM e GPS.

Por fim, perspectiva-se também o futuro dos sistemas de gestão, de sinalização e de comunicações ferroviárias, dos quais se realça os mais importantes para segurança da circulação: o ERTMS, ETCS e o GSM-R.

abstract

The technological evolution which we have seen in digital systems have proportionated the appearance of new services with railway application since the beginning. The radio communications have performed a very important duty in the network railway management, exploration and maintenance.

The work presented in this dissertation describes the evolution of the localization systems used in railways. Due to the inherent safety importance, the Track-to-Train communications system is object in this dissertation of a more examination thoroughly due to significant changes with the integration of GSM and GPS systems in his functioning.

Finally, this dissertation foresees the future of management and signalling systems as well as the railway communications with a very important safety in the railway traffic. In this particular case, the systems: ERTMS, ETCS and GSM-R.

ÍNDICE GERAL

1 – INTRODUÇÃO

1.1 – Motivação e Enquadramento	1
1.2 – Objectivos	2
1.3 – Estrutura	3

2 – SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO

2.1 – Introdução	4
2.2 – Sistemas de Localização Ferroviária	4
2.2.1 – Circuitos de Via	6
2.2.1.1 – Circuito de Via UM 71	8
2.2.1.2 – Circuitos de Via ITE	10
2.2.2 – Sistema de Contadores de Eixos	14
2.2.2.1 – Descrição Funcional.....	14
2.2.2.2 – Benefícios da Utilização de Contadores de Eixos.....	15
2.3 – Sistema GPS	15
2.3.1 – Evolução do GPS	16
2.3.2 – Estrutura do GPS	16
2.3.2.1 – Segmento Espacial	17
2.3.2.2 – Segmento de Controlo	17
2.3.2.3 – Segmento do Utilizador.....	18
2.3.3 – Serviços de Posicionamento do GPS.....	18
2.3.3.1 – <i>Precise Positioning Service</i>	18
2.3.3.2 – <i>Standard Positioning Service</i>	19
2.3.4 – Sinais Transmissão	19
2.3.4.1 – Dados para os receptores GPS	19
2.3.4.2 – Dados para os satélites.....	19
2.3.5 – <i>Differential GPS</i>	20
2.3.5.1 – Princípios Gerais.....	20
2.3.5.2 – Precisão com DGPS	21
2.4 – GPS / TRIANGULAÇÃO	21
2.4.1 – Princípios de navegação por satélite.....	22
2.4.2 – Equações Básicas para Localização de um ponto	23
2.4.3 – Medições da pseudo-distância	23
2.4.4 – Hora GPS	24
2.4.4.1 – Código pseudo aleatório	24
2.4.4.2 – Determinação da hora precisa	27
2.4.5 – Factores que afectam a precisão do sistema	29
2.4.6 – Sistema Galileo	30
2.5 – Localização em Redes Móveis GSM	33
2.5.1 – Introdução	33
2.5.2 – Características Gerais GSM.....	34
2.5.2.1 – <i>Mobile Station</i>	34
2.5.2.2 – <i>Base Transceiver Station</i>	35

2.5.2.3 – <i>Base Station Controller</i>	35
2.5.2.4 – <i>Mobile Switching Centre</i>	35
2.5.2.5 – <i>Location Registers</i>	35
2.4.2.6 – <i>Equipment Identity Register</i>	35
2.5.3 – Classificação dos Sistemas de Localização.....	35
2.5.4 – Técnicas de Localização.....	36
2.5.5 – Cálculo da Posição de um Móvel pelo Método da Triangulação num Sistema GSM.....	37
2.5.5.1 – Cálculo das distâncias reais ao móvel U	38
2.5.5.2 – Posição calculada pela triangulação pelo sistema GSM	38
3 – O SISTEMA DE COMUNICAÇÕES RÁDIO SOLO COMBOIO	
3.1 – Introdução.....	40
3.2 – Evolução do Sistema Rádio Solo Comboio	40
3.3 – Descrição Geral do Sistema Rádio Solo Comboio	41
3.3.1 – Equipamento Fixo	42
3.3.1.1 – Postos Reguladores	43
3.3.1.2 – Postos Fixos	45
3.3.1.3 – Postos de Estação.....	45
3.3.2 – Tipos de Mensagens.....	46
3.3.3 – Equipamento Transportável e Portátil.....	46
3.3.3.1 – Postos Transportáveis	46
3.3.3.2 – Posto Portátil	47
3.3.4 – Postos Móveis.....	47
3.3.4.1 – Sub-Bastidor do Posto Móvel	49
3.3.4.2 – Transceptor SE550 CP-N.....	50
3.3.4.3 – Unidade de Recolha de Dados.....	51
3.3.4.4 – Carta de Interface com o Sistema de Anúncio aos Passageiros	52
3.3.4.5 – Unidade de Comando BG550 CP-N.....	52
3.3.4.6 – Antena	54
3.3.4.7 – Protocolo Móvel ↔ ORD	54
3.4 – Posto Móvel com <i>Up-Grade</i> GSM	55
3.4.1 – Introdução	55
3.4.2 – <i>Up-Grade</i> GSM	56
3.4.2.1 – Alterações necessárias de <i>hardware</i>	58
3.4.2.2 – Alterações necessárias de programação.....	58
3.4.2.3 – Novo Sistema de Radiação	58
3.4.2.4 – <i>Modem</i> GSM	59
3.4.2.5 – Antena	60
3.4.3 – Modo de Utilização.....	61
3.4.3.1 – Chamada de Fonia	61
3.4.3.2 – Transmissão de Dados.....	62
3.4.3.3 – Transmissão de Dados (Ficheiros) via GSM	64
4 – EVOLUÇÃO DO RÁDIO SOLO COMBOIO	
4.1 – Introdução.....	65

4.2 – Rádio Solo Comboio com integração de GPS (Posto Móvel)	65
4.2.1 – Receptores GPS.....	66
4.2.1.1 – Critérios de Selecção	67
4.2.2 – Estudo de dois receptores GPS	69
4.2.2.1 – Receptor GPS GARMIN da Série 25LP	69
4.2.2.2 – Receptor GPS ONCORE da MOTOROLA.....	72
4.2.2.3 – Escolha do Receptor a utilizar	74
4.2.3 – Norma NMEA 0183	74
4.2.4 – Carta de Interface Universal ORD.....	77
4.2.5 – Interface expandida para GPS (Carta Filha)	78
4.2.6 – Antena	79
4.2.7 – Colocação ao Serviço do Sistema de Localização via GPS.....	81
4.2.7.1 – Posto Móvel	81
4.2.7.2 – Posto Fixo	81
4.2.7.3 – Colocação ao Serviço	81
4.3 – Localização de Comboios em Túneis	83
4.3.1 – Tecnologias para Túneis	83
4.3.1.1 – Alternativa de localização com o Rádio Solo Comboio com GPS em Túneis	84
4.3.2 – Cobertura GSM em túneis.....	86
4.3.3 – Conclusões.....	89
5 – OS SISTEMAS DE GESTÃO, COMUNICAÇÕES E DE SINALIZAÇÃO FUTUROS	
5.1 – Introdução	91
5.2 – Sistema <i>Train Office</i>	91
5.2.1 – Introdução	91
5.2.2 – Arquitectura geral do sistema.....	92
5.2.3 – Estrutura	93
5.3 – GSM-R.....	94
5.3.1 – Introdução	94
5.3.2 – GSM-R: A solução preferencial, validada e especificada pela UIC	96
5.3.3 – Geral.....	97
5.3.4 – Aplicações do GSM-R, definidas normalmente pelo EIRENE	98
5.3.5 – GSM-R: Sistema de comunicações ferroviárias para o presente e para o futuro.....	98
5.3.5.1 – A rede de GSM-R e a sua estrutura.....	98
5.3.5.2 – Exigências de qualidade do GSM-R	102
5.3.5.3 – Exigências de planeamento da rede de GSM-R	103
5.3.5.4 – Redes de ensaio com o GSM-R	105
5.3.6 – Características e aplicações.....	105
5.3.6.1 – Características fornecidas pelo GSM normalizado	105
5.3.6.2 – Conjunto de características adicionais e aplicações GSM-R.....	105
5.4 – ERTMS/ETCS.....	117
5.4.1 – O Sistema actual de Controlo de Automático de Comboios.....	117
5.4.2 – Transmissão por balizas.....	118
5.4.2.1 – Funcionamento do ATP com Balizas	118

5.4.2.2 – Evolução para um Sistema Intermitente	119
5.4.3 – Cantão Móvel	120
5.4.3.1 – Cantão Móvel e Transmissão Rádio	120
5.4.3.2 – Cantão Móvel – Actualização da Localização	121
5.4.3.3 – Um primeiro sistema de Cantão Móvel	122
5.4.4 – Conclusões	122
5.4.5 – O que é o ERTMS	123
5.4.5.1 – História do ERTMS	124
5.4.5.2 – Principais equipamentos que constituem o ERTMS/ETCS	125
5.4.5.3 – Níveis do ERTMS/ETCS	127
5.4.5.4 – Nível 1 do ERTMS/ETCS	127
5.4.5.5 – Nível 2 do ERTMS/ETCS	128
5.4.5.6 – Nível 3 do ERTMS/ETCS	129
5.4.5.7 – Estrutura Geral do ERTMS/ETCS	130
5.4.5.8 – Situação Actual	131
5.4.6 – ATLAS	131
5.4.6.1 – ATLAS 100	131
5.4.6.2 – ATLAS 200	133
5.4.6.3 – ATLAS 300	134
6 – CONCLUSÕES E VISÃO DO FUTURO	
6.1 – Conclusões	136
6.2 – Visão do Futuro	137
6.2.1 – Interoperacionalidade nos Sistemas de Localização por Satélite	137
6.2.2 – Evolução do GSM	139
6.2.3 – Uso de uma IN para o GSM-R	139
6.2.4 – Evolução dos serviços de dados no GSM	140
6.2.5 – GPRS no envolvimento ferroviário	140
6.2.5.1 – Hipóteses de aplicações ferroviárias com o GPRS	141
6.2.6 – Possíveis aplicações futuras com o GPS/GSM	142
6.2.7 – Evolução para o UMTS	142
6.2.8 – Conclusão	143
7 – ACRÓNIMOS	
8 – REFERÊNCIAS	
9 – SITES	

ÍNDICE DE FIGURAS

1 – INTRODUÇÃO

2 – SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO

Figura 1 – Painéis de visualização de tráfego num CTC	5
Figura 2 – Localização de comboios.....	6
Figura 3 – Circuito de Via livre.....	7
Figura 4 – Circuito de Via ocupado.....	7
Figura 5 – Delimitação dos CdV UM71	8
Figura 6 – Forma dos Sinais emitidos.....	9
Figura 7 – Circuito de Via ITE.....	10
Figura 8 – Delimitação dos Circuitos de Via	11
Figura 9 – Bloco Emissor (I)	12
Figura 10 – Bloco Emissor (II).....	12
Figura 11 – Forma e Característica dos Impulsos	12
Figura 12 – Bloco Receptor	13
Figura 13 – Relé de Via	13
Figura 14 – Sistema de Contador de Eixos Instalado na Via.....	14
Figura 15 – Sistema de Contador de Eixos	15
Figura 16 – Evolução do Sistema NAVSTAR GPS.....	16
Figura 17 – Órbitas dos Satélites GPS	17
Figura 18 – Estações de Monitorização do GPS	18
Figura 19 – Controlo e uso do GPS.....	19
Figura 20 – Formato dos Dados do GPS.....	20
Figura 21 – DGPS.....	20
Figura 22 – Exemplo unidimensional.....	21
Figura 23 – Exemplo bidimensional.....	21
Figura 24 – Zonas do espaço possíveis com uma medição	22
Figura 25 – Zonas do espaço possíveis com duas medições.....	22
Figura 26 – Pontos do espaço possíveis com três medições	22
Figura 27 – Ruído de fundo	25
Figura 28 – Comparação do ruído de fundo com o código pseudo aleatório (I)	25
Figura 29 – Comparação do ruído de fundo com o código pseudo aleatório (II)	26
Figura 30 – <i>Code-phase</i> e <i>Carrier-Phase</i>	26
Figura 31 – Comparação entre os códigos do satélite e do receptor (I)	26
Figura 32 – Comparação entre os códigos do satélite e do receptor (I)	27
Figura 33 – Código C/A versus Portadora	27
Figura 34 – Determinação da Hora Precisa (I).....	28
Figura 35 – Determinação da Hora Precisa (II).....	28
Figura 36 – Determinação da Hora Precisa (III).....	28
Figura 37 – Determinação da Hora Precisa (IV).....	29
Figura 38 – Plano de Frequências	32
Figura 39 – Valores de Erro.....	33

Figura 40 – Número de Satélites visualizados num dia	33
Figura 41 – Entidades do sistema GSM	34
Figura 42 – Representação do problema em coordenadas cartesianas	38
3 – O SISTEMA DE COMUNICAÇÕES RÁDIO SOLO COMBOIO	
Figura 43 – Disposição Básica de uma Rede Rádio Solo Comboio	41
Figura 44 – 1º Sector da Linha do Norte	42
Figura 45 – PC, Consola de fonia e impressora	43
Figura 46 – Bastidor	43
Figura 47 – Posto de Regulador sem Integração	43
Figura 48 – Posto de Regulador com Integração	44
Figura 49 – Casa Abrigo, Torre e Antenas	45
Figura 50 – Bastidor	45
Figura 51 – Consola de fonia.....	45
Figura 52 – Posto Transportável	46
Figura 53 – Posto Portátil	47
Figura 54 – Consola de fonia.....	47
Figura 55 – Consola de fonia e Sub-bastidor	47
Figura 56 – Constituição do Posto Móvel	48
Figura 57 – Diagrama do Posto Móvel	49
Figura 58 – Transceptor SE550 CP-N.....	49
Figura 59 – Unidade de Recolha de Dados.....	49
Figura 60 – BG550 CP-N	49
Figura 61 – Diagrama Eléctrico do Posto Móvel.....	50
Figura 62 – Portas Série da Unidade de Recolha de Dados	51
Figura 63 – Esquema eléctrico de entradas e saídas digitais	51
Figura 64 – Esquema do Interface Áudio	53
Figura 65 – Antena do Posto Móvel	54
Figura 66 – Esquema do funcionamento da fonia via GSM	55
Figura 67 – Diagrama do Posto Móvel do Rádio Solo Comboio sem GSM.....	56
Figura 68 – Diagrama do Posto Móvel do Rádio Solo Comboio com GSM.....	56
Figura 69 – Posto Móvel com GSM.....	56
Figura 70 – Posto Móvel com GSM – Pormenor do <i>Modem</i> GSM	56
Figura 71 – Posto Móvel com GSM.....	57
Figura 72 – Unidade de Recolha de Dados com GSM.....	57
Figura 73 – <i>Modem</i> GSM	57
Figura 74 – <i>Diplexer</i> Utilizado.....	58
Figura 75 – Diagrama de Radiação do <i>Diplexer</i>	59
Figura 76 – Diagrama de Ligações do <i>Diplexer</i>	59
Figura 77 – <i>Modem</i> GSM	59
Figura 78 – Cartão SIM	59
Figura 79 – UQE com duas cabines de condução	60
Figura 80 – Antena <i>Dual Band</i>	61
Figura 81 – Diagrama do Permanente do Rádio Solo Comboio com GSM.....	61

Figura 82 – Estabelecimento de uma chamada de fonia, via GSM	61
Figura 83 – Envio de SDM via Rádio Solo Comboio.....	62
Figura 84 – Envio de SDM via GSM	62
Figura 85 – Envio de SDM para FA	63
Figura 86 – Transmissão de Dados via GSM	64
4 – EVOLUÇÃO DO RÁDIO SOLO COMBOIO	
Figura 87 – Diagrama de Blocos simplificado de um receptor GPS	66
Figura 88 – Receptor GARMIN	69
Figura 89 – Diagrama de Blocos do Receptor GARMIN.....	71
Figura 90 – Arquitectura Típica de Aplicação	71
Figura 91 – Diagrama de Bloco do Receptor Oncore	72
Figura 92 – Receptor GPS da Oncore	73
Figura 93 – ORD.....	77
Figura 94 – Aspecto da carta de Interface Universal <i>Octopuce</i>	77
Figura 95 – Diagrama de Blocos da Interface Universal.....	78
Figura 96 – Interface de Extensão para GPS (Carta Filha)	78
Figura 97 – Esquema Geral.....	79
Figura 98 – Esquema Funcional	79
Figura 99 – Antena de GPS da Oncore	79
Figura 100 – Diagrama de Radiação da Antena de GPS utilizada	80
Figura 101 – Esquema de Ligações do Posto Fixo.....	80
Figura 102 – Esquema de Ligações do Posto Móvel.....	80
Figura 103 – Imagem do Posto Móvel	81
Figura 104 – Imagem do Posto Fixo	81
Figura 105 – Imagem do Posto Fixo	81
Figura 106 – Janela do programa que permite a comunicação entre o Posto Móvel e o Fixo.....	82
Figura 107 – Programa de Localização das Coordenadas de GPS do Posto Móvel	82
Figura 108 – Localização do Posto Móvel	82
Figura 109 – Esquema de Ligação alternativa para o RSC com GPS, em túneis	84
Figura 110 – Cálculo da variação da distância percorrida	85
Figura 111 – Cobertura GSM num túnel (I).....	87
Figura 112 – Cobertura GSM num túnel (II).....	87
Figura 113 – Repetidor Exterior.....	87
Figura 114 – Repetidor Interior	87
Figura 115 – Repetidor exterior colocado à entrada do túnel	88
Figura 116 – Dois repetidores exteriores colocados nas entradas do túnel.....	88
Figura 117 – Cobertura GSM com redundância	88
Figura 118 – Cobertura em túneis com uma grande extensão	89
Figura 119 – Cobertura em túneis com uma grande extensão, com redundância.....	89
5 – OS SISTEMAS DE GESTÃO, COMUNICAÇÕES E DE SINALIZAÇÃO FUTUROS	
Figura 120 – Arquitectura Geral.....	93
Figura 121 – Arquitectura do Sistema <i>Train Office</i>	93
Figura 122 – Interior de uma Locomotiva equipada com <i>Train Office</i>	94

Figura 123 – <i>Tag</i>	94
Figura 124 – <i>Hand Helds</i>	94
Figura 125 – Alocação de Frequências na Gama dos 900 MHz	95
Figura 126 – Fluxograma para Especificação e Validação do GSM-R.....	96
Figura 127 – Aplicações do GSM-R, identificadas pelo EIRENE	97
Figura 128 – Arquitectura completa do sistema GSM	98
Figura 129 – Arquitectura do GSM-R, para vias de baixa velocidade e áreas rurais	100
Figura 130 – Arquitectura do GSM-R, para vias equipadas com o ETCS	101
Figura 131 – Estrutura de rede totalmente duplicada, com células de rádio <i>overlay</i>	102
Figura 132 – Mapa de um planeamento típico de uma rede de rádio	104
Figura 133 – Participação das diversas organizações, no ERTMS	107
Figura 134 – Estrutura global do Sistema ETCS	107
Figura 135 – Diagrama funcional do ETCS	108
Figura 136 – Comunicações operacionais de voz e funções requeridas do GSM-R.....	109
Figura 137 – Endereçamento funcional (principais encaminhamentos)	110
Figura 138 – Endereçamento dependente da localização (I)	112
Figura 139 – Endereçamento dependente da localização (II)	113
Figura 140 – Típico <i>broadcast</i> de voz para uma área de serviço dedicada	116
Figura 141 – Chamada ferroviária de emergência	117
Figura 142 – Transmissão contínua do código para o sistema ATP	117
Figura 143 – Balizas de Transmissão de código para o sistema ATP.....	118
Figura 144 – Par de Balizas	118
Figura 145 – Localização das Balizas ao longo da Via	119
Figura 146 – Paragem ao Sinal usando o sistema ATP Intermitente	119
Figura 147 – Introdução de uma Baliza intermédia para actualização do Sistema ATP a bordo	119
Figura 148 – Sinalização de Cantão Móvel – Principio Teórico do Sistema.....	120
Figura 149 – Transmissão Rádio para o sistema de Cantão Móvel	121
Figura 150 – Uso de áreas no CTBC e dos procedimentos de <i>Handover</i> entre elas	121
Figura 151 – Sistema SELTRAC da Alcatel	122
Figura 152 – No futuro todos estes sistemas serão substituídos pelo ERTMS/ETCS.....	124
Figura 153 – Antena	126
Figura 154 – STM.....	126
Figura 155 – MMI	127
Figura 156 – EUROBALISE	127
Figura 157 – Nível 1 com EUROBALISE sem permissão da libertação da ordem de frenagem	128
Figura 158 – Nível 1 com EUROBALISE com permissão da libertação da ordem de frenagem	128
Figura 159 – Nível 2 do ERTMS/ETCS	129
Figura 160 – Nível 3 do ERTMS/ETCS	129
Figura 161 – Arquitectura do Equipamento de Via	130
Figura 162 – Arquitectura do Equipamento a Bordo.....	131
Figura 163 – ATLAS 100	132
Figura 164 – ATLAS 200	133
Figura 165 – ATLAS 300	134

6 – CONCLUSÕES E VISÃO DO FUTURO

Figura 166 – Possibilidade de interoperacionalidade, em cada camada	138
Figura 167 – Futuro das Comunicações Ferroviárias em Portugal	143

ÍNDICE DE TABELAS

1 – INTRODUÇÃO

2 – SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO

Tabela 1 – Frequências dos CdV UM71	10
Tabela 2 – Factores que afectam a precisão	30
Tabela 3 – Precisões do Sistema	31
Tabela 4 – Precisões Locais do Sistema	31
Tabela 5 – Modulação dos Sinais	32

3 – O SISTEMA DE COMUNICAÇÕES RÁDIO SOLO COMBOIO

Tabela 6 – Tabela das frequências do RSC	42
Tabela 7 – Funções em modo GSM	60
Tabela 8 – Modo de funcionamento do <i>Led</i>	60

4 – EVOLUÇÃO DO RÁDIO SOLO COMBOIO

Tabela 9 – Protocolo do Interface	73
Tabela 10 – Mensagens NMEA 0183 suportadas	75
Tabela 11 – Tabela de Estados	85
Tabela 12 – Cálculo do erro cometido	86

5 – OS SISTEMAS DE GESTÃO, COMUNICAÇÕES E DE SINALIZAÇÃO FUTUROS

Tabela 13 – Tempos de estabelecimento de chamadas definidos pelo EIRENE	99
Tabela 14 – Parâmetros de QoS para o GSM-R (ETCS)	103
Tabela 15 – Redes de ensaio MORANE	105
Tabela 16 – Características adicionais para o GSM-R	106
Tabela 17 – Exemplo de entradas para a base de dados, para o LDA	112

6 – CONCLUSÕES E VISÃO DO FUTURO

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 – Motivação e Enquadramento

Com o aparecimento de novas tecnologias, os sistemas de comunicações foram evoluindo, existindo actualmente um sistema celular privado da REFER (Rede Ferroviária Nacional, EP), designado por Sistema Rádio Solo Comboio, permitindo estas comunicações de voz e dados.

O Rádio Solo Comboio (RSC) é um sistema de transmissão que visa essencialmente a comunicação entre o agente regulador da circulação e os maquinistas com o objectivo de transmitir informações auxiliares de exploração. Para esse efeito, a linha ferroviária encontra-se dividida em vários troços, denominados por sectores de regulação. Em cada sector de regulação funciona um sistema de Rádio Solo Comboio independente, existindo um canal de voz que permite estabelecer as seguintes comunicações:

- Agente regulador ↔ Maquinista (função mais usual)
- Agente regulador ↔ Revisor
- Agente regulador ↔ Passageiros
- Agente regulador ↔ Estação
- Estação ↔ Maquinista

Por concepção do sistema, apenas é possível o estabelecimento de uma única comunicação de fonia em cada momento. A gestão da prioridade das comunicações é assegurada pelo agente regulador. É também possível estabelecer comunicação a partir da rede telefónica interna da REFER TELECOM, para o interior dos comboios – e vice versa – utilizando o canal de voz. Este tipo de comunicações passa sempre pelo agente regulador que a autoriza, que lhe concede uma ordem de prioridade e que efectua a comutação necessária à ligação entre as duas redes. Esta facilidade é actualmente utilizada apenas para comunicação entre o permanente de tracção e os maquinistas.

O canal de voz pode difundir uma mensagem de alarme desencadeada por qualquer agente (regulador, maquinista ou chefe de estação), mensagem essa que se sobrepõe às outras comunicações e é recebida por todos os postos.

O débito de informação do sistema Rádio Solo Comboio permite a transmissão de dados, mas com capacidade muito limitada. Actualmente, o Rádio Solo Comboio transmite dados relativos a informações do tipo número de marcha do comboio, estado do ATP (*Automatic Train Protection*), estação base, etc., dados esses que são recolhidos num computador central dedicado para o efeito e partilhados através da rede informática interna pelos órgãos interessados.

Os sistemas de sinalização simplificada utilizando a comunicação entre o posto de comando e o maquinista com base no sistema ETCS (*European Train Control System*), cuja aplicação é desejável para determinadas linhas da REFER, requerem como suporte um sistema de transmissão de muito maior débito que o Rádio Solo Comboio. Para além de um canal de voz, deverão ser consideradas múltiplas transmissões de dados do posto de comando para as cabines de condução em circulação, e vice versa, nomeadamente:

- envio de mensagens de pedido e autorização de avanço entre o posto de comando e os diferentes comboios;
- envio de mensagens do posto de comando para a cabine de condução, com indicação das velocidades máximas para diferentes troços e indicações de alteração de marcha;
- envio de mensagens cadenciadas dos comboios para o posto de comando, com a indicação da distância percorrida e da velocidade instantânea;
- envio de mensagens do comboio para o posto de comando associadas à passagem por uma baliza, se estas forem instaladas para separação de cantões ou para sincronismo da posição dos comboios.

Este cenário conduz a uma transmissão simultânea de mensagens por diferentes canais, e a uma frequência elevada de envio de mensagens por canal. O sistema de comunicação a utilizar deverá ser concebido por forma a permitir a transmissão segura dos dados, que não introduza atrasos e que garanta o processamento de todas as mensagens necessárias sem congestionamento. Essas prerrogativas são satisfeitas, utilizando uma rede pública de GSM (*Global System for Mobile Communication*), na modalidade de SMS (*Short Message Service*) e a médio prazo, utilizando uma rede GSM dedicada, denominada por GSM-R (*Global System for Mobile Communication for Railway applications*).

Um sistema assim desenvolvido e aplicado em linhas para isso vocacionadas, com a função de sinalização, de comando e controlo da circulação, pode complementarmente absorver as funções desempenhadas pelo actual Rádio Solo Comboio (funções auxiliares ao comando da circulação).

1.2 – Objectivos

A gestão de transportes público implica que uma grande parte do orçamento seja gasta na segurança desses mesmos transportes. Nas empresas ferroviárias, este facto ganha especial importância, pelo que a correcta gestão e localização de comboios é fundamental. Vários sistemas de localização têm sido utilizados mas com elevados custos, pois normalmente implicam alterações físicas de toda a rede.

Com o aparecimento das telecomunicações, principalmente com as comunicações rádio, novos sistemas surgiram, permitindo não só a localização de comboios mas também o aumento da segurança, principalmente devido à possibilidade de transmissão de dados entre o maquinista e o regulador.

No entanto, recentemente os sistemas de rádio para utilização pública tiveram uma grande proliferação, aumento das suas capacidades e cobertura, um desses exemplos é a rede GSM. Portanto, o passo lógico seguinte para aumentar a quantidade de serviços será utilizar um sistema equivalente ao GSM.

Por isso, é fundamental compreender o sistema GSM e integrá-lo com o sistema actual, pois a transição em sistemas reais como estes não se pode realizar abruptamente, além disso a rede actual de GSM é pública, pelo que a responsabilidade de segurança dos comboios não pode transitar completamente para as mãos de entidades externas, que se sabem ser falíveis.

Recentemente, integrou-se o sistema Rádio Solo Comboio com a rede pública GSM e utilizam-se os dois sistemas simultaneamente, permitindo não só ter todos os serviços anteriores, como também acrescentar novos serviços sobre o GSM.

Um desses novos serviços seria o envio da posição real do comboio. Essa posição pode ser lida através de um módulo GPS (*Global Positioning System*) e ser enviada periodicamente para o posto regulador, através do sistema Rádio Solo Comboio, permitindo assim fazer uma monitorização real do comboio sobre a rede ferroviária. Este é o principal objectivo da presente dissertação de Mestrado.

Ultimamente, novos projectos de redes móveis para comboios, têm surgido na indústria especializada. Um dos mais importantes é o GSM-R, que abandona completamente o sistema Rádio Solo Comboio e não utiliza redes públicas GSM, criando de raiz uma rede totalmente autónoma de GSM para a rede ferroviária. Este novo sistema terá especificações próprias e diferentes do sistema GSM público actual, sendo necessário um estudo pormenorizado do mesmo, para ser possível integrar aí o sistema de localização desenvolvido no âmbito da presente dissertação de Mestrado.

1.3 – Estrutura

Este documento encontra-se estruturado em 6 capítulos organizados da seguinte forma.

No capítulo 2 é feita uma descrição dos sistemas de localização existentes, nomeadamente os que têm por base o sistema GPS, sendo este descrito detalhadamente. Faz-se também referência aos sistemas de localização de comboios actuais existentes ao longo da linha ferroviária, assim como, as possibilidades de localização via GSM.

No capítulo 3 é abordado e descrito o sistema Rádio Solo Comboio e as suas evoluções ao longo do tempo, tendo em vista a resposta às necessidades crescentes de desempenho e de operacionalidade que se espera de uma rede de comunicações ferroviária.

No capítulo 4 é descrito a forma de integração do sistema GPS no sistema Rádio Solo Comboio, assim como, uma possível solução a implementar futuramente para a falha do sistema GPS em ambientes fechados, por exemplo, em túneis.

No capítulo 5 são descritos alguns sistemas de gestão de tráfego ferroviário (*Train Office*), de comunicações ferroviárias futuros (GSM-R) e de sinalização ferroviária (ERTMS/ETCS – *European Rail Traffic Management System/European Train Control System*). Todos estes sistemas irão complementar-se e estão, actualmente, todos numa fase de implementação em diversos países europeus.

Por fim, no capítulo 6 apresentam-se as conclusões desta dissertação, assim como, uma visão para o futuro dos caminhos de ferro europeus com a integração dos vários sistemas actuais e futuros descritos ao longo desta dissertação.

CAPÍTULO 2

SISTEMAS DE LOCALIZAÇÃO

2.1 – Introdução

Há muito que a espécie humana necessita de se orientar. É a partir dos primórdios da navegação que se constata um número crescente de inventos, assistindo o homem nas suas viagens, tais como, compasso, astrolábio e bússola. Actualmente o conceito de localização baseado em sistemas muito mais avançados, baseando-se em sinais electromagnéticos, com altas taxas de transmissão e de precisão. Através destes sistemas podemos gerir centralmente frotas de veículos e fundamentalmente, assegurar condições de segurança colaterais, nomeadamente numa gestão da circulação ferroviária.

Neste capítulo, irão ser descritos os sistemas de localização ferroviária actuais, que pela sua fiabilidade e segurança são bastante utilizados em sistemas de sinalização integrados. Com o objectivo de integrar o sistema de localização mais utilizado no meio civil, o sistema GPS, para possibilitar aos operadores ferroviários mais uma ferramenta de gestão da sua frota, foi feito neste capítulo, um estudo do sistema GPS, nomeadamente ao nível do seu conceito básico de funcionamento, ou seja, a triangulação. Por fim e com a expansão das redes móveis de GSM apresenta-se um exemplo da utilização deste sistema para localização de Postos Móveis, terminando com uma comparação crítica com o sistema GPS

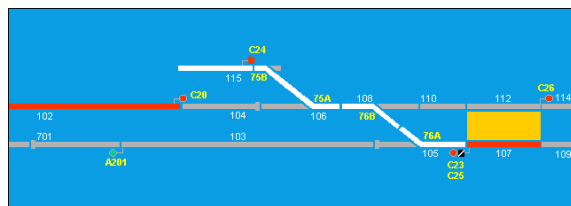
2.2 – Sistemas de Localização Ferroviária

Com o sistema de Controlo Tráfego Centralizado (CTC) permite-se, a partir de uma estação, visualizar, comandar e administrar toda a circulação numa linha ferroviária. A partir de um sistema de projecção vídeo serão visualizadas as localizações dos comboios, os aspectos dos sinais (informação luminosa), a posição das agulhas e o estado das passagens de nível, entre muitas outras informações. O CTC possibilitará aos operadores, com uma visão global da linha, uma resposta em tempo real a todas as situações que possam ocorrer. Este sistema, constituído com ferramentas auxiliares de visualização de horários previstos e de informação em tempo real de atrasos ou

processamento informático (neste caso, o local encontra-se sinalizado a verde ou a branco).



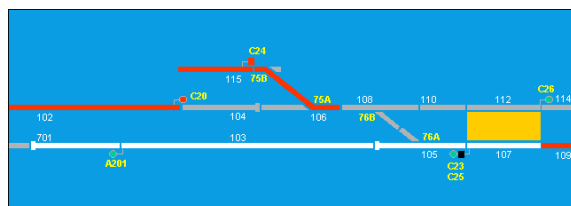
a) Itinerário realizado de uma linha geral da estação para uma linha desviada.



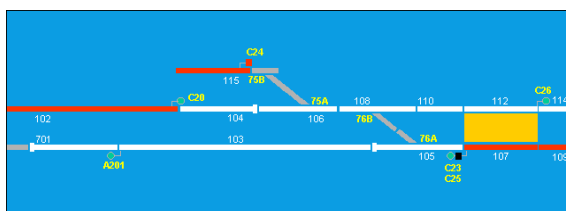
b) Um segundo comboio aguarda a sua vez de avançar para a estação.



c) O comboio inicia o deslocamento para a linha desviada.



d) Chegada de um terceiro comboio com itinerário já realizado pela linha geral. Continuação do deslocamento do primeiro comboio.



e) Fim do deslocamento do primeiro comboio. Realização do itinerário para o segundo comboio que aguardava à entrada da estação.

Figura 2 – Localização de comboios

2.2.1 – Circuitos de Via

Os Circuitos de Via são sistemas utilizados para uma localização mais precisa de comboios, podendo variar o seu comprimento, entre a emissão e a recepção, entre algumas dezenas de metros, até aos 1500 metros aproximadamente. São bastante úteis em zonas de estação, onde existe maiores necessidades de pontos de informação precisa e também porque permitem a detecção de um carril partido, visto que, utilizam-nos como seus condutores. Um Circuito de Via (CdV) é constituído essencialmente por:

- 1) Um gerador ligado, em regra, a uma das extremidades da zona que se pretende cobrir. Este gerador pode ser uma fonte de corrente contínua ou alternada, modulada ou não, ou ainda, um emissor de impulsos.
- 2) Uma linha de transmissão formada principalmente pelas duas filas de carris. Estas filas devem ter boa condutibilidade eléctrica e estar suficientemente isoladas entre si e em relação à terra. Em cada uma das extremidades da zona, elas estão limitadas electricamente:
 - ▶ por Juntas Isolantes (JI), de tipo mecânico, coladas ou não;
 - ▶ por circuitos com impedâncias, denominados Juntas Eléctricas de Separação (JES).
- 3) Um receptor ligado na outra extremidade da zona.

Este receptor pode ser um simples relé ou um dispositivo que receba a corrente transmitida pela via e que pode mesmo efectuar a filtragem, a amplificação, bem como a transformação da energia ou do sinal recebido, permitindo a excitação dum relé, designado por relé de via. Um bom funcionamento dum circuito de via traduz-se por:

- ▶ Excitação do seu relé de via, quando a zona está livre (Figura 3).
- ▶ Queda do seu relé de via, no caso contrário (Figura 4).

Como já foi dito, a delimitação dos circuitos de via pode ser feita por juntas isolantes, coladas ou não, ou por juntas eléctricas de separação. Estas asseguram que o retorno da corrente de tracção se possa fazer pelos dois carris, sem qualquer interrupção, evitando a fragilidade relativa da junta mecânica (corte nos carris que permite a realizar secções de via independentes), bem como as pancadas dos rodados que aí se verificam.

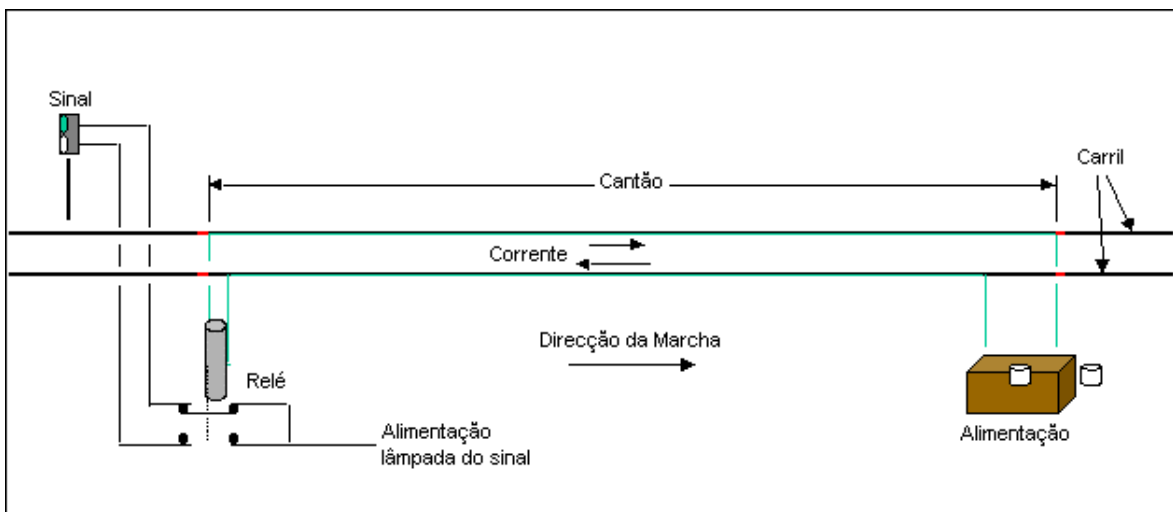


Figura 3 – Circuito de Via livre

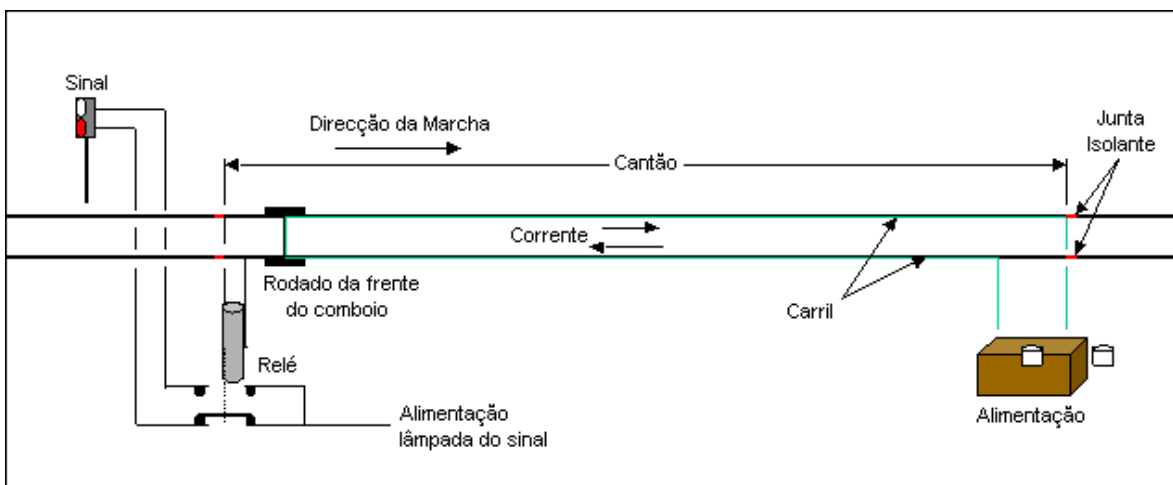


Figura 4 – Circuito de Via ocupado

Seguidamente apresenta-se uma descrição resumida dos Circuitos de Via mais utilizados actualmente, nas vias ferroviárias: Circuito de Via UM71 e Circuito de Via de Impulsos de Tensão Elevada (ITE).

2.2.1.1 – Circuito de Via UM 71

O Circuito de Via UM71 pode ser aplicado em vias com ou sem juntas mecânicas, sendo recomendada pelo fabricante a compensação da via para circuitos com comprimentos superiores a 500 metros, dado o carácter indutivo que esta apresenta para a gama de frequências utilizadas (de 1700 a 2600 Hz). Por este facto este Circuito de Via é pouco imune a interferências electromagnéticas existentes na via, como por exemplo, frequências originadas em motores de tracção *diesel* ou retorno de correntes de tracção.

A – Shunts

O *shunt* limite de funcionamento¹ é o valor da resistência não indutiva mais elevada que, ligada entre as filas de carris da zona isolada, provoca a queda do relé de via, quando estão reunidas as condições mais desfavoráveis para a queda deste. O *shunt* de ensaio é o valor de resistência escolhido para ser utilizado nos ensaios de *shunt* dos circuitos de via, quando se efectuam as suas regulações, calibrações e controlos.

As condições de *shunt* do material circulante dependem de numerosos factores, com destaque para o estado dos seus eixos e para a resistência de contacto roda-carril, que depende da pressão efectiva exercida pela roda sobre o carril. Há, no entanto, eixos ou rodas deliberadamente isolados, como é o caso de vários veículos utilizados pela via, para reparação/manutenção da catenária.

A segurança de funcionamento dos encravamentos realizados pelos circuitos de via implica que estes detectem imediatamente a presença de qualquer *shunt* (ausência de temporização à queda). Além disso, dado que o funcionamento do circuito de via pode ser alterado por numerosas causas exteriores, é sobretudo necessário evitar as consequências de eventuais perdas breves do *shunt*, por meio duma temporização à tracção. Esta temporização pode estar ou não integrada no receptor do circuito e é, em geral, de 2 segundos, embora se possa recorrer a valores superiores, se necessário.

B – Delimitação dos Circuitos de Via UM71

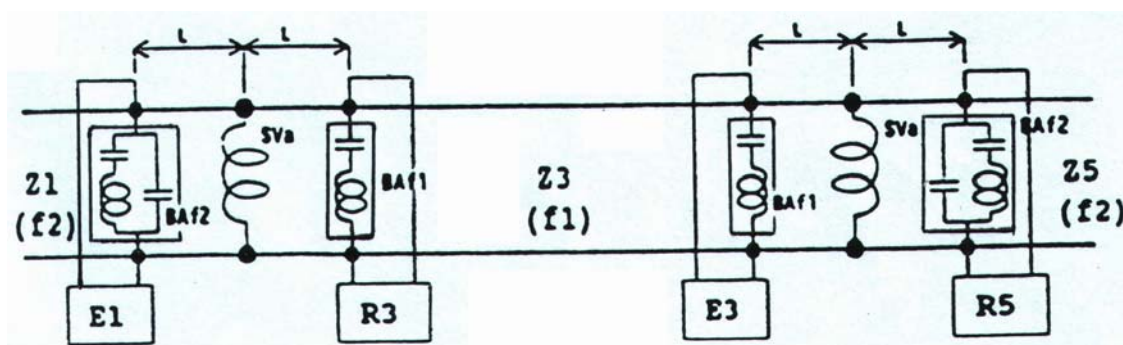


Figura 5 – Delimitação dos CdV UM71

O conjunto auto-transformador + indutância dos carris + blocos de sintonia (BA1 e BA2), conforme se representa na Figura 5, apresenta simultaneamente para cada circuito de via:

- Uma impedância terminal suficiente para permitir o funcionamento normal dos equipamentos de emissão e de recepção.

¹ Normalmente, nas normais condições de funcionamento, o *shunt* num Circuito de Via é feito através dos rodados dos comboios. Esta é a forma básica de detectar um comboio num Circuito de Via.

- ▶ Uma impedância muito baixa, para impedir a propagação da sua frequência para fora dos seus limites.

Além disso, dada a sua muito baixa impedância para a frequência da corrente de tracção, devido à presença do auto-transformador, assegura o reequilíbrio da corrente de retorno de tracção, se houver um desequilíbrio importante ou se se verificar um carril partido. Esquematicamente, teremos, para uma sequência de 3 zonas (Z1, Z3 e Z5):

No caso de juntas isolantes, a continuidade do circuito de retorno da corrente de tracção é conseguida, sem afectar o funcionamento dos CdV, utilizando auto-transformadores com enrolamento de grande secção (feito com “barra”), com tomada no seu ponto médio. São as Caixas Indutivas (CI) ou “ligações indutivas”, mencionadas aquando dos CdV ITE, mais adiante.

C – Princípio de Funcionamento

Os CdV UM71 utilizados em Portugal são de corrente alterna de frequência compreendidas entre 1700 e 2600 Hz. Devido às fugas longitudinais e à diafonia transversal, os CdV instalados em vias paralelas devem funcionar com frequências diferentes. Estabeleceram-se quatro frequências base, duas por cada via:

- ▶ para a via V1, 1700 e 2300 Hz;
- ▶ para a via V2, 2000 e 2600 Hz².

O sinal emitido (Figura 6), é modulado em frequência, para assegurar uma protecção contra as correntes parasitas e as harmónicas da corrente de tracção produzidas quer pelos motores eléctricos quer pelos restantes equipamentos existentes a bordo dos comboios.

A modulação ou desvio de frequência é de 10 Hz em relação à frequência nominal, mudando automaticamente ao fim de 64 períodos, o que significa que ao fim de 128 períodos se repete a situação inicial.

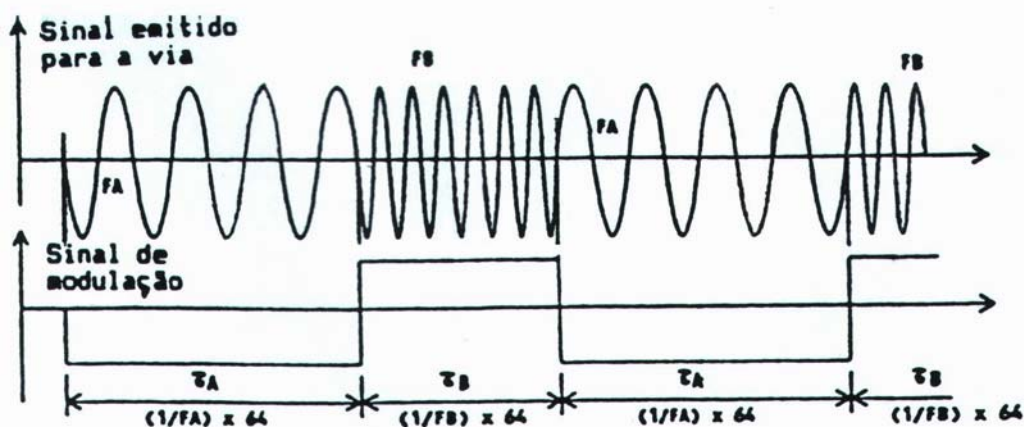


Figura 6 – Forma dos Sinais emitidos

D – Frequências Reais

Consequentemente, as frequências que realmente se encontram na via não são nominais, mas outras afastadas de 10 Hz, como se mostra na Tabela 1.

² Numa via dupla, a via V1 poderá ser a via ascendente, enquanto que a via V2 seria a via descendente.

<i>Frequência Base (Hz)</i>	<i>Frequências Reais (Hz)</i>	
	<i>FA</i>	<i>FB</i>
V1F1 (1700)	1690	1710
V1F2 (2300)	2290	2310
V2F1 (2000)	1990	2010
V2F2 (2600)	2590	2610

Tabela 1 – Frequências dos CdV UM71

E – Compensação da Via

Devido ao seu carácter indutivo, para a gama de frequências destes CdV, a via introduz uma forte atenuação. Para melhorar as condições de transmissão entre a emissão e a recepção, há que introduzir na via condições que reduzam a causa da atenuação. Portanto, para contrariar o efeito indutivo, recorre-se a condensadores, ditos condensadores de compensação.

Os condensadores de compensação têm uma capacidade de 22 μ F e são dispostos de forma regular ao longo dos carris. Com a via “compensada”, a distribuição da amplitude do sinal ao longo da via passa a fazer-se de forma ondulatória e atenuada, embora com uma atenuação muito inferior à da via não compensada.

2.2.1.2 – Circuitos de Via ITE

O CdV ITE é mais recente do que o CdV UM71, encontrando-se instalado principalmente em estações e apresenta uma maior imunidade a interferências electromagnéticas do que os CdV UM71. Também é usado para accionamento automático de passagens de nível. É um equipamento cuja aplicação requer juntas mecânicas, coladas ou não, e que, em certas condições, pode atingir comprimentos da ordem dos 1500 metros.



Figura 7 – Circuito de Via ITE

A – Delimitação dos Circuitos de Via ITE

Os circuitos de via de impulsos de tensão elevada (Figura 7) são delimitados apenas por juntas isolantes associadas a ligações indutivas. Estas CI asseguram a continuidade do retorno da corrente de tracção, sem afectar o funcionamento dos CdV, pois são constituídas por auto-transformadores com núcleo de ferro e enrolamento de grande secção (feito com “barra”), com tomada no seu ponto médio. O enrolamento “fio fino” das CI está bobinado sobre o mesmo circuito magnético que o enrolamento “barra”, pelo que o conjunto se comporta como um transformador. A utilização da CI exclui a possibilidade de usar CdV de corrente contínua.

No cabo (ou cabos) ligando os pontos médios de duas CI adjacentes circula a corrente de retorno de tracção, que é a soma das correntes que circulam em cada um dos carris e que atravessam, em sentidos opostos, os meios enrolamentos das CI, resultando uma pequena magnetização do seu núcleo, dado que os campos produzidos, sendo opostos e de valor semelhante, tendem a anular-se. Se a via estiver electricamente desequilibrada, a corrente que circula num carril passa a ter um valor bastante diferente da que circula no outro e o campo magnético resultante na CI afasta-se de zero, podendo o funcionamento do CdV vir a ser perturbado por:

- ▶ saturação da CI (Queda do relé de via);
- ▶ indução no secundário da CI, devida à corrente de tracção e suas harmónicas.

Por isso, é necessário que as intensidades da corrente de retorno em cada uma das filas de carris duma zona isolada sejam sensivelmente do mesmo valor, sendo admissível um desequilíbrio da ordem de 10% do valor nominal. De facto, tem-se verificado, na prática, que uma assimetria da ordem dos 30 A é já suficiente para distorcer o sinal e, portanto, impedir o funcionamento dos circuitos de via. A corrente necessária ao funcionamento do CdV circula em sentidos opostos, em ambos os carris, fechando-se através do enrolamento “fio grosso” da CI de recepção, cujo enrolamento atravessa na totalidade e sempre no mesmo sentido, pelo que induz no secundário (enrolamento “fio fino”) uma tensão que vai ser aplicada ao receptor do CdV, conforme se visualiza na Figura 8.

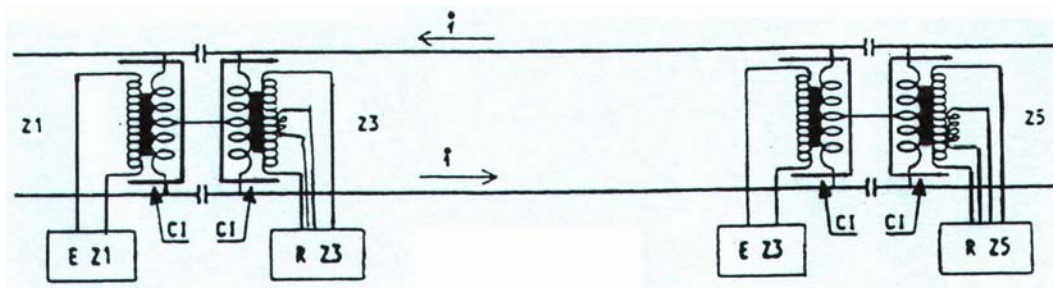


Figura 8 – Delimitação dos Circuitos de Via

B – Princípio de Funcionamento

O emprego do CdV de ITE é especialmente adequado nos casos em que o estado dos carris ou dos rodados não permite obter um bom contacto eléctrico entre a roda e o carril, devido, entre outras causas, à sua oxidação. Os impulsos de tensão e de potência elevadas asseguram a ruptura das películas isolantes e a diminuição das resistências de contacto.

Por esta razão, os ITE devem ser empregues nas estações, sobretudo nas linhas que, devido a menor utilização, contenham zonas em que o *shunt* de outros tipos de CdV possa ser difícil. As suas utilizações em plena via devem ter em consideração que a potência dos impulsos diminui muito rapidamente com a distância à emissão, pelo que o CdV pode perder as suas características particulares do *shunt* numa parte do seu comprimento.

O seu funcionamento baseia-se na utilização de impulsos de curta duração, separados por intervalos relativamente longos. Isto permite a injeção na via de tensões da ordem da centena de Volt com uma potência instantânea de alguns kW, mas com uma potência média que se situa na casa dos 50 VA. Os impulsos tem forma assimétrica e são produzidos por um bloco emissor com uma cadência de 176 por minuto (cerca de 3 por segundo). Os esquemas da Figura 9 e da Figura 10 ilustram o princípio de funcionamento deste CdV. O condensador CE carrega-se através do enrolamento da CIA (CI da Alimentação), enquanto o tiristor S1 não conduz. Quando este tiristor recebe um comando adequado, passa ao estado de condução, provocando a descarga de CE através da CIA, o que induz uma tensão no secundário respectivo, que está ligado à via. A repetição destas descargas é comandada por uma base de tempo, à cadência já referida de 176 impulsos por minuto.

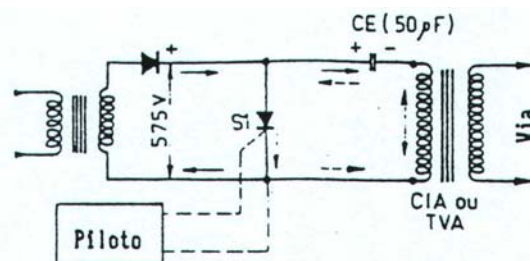


Figura 9 – Bloco Emissor (I)

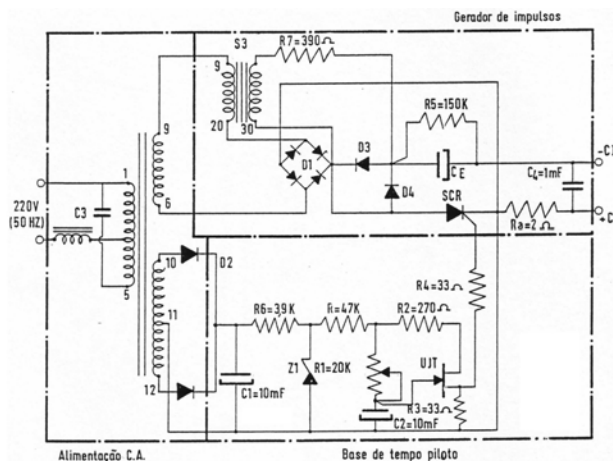


Figura 10 – Bloco Emissor (II)

Os impulsos de alta tensão são obtidos pela descarga, comandada pelo tiristor (SCR), do condensador CE sobre uma bobina (CIA ou TVA) e transferidos para a via através do seu secundário. A cadência destes disparos é produzida pelo circuito da base de tempo, em que o conjunto R3-C2 comanda o transístor unijunção UJT, que vai fazer disparar o tiristor (SCR). Quando a tensão aos terminais do condensador C2, que se carrega via R3, atinge o valor que inicia a condução do transístor unijunção, este provoca o disparo do tiristor e, simultaneamente, a descarga do condensador C2, reiniciando-se assim o ciclo de carga, quer de C2 quer de CE. A forma de onda resultante é a que está representada na Figura 11.

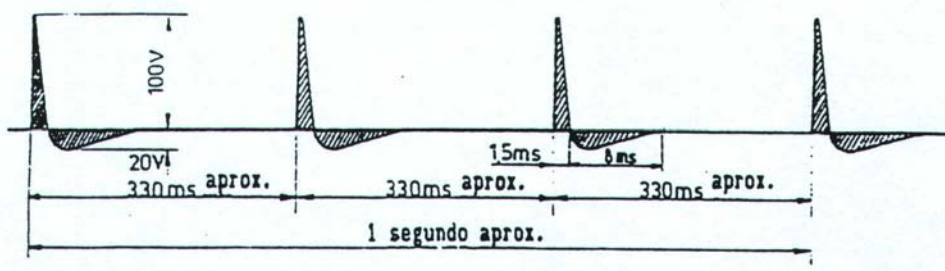


Figura 11 – Forma e Característica dos Impulsos

Na recepção, os impulsos são transferidos para o relé de via através do bloco receptor. Este conjunto faz com que o relé não possa excitar-se ou manter-se se a energia recebida não for suficiente ou se a relação entre as partes positiva e negativa dos impulsos não estiver compreendida entre limites convenientes. E isto exclui qualquer possibilidade de excitação ou de manutenção intempestiva por correntes parasitas continuas ou de forma sinusoidal.

O receptor é bastante simples, limitando-se a rectificar separadamente os impulsos positivos e os impulsos negativos, carregando, respectivamente, os condensadores C1 e C2, que irão assim conservar a energia suficiente para manter o relé de via excitado durante o período em que não ocorrem novos impulsos. O bloco receptor é alimentado pela própria energia proveniente da via e é composto por duas células integradoras, I e II, cujos números de espiras são escolhidos por forma a obter tensões da mesma ordem de grandeza nos terminais dos condensadores C1 e C2, respectivamente carregados pela parte negativa e pela parte positiva de cada impulso, através dos díodos D1 e D2, conforme mostra no esquema da Figura 12.

O relé de via (Figura 13) é constituído por dois elementos, V1 e V2, de impedâncias elevadas, alimentados pelos condensadores C1 e C2 do bloco receptor, carregados respectivamente com as tensões UC1 e UC2. O elemento V1 (de 6.800 ohm) é constituído por dois enrolamentos:

- ▶ N1 (de 40.400 espiras), colocado no ramo B1 do circuito magnético, onde cria um fluxo F1;
- ▶ N2 (de 17.800 espiras), colocado no ramo B2, onde cria um fluxo f1.

O elemento V2 (de 24 000 ohm) com um único enrolamento :

- ▶ N2 (de 144.000 espiras), colocado no ramo B2, onde cria um fluxo f2.

Devido à disposição das espiras no ramo B2, os fluxos f1 e f2 opõem-se um ao outro e a sua resultante F2 é igual a $f2 - f1$. Em funcionamento normal, F1 e F2 são do mesmo sentido e adicionam-se no ramo B3, bem como na armadura móvel, cuja atracção é provocada se cada um dos fluxos ultrapassar 80 A.e (Ampere.espira). Se $F1 + F2$ se tornarem inferiores a 70 A.e, o relé cai.

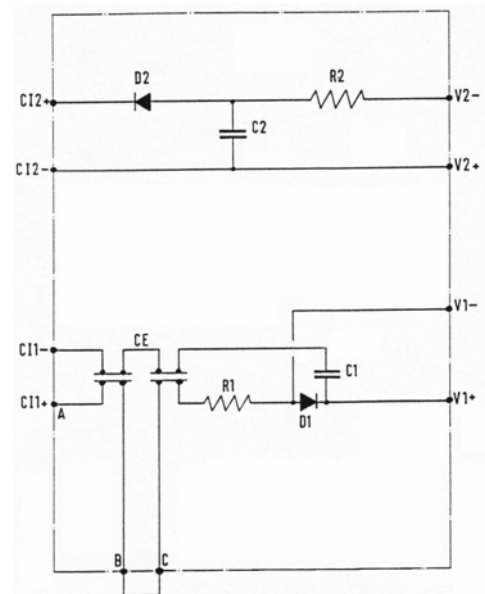


Figura 12 – Bloco Receptor

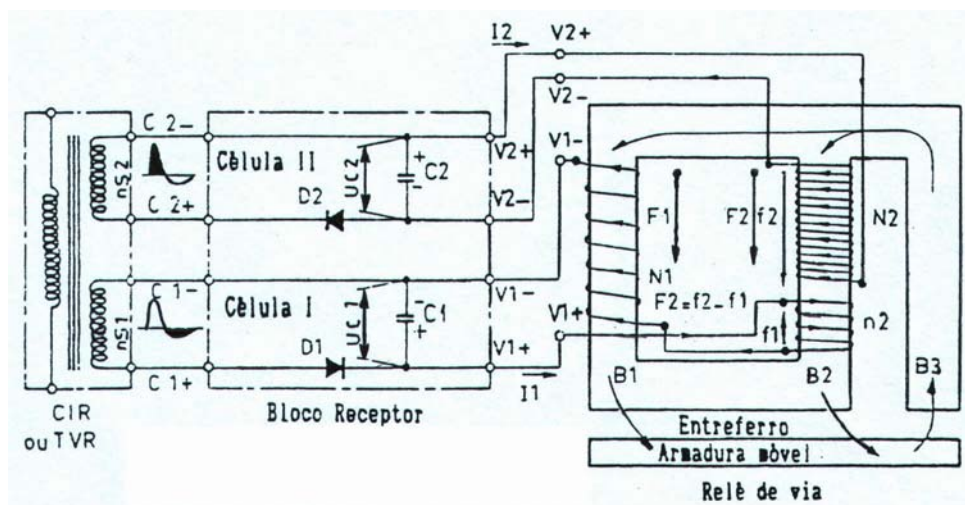


Figura 13 – Relé de Via

2.2.2 – Sistema de Contadores de Eixos

O sistema de Contadores de Eixos é utilizado para uma localização menos precisa de comboios, podendo variar o seu comprimento, entre a emissão e a recepção, até às dezenas de quilómetros. Este sistema não permitem a detecção de um carril partido, visto que, não utilizam os carris como condutores. O sistema de contadores de eixos é um equipamento vital para a detecção de comboios sendo uma alternativa ao sistema de circuitos de via.



Figura 14 – Sistema de Contador de Eixos Instalado na Via

Este sistema automático de monitorização da ocupação da linha é feito através de um contador de eixos, colocado junto aos carris (Figura 14). É geralmente usado para monitorizar secções de cantão e pode operar, independentemente do estado da via ou do comprimento da secção dessa via.

2.2.2.1 – Descrição Funcional

Os sistemas de contadores de eixos são usados para monitorização automática da ocupação da via. São os mais úteis em blocos de secção de via, onde existe um balastro fraco, em túneis, onde as condições climatéricas são bastante húmidas ou como cobertura a uma zona com circuitos de via (como sistema redundante).

O sistema de contadores de eixos, consiste numa unidade central, em linhas de transmissão e dois pontos de detecção que marcam o fim da secção de linha a ser monitorizada. Cada ponto de detecção consiste numa caixa de ligação electrónica e numa zona em contacto com o carril. Existem dois tipos de pontos de detecção que diferem unicamente na sua frequência de transmissão. Este pontos de detecção têm a tarefa de contarem os eixos individuais do comboio que está a passar nesse local.

Na zona de contacto com o carril existe duas partes idênticas (Figura 15). Cada uma, possui uma cabeça transmissora e outra receptora, colocadas uma no lado interior e outra no lado exterior do carril. A caixa electrónica de ligação é montada perto da linha e tem a tarefa de encaminhar os impulsos vindos do carril, para um cabo de telecomunicações para a unidade central. O sistema de contadores de eixos, detecta os eixos assim que estes entram na secção da via controlada pelos pontos de detecção, e do mesmo modo, assim que saem dessa secção. A ocupação da via é determinada com a ajuda de um ponto contador que é incrementado por cada eixo que entra nessa secção de via e decrementado por cada eixo que sai dessa secção. Quando o contador está a zero, a via encontra-se livre.

O sistema de contadores de eixos usa o verdugo³, como o critério da detecção do eixo, de modo a diferenciar com outras partes de metal como a zona dos freios electromagnéticos. Para além da detecção através da contagem dos eixos, este sistema detecta a direcção de viagem do comboio de modo a estabelecer se os eixos estão a entrar ou a sair da secção de via monitorizada. Posteriormente, num armário, ao longo da via, encontra-se uma unidade que consiste num

³ A parte mais saliente da roda de um veículo ferroviário, que o mantém firme no carril.

avaliador do contador de eixos e se necessário um outro avaliador necessário, como os CdV para locais com necessidade de maior precisão ou de vigilância das condições da via (carril partido).



Figura 15 – Sistema de Contador de Eixos

2.2.2.2 – Benefícios da Utilização de Contadores de Eixos

Eis alguns dos benefícios, na utilização do sistema de contadores de eixos, nos sistemas de sinalização ferroviária:

- ▶ Bastante usado em áreas entre estações, em secções de linha funcionando por blocos, e em túneis, onde as condições climáticas são bastante desfavoráveis (humidade, água, etc.).
- ▶ Funcionamento independente do estado da via.
- ▶ Comprimento da secção do cantão ilimitado.
- ▶ Baixos custos por ciclo de vida.
- ▶ Simplicidade e rapidez na sua instalação, assim como, uma fácil manutenção.
- ▶ Sistema indiferente à interferência electromagnética existente na via, provenientes do retorno das correntes de tracção.

2.3 – Sistema GPS

O GPS, é um sistema de localização que consiste em determinar as coordenadas geográficas de um determinado dispositivo, que irá ser referenciado como sendo um posto móvel. Estes postos móveis (receptores GPS) em combinação com outros sistemas (por exemplo, GSM) poderão permitir um melhoramento em termos de velocidade de comunicação, oferecendo ao consumidor final uma gama de serviços cada vez maior. Por isso, em linhas ferroviárias secundárias não equipadas com os sistemas de localização já descritos (CdV e Contadores de Eixos), o GPS integrado com o GSM num sistema de comunicações, pode fornecer rapidamente a localização e a velocidade de um comboio, a um posto de comando centralizado. Seguidamente, irá ser feita uma apresentação geral do sistema GPS, cujos os seus principais objectivos de funcionamento são:

- a) Auxílio à navegação em três dimensões com elevada precisão nos cálculos da posição.
- b) Navegação em tempo real.
- c) Boa imunidade a interferências.
- d) Cobertura total, 24 horas por dia.
- e) Obtenção rápida das informações transmitidas pelos satélites.

2.3.1 – Evolução do GPS

O GPS actual, é um sistema de navegação por satélite de elevada precisão, implementado e controlado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DOD – *Department Of Defense*). A arquitectura básica deste sistema foi aprovada pelo DOD em 1973, tendo sido 5 anos mais tarde, lançado o primeiro satélite da constelação. Em 1995 e após 10 biliões de dólares de custos de desenvolvimento, o sistema GPS foi finalmente declarado operacional (Figura 16), sendo a constelação actualmente formada por 24 satélites, organizados em 6 planos orbitais. O seu funcionamento baseia-se na triangulação de sinais especialmente codificados, provenientes dos seus satélites, que ao serem processados posteriormente em receptores GPS, permitem obter informações relativas à sua posição e velocidade. Para além disso, são também possíveis medidas de tempo e informações do estado físico dos próprios satélites. Para a obtenção de posições tridimensionais (latitude, longitude e altitude), é necessária a recepção de 4 sinais, exigindo portanto a visibilidade mínima de 4 satélites. Inicialmente idealizado para fins militares, existem milhares de civis por todo o mundo, que o utilizam nas mais diversas aplicações. Este sistema, apresenta alguma imunidade a condições meteorológicas adversas, assim como ao ruído eléctrico, estando no entanto sujeito, à necessidade de manter os satélites em linha de vista. Existem actualmente dois sistemas públicos de GPS, o Americano – NAVSTAR (*NAVigation System with Time And Ranging*) e o Russo – GLONASS (*Global'naya Navigatsionnaya Sputnikova Sistem*), e atribui-se normalmente ao primeiro o nome “GPS”.

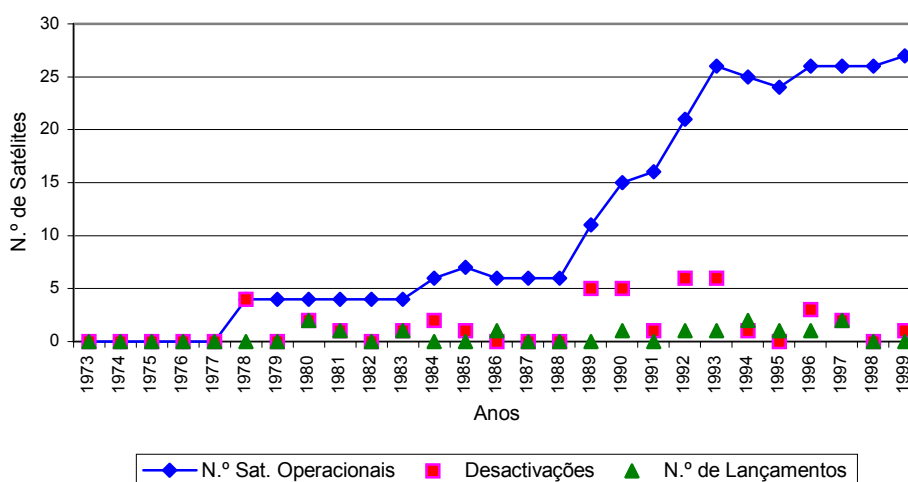


Figura 16 – Evolução do Sistema NAVSTAR GPS

Hoje em dia, o GPS pode ser encontrado nas mais diversas aplicações, tais como, em navegação terrestre e marítima, aviação civil, levantamentos topográficos, construção, minas, estudos geodésicos (deformações originadas por sismos), gestão e contabilização dos recursos naturais, aplicações no campo agrícola (determinação do tamanho de parcelas de terreno ocupadas com determinada cultura), apoio no combate a fogos (por meios aéreos, é possível calcular a dimensão do fogo, de modo a determinar os recursos humanos necessários), telecomunicações, actividades ao ar livre, entre outras.

2.3.2 – Estrutura do GPS

Presentemente, o sistema GPS implementa um sistema de posicionamento óptimo estando inteiramente operacional, cumprindo todas as especificações estabelecidas nos anos 60. O sistema providencia informação sobre o posicionamento (tridimensional) e velocidade de um modo preciso, contínuo e universal, tendo que se utilizar um equipamento receptor apropriado. O sistema GPS

dissemina uma forma de coordenadas universais temporais denominadas por UTC (*Universal Time Coordinated*). Existe mundialmente uma rede terrestre de controlo e monitorização que monitoriza o estado dos satélites. Esta rede faz também o *upload* de dados sobre a navegação para os satélites.

O sistema GPS utiliza um conceito de “tempo de chegada”, denominado por TOA (*Time Of Arrival*). As transmissões via satélite são referenciadas a frequências atómicas altamente precisas a bordo dos satélites, que estão em sincronismo com a própria hora do GPS. Os satélites emitem códigos e dados de navegação em duas frequências, usando uma técnica denominada por CDMA (*Code Division Multiple Access*). Existem apenas duas frequências em uso pelo sistema, designadas por L1 (1575,42 MHz) e L2 (1227,6 MHz). Cada satélite transmite nessas frequências mas com códigos diferentes daqueles que são transmitidas por outros satélites. Estes códigos são escolhidos por terem propriedades de correlação cruzada muito baixa entre si. Os dados de navegação providenciam toda a informação necessária para que o receptor consiga determinar a localização do satélite, ao fim da transmissão do sinal.

Assim, com o código utilizado é possível com o receptor, calcular o tempo de propagação do sinal e daí determinar a distância satélite-utilizador, sendo necessário para tal, um relógio no aparelho receptor. Utilizando esta técnica para medir a localização a três dimensões requer que as medições feitas a partir do sistema TOA seja efectuada por quatro satélites. Se o relógio do receptor estivesse sincronizado com os relógios dos satélites apenas três medições seriam necessárias. Contudo, utiliza-se geralmente um relógio de cristal nos receptores de navegação de modo a minimizar o custo, complexidade e tamanho do receptor. Por isso, são necessárias apenas quatro medições para determinar o *offset* do relógio do receptor, latitude, longitude e altitude de um determinado utilizador. Para melhor identificar os parâmetros que afectam o funcionamento do GPS, este é dividido em três segmentos principais:

- a) **Segmento espacial** – constituído pelos satélites.
- b) **Segmento de controlo** – constituído pelas estações terrestres que controlam o desempenho e o funcionamento do sistema.
- c) **Segmento utilizador** – constituído por todos os utilizadores do sistema.

2.3.2.1 – Segmento Espacial

O segmento espacial é formado pelos satélites que estão em órbita. Consiste em 24 satélites, em 6 órbitas diferentes com 4 satélites em cada órbita. Os satélites percorrem a órbita em torno da Terra a cada 12 horas, a uma altitude de aproximadamente 20 200 Km e estão inclinados 55 graus em relação à linha do Equador. É possível visualizar 6 a 10 satélites a monitorizar a mesma área, por alguns momentos. Isto fornece redundância, visto que apenas 4 satélites são necessários para uma determinação tridimensional da posição. Na Figura 17, temos basicamente a distribuição de cada órbita em relação à Terra.

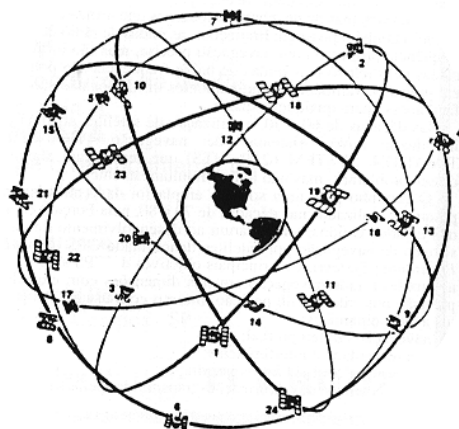


Figura 17 – Órbitas dos Satélites GPS

2.3.2.2 – Segmento de Controlo

Todos os 24 satélites são controlados pelo segmento de controlo em Terra. Este controlo é feito por uma estação de controlo principal localizada no Colorado, nos Estados Unidos. Ela é responsável por monitorizar a órbita dos satélites com o auxílio de 5 estações de monitorização espalhadas pela Terra, processando todos os dados e envia a correcção e sinais de controlo para os satélites. O segmento de controlo monitoriza o desempenho total do sistema, corrige posições do satélite e reprograma o sistema com o padrão necessário. No mapa da Figura 18 encontra-se a distribuição

das estações de monitorização. Cada estação de monitorização, monitoriza de uma forma constante cada satélite. Todas as estações de monitorização vigiam os satélites, determinam o seu desempenho operacional, verificam os parâmetros, e passam estas informações para a estação de controlo principal. A estação principal pode então determinar os parâmetros da órbita de um satélite corrente e transferir dados de correcção para esse mesmo satélite. A determinação do número de satélites a circular à volta da terra, com os planos de órbita dos satélites, juntamente com a estrutura de comando e controlo, faz com que o GPS assegure que um número mínimo de 4 satélites estejam disponíveis para determinar, de dia ou de noite, em qualquer lugar da superfície da terrestre, uma posição precisa de um determinado objecto (através de um receptor GPS). O aspecto da precisão espacial com o mínimo de recursos necessários, oferecendo uma informação segura, é conseguido na localização de cada estação de monitorização, assegurando-se da posição exacta de cada satélite, através de uma supervisão contínua. Estes dois factores são necessários para assegurar uma precisão tridimensional na determinação da posição – localização geográfica.



Figura 18 – Estações de Monitorização do GPS

2.3.2.3 – Segmento do Utilizador

O segmento do utilizador do GPS consiste nos receptores GPS. Os receptores GPS convertem os sinais dos satélites em posição, velocidade e tempo estimado. Quatro satélites, no mínimo, são necessários para calcular as quatro dimensões: x, y, z (posição) e t (tempo).

Os receptores GPS são usados para orientação à navegação, posicionamento, determinação do tempo, e outros recursos. A navegação é a função primária do GPS, e é usada por utilizadores de aviões, navios, veículos e de receptores portáteis. Também é usado por observatórios astronómicos, por empresas de telecomunicações e laboratórios científicos; podendo-se configurar sinais controlados por frequências específicas para um determinado objectivo de estudo ou experimental.

2.3.3 – Serviços de Posicionamento do GPS

O GPS oferece dois modos de operação, um mais simples (para utilizadores civis comuns) e outro mais preciso (de uso reservado).

2.3.3.1 – *Precise Positioning Service*

O modo PPS (*Precise Positioning Service*) é utilizado por utilizadores autorizados com equipamentos de criptografia e receptores especialmente equipados para tal. É usado pelo Departamento de Defesa americano, pelas forças militares aliada aos EUA, agências do governo

americano e alguns utilizadores civis seleccionados pelo governo americano (observatórios, laboratórios, etc.). Oferece uma precisão aproximada de:

- ▶ 22 metros horizontalmente,
- ▶ 27,7 metros verticalmente e,
- ▶ 100 nanosegundos de supervisão/actualização.

2.3.3.2 – Standard Positioning Service

Utilizadores civis do mundo inteiro usam o SPS (*Standard Positioning Service*) sem qualquer custo ou restrições. É o uso normal do GPS. O SPS possui uma menor precisão, inserida propositadamente pelo Departamento de Defesa Americano. Oferece uma precisão aproximada de:

- ▶ 100 metros horizontalmente,
- ▶ 156 metros verticalmente e,
- ▶ 340 nanosegundos de supervisão/actualização.

2.3.4 – Sinais Transmissão

São utilizados dois tipos de sinais: um para a determinação de posição para os utilizadores e outro para eventuais correcções necessárias nas configurações dos satélites (Figura 19).

2.3.4.1 – Dados para os receptores GPS

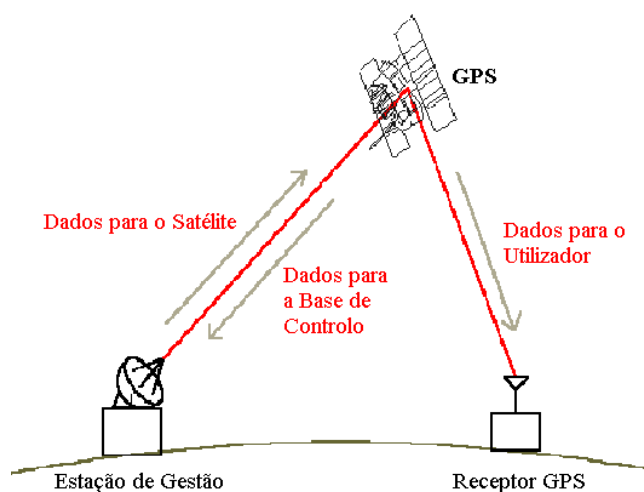


Figura 19 – Controlo e uso do GPS

Os satélites GPS transmitem em duas frequências na faixa UHF (*Ultra High Frequency*), para uso em dois modos. O primeiro é o modo de precisão – ou PPS (que usa as duas frequências) – e o segundo é o modo normalizado – ou SPS (que usa apenas uma frequência). Como já foi dito, o modo mais preciso é para uso militar e utilizadores autorizados, e não está disponível para uso civil. O sinal base é um código pseudo aleatório gerado por um computador dentro dos satélites. O modo normalizado é transmitido a uma taxa de 1.023.000 *bits* por segundo. O código é simples e contém apenas 1.023 *bits* de informação e pode ser decifrado rapidamente. O sinal é repetido a cada milissegundo (com a informação básica da posição do satélite em relação à Terra). O receptor GPS possui o mesmo algoritmo que gerou o código pseudo aleatório emitido pelo satélite. Igualando os padrões do código, o receptor é sincronizado com o sinal emitido pelo satélite, dando-se o primeiro passo na determinação da LOP (*Line of Position*). Este processo designa-se por “Aquisição Inicial de Posição”. Os dados de navegação do GPS para determinação da sua localização, estão baseadas no tempo decorrido para a transmissão dos *bits* de dados do satélite para o receptor GPS.

2.3.4.2 – Dados para os satélites

Uma trama (Figura 20) consiste em 1.500 *bits* e é dividida em cinco sub-tramas de 300 *bits*. Uma trama é transmitida a cada 30 segundos. Cada sub-trama é transmitida a cada 6 segundos. As 3 primeiras sub-tramas possuem dados de relógio e da órbita – correcções do relógio do satélite são enviadas na primeira sub-trama, na segunda e terceira sub-trama são enviados parâmetros para realização da sua órbita. A quarta e quinta sub-trama são usadas para a transmissão de diferentes configurações para o sistema (conhecidas como “páginas de configuração”). Um conjunto de 25

tramas (125 sub-tramas) fazem uma completa gestão do sistema (gestão dos satélites), sendo enviado num período de 12,5 minutos.

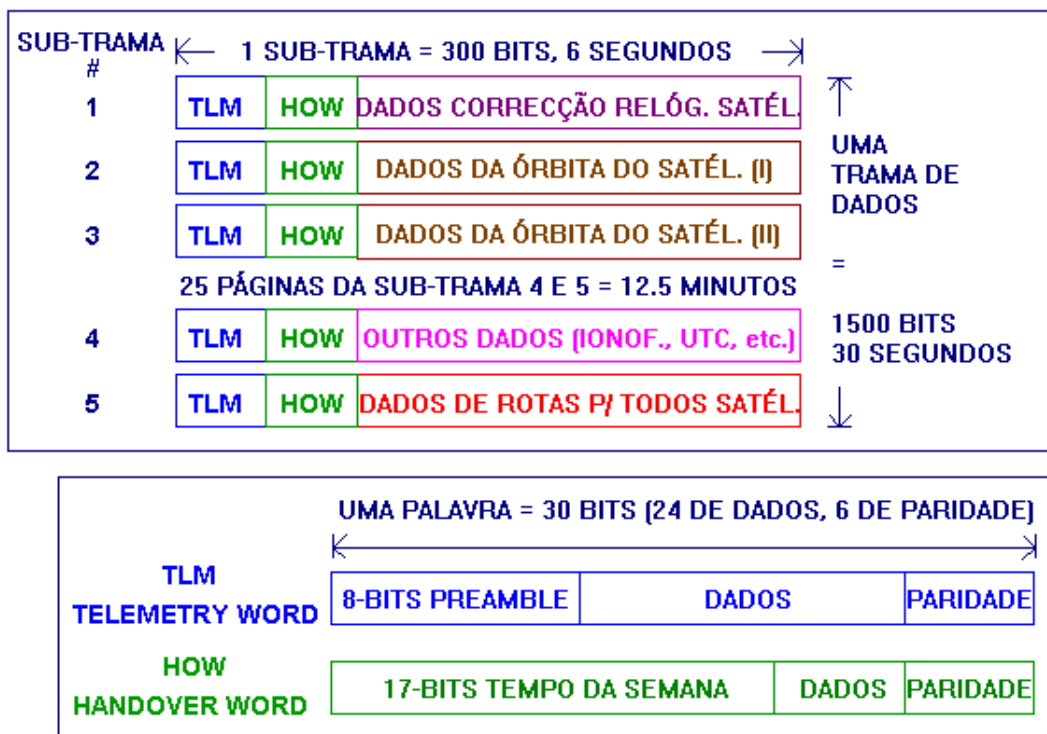


Figura 20 – Formato dos Dados do GPS

Cada sub-trama contém :

- ▶ bits de paridade, permitindo a verificação dos dados e corrigir eventuais erros;
- ▶ bits para dados de navegação;
- ▶ dados para parametrização do relógio;
- ▶ parâmetros para alteração de certas secções da órbita do satélite;
- ▶ outros parâmetros do sistema e *flags* são transmitidos para permitir o funcionamento correcto do mesmo.

2.3.5 – Differential GPS

2.3.5.1 – Princípios Gerais

O DGPS (*Differential GPS*) é um método para eliminar erros na leitura de um receptor GPS oferecendo maior precisão. Este processo baseia-se no princípio de que a maioria dos erros constatados pelos receptores GPS, são comuns em determinados locais. Estes erros comuns são causados por diversos factores, tais como, variação do relógio, disponibilidade selectiva (SPS ou PPS) e mudanças nas condições de propagação das ondas de rádio na ionosfera.

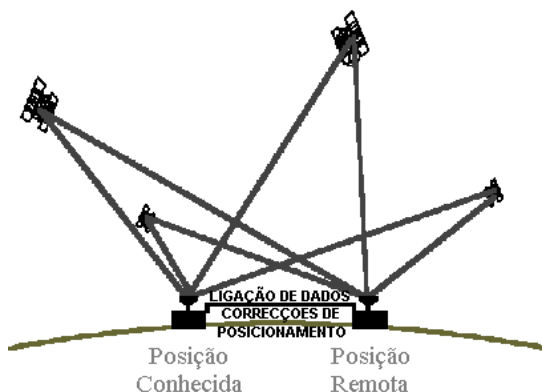


Figura 21 – DGPS

Se o receptor GPS está localizado num local onde as coordenadas geográficas são conhecidas por outro meio (cartografia, por exemplo), a diferença entre as coordenadas conhecidas e as coordenadas calculadas pelo GPS, fornece um valor de referência a ser corrigido (Figura 21).

Estes receptores são frequentemente designados por “Estações Bases”. O erro determinado pela estação base, pode ser usado pelos receptores GPS. Para memorizar esse erro nos receptores GPS podemos gravar os dados da estação base e do receptor, que são posteriormente processados juntos. Isto é designado por técnica de *post processing*. De outra forma, transmite-se os dados da estação base para o receptor, onde o cálculo é feito em tempo real. Este processo é chamado de *real-time dgps*.

2.2.5.2 – Precisão com DGPS

- 300 m – 100 m :** Esta é a faixa de precisão que o Departamento de Defesa garante para um serviço padrão, disponível para os utilizadores civis.
- 25 m – 10 m :** Receptores portáteis, com DGPS.
- 5 m – 1 m :** Receptores melhorados com rotinas de mapeamento.
- 1 m – 10 cm :** Receptores com rotinas de mapeamento de maior precisão.
- 10 cm – ? mm :** Receptores desta classe, possuem técnicas sensíveis de medição de frequência.

2.4 – GPS / TRIANGULAÇÃO

Triangulação é o processo através do qual se pode determinar a posição de um rádio transmissor, medindo a distância radial, ou a direcção, do sinal recebido de três ou mais pontos diferentes. A triangulação é utilizada nas comunicações para determinação da posição geográfica de utilizadores. Reflexões de sinal em edifícios altos, torres de água, torres de comunicação e em outros obstáculos podem prejudicar a realização da triangulação. Por este motivo, devem ser efectuadas, no mínimo, duas triangulações independentes para confirmar a posição. De forma a explicar com maior detalhe como, através da triangulação, é possível determinar a posição de um determinado ponto (seja um receptor GPS, receptor móvel de rádio, etc.) apresentam-se agora vários exemplos. A posição de um ponto no espaço pode ser determinada a partir de medidas da distância desse ponto a posições bem conhecidas no espaço. Consideremos agora alguns exemplos que ilustram esta situação.

Na Figura 22 consideramos o caso de uma dimensão. Queremos determinar a posição do ponto U. Se a posição do satélite S1 e a distância ao satélite x_1 forem conhecidas, então podemos dizer que o ponto U se encontra à esquerda de S1 ou à direita de S1. De forma a determinar a posição real de U, é necessário saber a distância de U a outro satélite de posição conhecida. Nesta figura, a posição do satélite S2 e a distância ao satélite x_2 permitem determinar univocamente a posição de U.

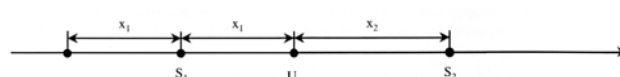


Figura 22 – Exemplo unidimensional

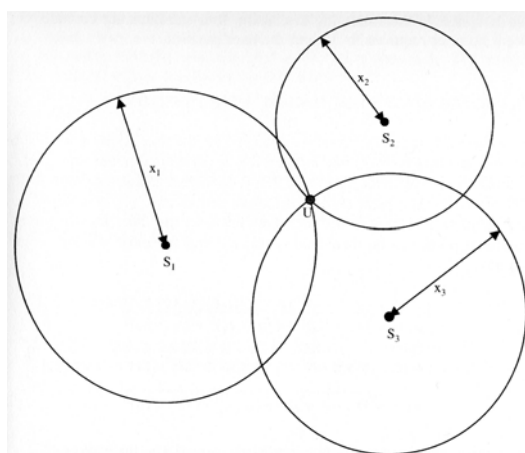


Figura 23 – Exemplo bidimensional

No caso bidimensional, o traçado de um ponto com distância constante a um ponto fixo é uma circunferência. Logo, dois satélites e duas distâncias ao ponto U dão origem a duas

circunferências, que se intersectam em dois pontos dando origem a duas soluções possíveis. É necessário, por isso, um terceiro satélite que dê origem a uma terceira circunferência para obtermos uma solução unívoca para a posição do ponto U.

De forma análoga no caso tridimensional é necessário saber a localização de quatro satélites e as quatro distâncias ao ponto U de forma a obtermos a solução unívoca da posição do ponto U. O traçado de um ponto, com distância constante ao ponto U, dá origem a uma esfera. A intersecção de duas esferas dá origem a uma circunferência. Esta circunferência intersecta outra esfera de onde obtemos duas soluções possíveis. Para determinar a posição unívoca do ponto U é necessário o quatro satélite já referido.

2.4.1 – Princípios de navegação por satélite

O conceito básico do GPS é simples. Se soubermos que nos encontramos a uma determinada distância do satélite A, digamos a 11000 Km, isso reduz realmente a zona espacial na qual podemos estar, à superfície de uma esfera imaginária centrada no satélite A e de raio 11000 Km, como se vê na Figura 24.

Se ao mesmo tempo soubermos que nos encontramos a 12000 Km de outro satélite B, reduz-se ainda mais a zona espacial em que podemos estar. A zona do universo em que nos encontramos simultaneamente a 11000 Km do satélite A e a 12000 Km do satélite B são os pontos de intersecção das duas superfícies esféricas, ou seja os pontos de uma circunferência, como se vê na Figura 25.

Se também soubermos a distância a que nos encontramos de um terceiro satélite C, as zonas do espaço possíveis para a localização reduzem-se a dois pontos possíveis. Se soubermos também que estamos a 13000 Km de um satélite C, existem apenas dois pontos no espaço onde a superfície esférica de 13000 Km intercepta a circunferência da intercepção das superfícies esféricas de 11000 Km e 12000 Km, como se pode ver na Figura 26.

A decisão em qual desses dois pontos é que é realmente a posição correcta, é feita através de uma quarta medição de distância a outro satélite ou podemos fazer uma suposição. Em geral, um dos pontos é uma solução absurda ou então, o ponto incorrecto é o que está mais longe da superfície terrestre. Os receptores GPS dispõem várias técnicas para distinguir os pontos correctos dos incorrectos.

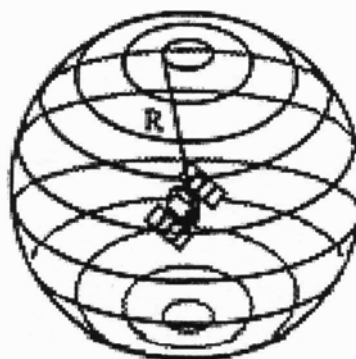


Figura 24 – Zonas do espaço possíveis com uma medição

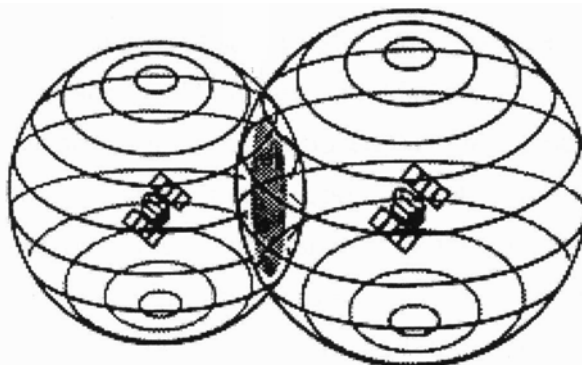


Figura 25 – Zonas do espaço possíveis com duas medições

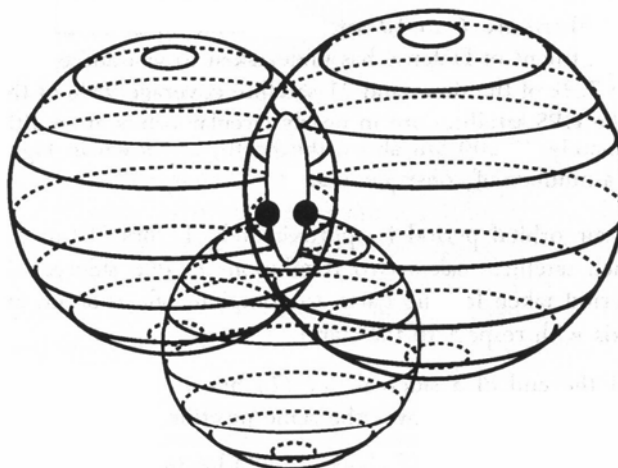


Figura 26 – Pontos do espaço possíveis com três medições

Se soubermos que o ponto que pretendemos localizar está na superfície terrestre, apenas um dos dois pontos obedece a esta condição, ficando assim a localização que pretendíamos conhecer perfeitamente identificada. Por outro lado se estivermos seguros da altitude, como é o caso dos marinheiros (que se encontram ao nível do mar), podemos eliminar uma das medições da distância aos satélites efectuadas, mantendo o conhecimento exacto da localização do ponto pretendido. Nas figuras mostradas, pode-se substituir uma das esferas por outra, cujo o centro coincida com o centro da terra e cujo o raio seja igual ao da terra mais a altitude. Quase todos os receptores se podem comutar para funcionarem deste modo, a duas dimensões, na qual o cálculo de uma posição poderá ser mais rápido e mais preciso.

Resumindo, se pretendemos conhecer a localização de um ponto num espaço tridimensional, precisamos de conhecer três distâncias a três satélites, se conhecermos a altitude do ponto que pretendemos saber a localização, só necessitamos de conhecer duas distâncias a dois satélites. No entanto, se quisermos ser absolutamente técnicos, a trigonometria diz-nos que necessitamos saber a distância a quatro satélites para eliminar a ambiguidade. Por problemas técnicos, devido a uma questão de sincronismo do relógio do receptor é ainda necessária mais uma medição para garantir a sincronização temporal.

A medição da distância a que se encontra o receptor GPS dos satélites é calculada a partir do tempo de propagação do sinal que é enviado pelos satélites, esta técnica é conhecida por TOA. No entanto, é necessário conhecer a posição exacta de cada satélite. Os satélites têm órbitas em trajetórias perfeitamente conhecidas, controladas e corrigidas constantemente pelo equipamento terrestre do Departamento de Defesa Americano. O receptor GPS a partir da informação que recebe dos satélites, da referência temporal e da informação contida no próprio receptor do posicionamento dos satélites ao longo do tempo, consegue saber constantemente e rigorosamente a posição dos vários satélites em qualquer instante. A partir da posição dos vários satélites e das medições temporais dos atrasos de chegada dos sinais dos satélites ao receptor pode-se calcular a posição exacta deste.

2.4.2 – Equações Básicas para Localização de um ponto

Assumindo que as distâncias são exactas então três satélites são suficientes para determinar a posição de um ponto. Na Figura 23 estão representados três pontos com posição r_1 ou (x_1, y_1, z_1) , r_2 ou (x_2, y_2, z_2) e r_3 ou (x_3, y_3, z_3) e um ponto com posição desconhecida em r_u ou (x_u, y_u, z_u) . Se a distância entre cada um dos três pontos e o ponto U for determinada como D_i com $i=1,2,3$, então as distâncias podem ser escritas como:

$$D_i = \sqrt{(x_i - x_u)^2 + (y_i - y_u)^2 + (z_i - z_u)^2} \quad (1)$$

$, i = 1, 2, 3$

Como temos três equações a três incógnitas, podemos determinar os valores de x_u, y_u, z_u . Teoricamente, obteríamos dois conjuntos de soluções uma vez que se trata de equações de segundo grau. Uma vez que estas equações são não lineares é difícil resolvê-las directamente. Contudo, podem ser resolvidas de forma relativamente simples se utilizarmos a linearização e uma abordagem iterativa [3].

2.4.3 – Medições da pseudo-distância

Cada satélite envia um sinal num determinado tempo t_{si} . O receptor recebe o sinal num instante t_u mais tarde. A distância entre o receptor e o satélite i é dada por

$$D_{iT} = c \cdot (t_u - t_{si})$$

onde c é a velocidade da luz, D_{iT} é definido como o valor real da pseudo-distância do receptor ao satélite i , t_{si} é definido como o tempo real de transmissão do satélite i , t_u é o tempo real da recepção.

Do ponto de vista prático é difícil, se não, impossível, obter o tempo correcto do satélite ou do receptor. Os tempos que se obtêm são relacionados com o tempo correcto por

$$\begin{aligned}t'_{si} &= t_{si} + \Delta b_i \\ t'_u &= t_u + b_{ut}\end{aligned}$$

onde Δb_i é o erro do relógio do satélite, b_{ut} é o erro do relógio de receptor. Além do erro do relógio existem outros factores que influenciam as medições. Alguns desses erros podem ser corrigidos, outros não. Os erros causam imprecisão na posição do receptor.

O erro do relógio do receptor não pode ser corrigido através da informação recebida. Logo, é considerado como uma incógnita. Resulta então que a Equação 1 tem de ser modificada. Obtemos então,

$$D_i = \sqrt{(x_i - x_u)^2 + (y_i - y_u)^2 + (z_i - z_u)^2} + b_u \quad (2)$$

, $i = 1, 2, 3, 4$

onde b_u é o erro do relógio do receptor expresso em distância, que está relacionado com b_{ut} por $b_u = c \cdot b_{ut}$. Vai ser necessária mais uma equação para conseguir resolver as quatro incógnitas. Assim, necessitamos dos dados de quatro satélites observados simultaneamente, para obter um sistema de quatro equações, e determinar X_u , Y_u , Z_u , b_u .

2.4.4 – Hora GPS

A hora é calculada de 3 formas: hora do satélite, hora do GPS e UTC, sendo estas obtidas através dos dados contidos nas sub-tramas de informação da mensagem de navegação.

A hora UTC é referenciada ao meridiano de *Greenwich*, sendo mantida pelo USNO (*United States Naval Observatory*). A hora do satélite é obtida através dos relógios atómicos deles. Estes relógios são monitorizados nas estações de controlo, estando sincronizados com a hora do GPS.

A hora do GPS é semelhante à UTC, mas as discontinuidades existentes na hora UTC (introduzidas devido aos segundos de ajuste – *leap seconds*) não são contabilizadas, por forma a permitir uma maior simplicidade de operação.

Cada satélite envia na sub-trama 1 da mensagem de navegação, a informação referente ao número da semana (WN – *Week Number*). Os satélites contabilizam a hora do GPS de uma única maneira que está relacionada com o modo como são gerados os códigos pseudo aleatórios.

2.4.4.1 – Código pseudo aleatório

O código pseudo aleatório é uma parte fundamental do GPS. Fisicamente é simplesmente um código digital muito complexo que quase se parece com ruído eléctrico puro. Há várias boas razões para esta complexidade: a forma complexa assegura que o receptor não sincroniza acidentalmente nenhum outro sinal. As formas são tão complexas que se torna praticamente improvável que um sinal mal formatado tenha exactamente a mesma forma destes. Desde que cada satélite tenha o seu próprio código, esta complexidade dá garantias que o receptor não apanhará o sinal de outro satélite acidentalmente. Assim, todos os satélites podem usar a mesma frequência sem interferirem uns com os outros. Na realidade, o código pseudo aleatório permite ao DOD controlar o acesso ao sistema.

Mas ainda há outra razão para a complexidade do código pseudo aleatório, uma razão que é crucial para fazer o GPS económico. Os códigos geralmente, usam técnicas de espalhamento

espectral que permitem ganhos de processamento elevados. Esta é a razão porque os receptores de GPS não precisam de antenas com grandes pratos para receber os sinais GPS.

Há dois tipos de código pseudo aleatório. O primeiro código pseudo aleatório é chamado de código C/A (*Coarse Acquisition*). Faz a modulação da portadora L1 repetindo-se a cada 1023 bits e modula a uma taxa de 1 MHz. Cada satélite tem um código pseudo aleatório único. O código C/A é a base para o uso civil do GPS.

O segundo código pseudo aleatório é o chamado código P (Preciso), repete-se com muito menos frequência e modula ambas portadoras L1 e L2 a uma taxa de 10 MHz. Este código é usado para fins militares e pode ser codificado. Quando codificado é chamado de código Y. Considerando que código P é mais complicado que o C/A é então também mais difícil para os receptores o adquirirem. Esta é a razão porque muitos receptores militares começam a adquirir o sinal C/A primeiro e posteriormente passam para o código P.

Há um sinal de baixa frequência inserido nos códigos de L1 que contém informação sobre as órbitas dos satélites, as correções de relógio destes e outras informações relativas ao estado do sistema.

O exército mantém ainda acesso exclusivo ao mais preciso código pseudo aleatório, o código-P. Tem dez vezes a frequência do código civil C/A (logo potencialmente muito mais preciso) e muito mais difícil interceptar. Quando codificado só os receptores militares com a chave de encriptação adequada o podem adquirir. Como este código é modulado usando duas portadoras, permite assim, combinações sofisticadas destas frequências para ajudar na eliminação de erros, causados pela atmosfera.

O código pseudo aleatório não só age como um sinal de cronometragem/sincronização mas também permite amplificar os sinais de satélite mais fracos. A superfície terrestre está inundada em ruído eléctrico aleatório. Se seleccionarmos os receptores à frequência do GPS vemos um sinal aleatoriamente variado, ou seja, o ruído de fundo da terra (Figura 27). O sinal de GPS estará assim contido no meio deste ruído. O código pseudo aleatório parece-se muito com ruído de fundo mas existe uma importante diferença: a forma das suas variações é conhecida.



Figura 27 – Ruído de fundo

Para compararmos uma secção do código pseudo aleatório com o ruído de fundo e procurarmos as áreas onde eles são semelhantes (*cross-correlation*), dividindo o sinal em períodos de tempo e marcando todos os períodos onde eles se assemelham (Figura 28).

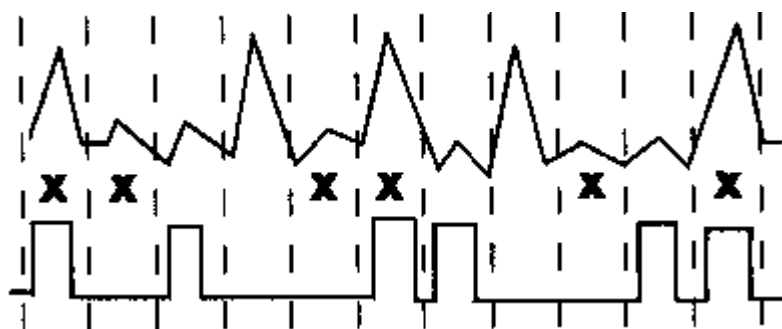


Figura 28 – Comparação do ruído de fundo com o código pseudo aleatório (I)

Como ambos os sinais são basicamente formas aleatórias, em termos de probabilidades temos que em cerca de metade do tempo estes serão equivalentes e metade não o serão. Se fizermos uma contagem e dermos um ponto (+1) quando eles se igualam e tirarmos um (-1) quando eles não o forem, terminaremos com uma contagem a zero porque os -1 cancelarão os +1. Assim se um satélite de GPS começar a transmitir impulsos na mesma forma que o código pseudo aleatório, esses sinais, embora fracos, tenderão a aumentar o ruído de fundo aleatório na mesma forma que se

usa para comparação. Sinais de fundo que estavam na fronteira de ser um “1” irão ser ampliados e começará a existir mais igualdades (Figura 29).

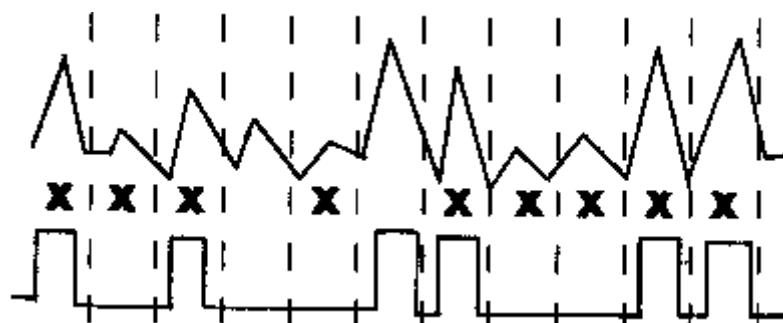


Figura 29 – Comparação do ruído de fundo com o código pseudo aleatório (II)

Mesmo que esse minúsculo aumento só coloque um em cada cem impulsos acima da linha de decisão, podemos fazer uma contagem tão grande quanto quisermos e assim comparar os sinais durante um tempo mais longo. O sistema pode funcionar usando satélites menos poderosos e os receptores também não precisam de antenas grandes como a televisão por satélite.

Medir o tempo de viagem de um sinal rádio é a chave do GPS, logo os relógios de sincronismo tem de ser bastante bons. Nos satélites, a cronometragem tende a ser perfeita porque estes têm relógios atômicos extremamente precisos a bordo. O satélite e o receptor precisam de sincronizar os seus códigos pseudo aleatório de forma precisa para todo o sistema funcionar, mas se os receptores precisassem de relógios atômicos o GPS seria uma tecnologia em extinção porque nesse caso seria um sistema demasiado caro, principalmente para uso civil. Se os relógios dos receptores fossem perfeitos, então todas as esferas de satélite se cruzavam num único ponto (que é a localização da posição). Mas com relógios imperfeitos, uma quarta medida não cruzará com os três primeiros. Assim, o computador do receptor refere que há uma discrepância nas medidas em resultado de não deve haver sincronização em relação ao tempo universal. Como qualquer atraso em relação ao tempo universal afectará bastante as medidas, o receptor procura um único factor de correcção com o qual se pode subtrair, em todas as medidas de cronometragem e que os fará cruzar num único ponto. Aquela correcção devolve ao relógio do receptor a sincronização com o tempo universal, e assim tem-se direito a tempo de precisão atômico numa maneira razoavelmente barata num aparelho GPS. Após a correcção aplicada a todas as medidas, temos um posicionamento preciso. Outra consequência deste princípio é que qualquer receptor de GPS decente precisará de ter pelo menos quatro canais de modo a que possa fazer as quatro medidas simultaneamente. Mas, para a triangulação funcionar não só precisamos de saber distância, mas também precisamos saber exactamente onde os satélites estão.

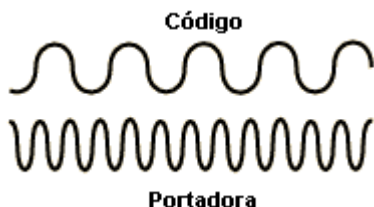


Figura 30 – Code-phase e Carrier-Phase



Figura 31 – Comparação entre os códigos do satélite e do receptor (I)

O Code-phase e Carrier-Phase (Figura 30) referem-se ao sinal particular que se usa para medidas de cronometragem. Através da frequência da portadora do GPS pode-se melhorar a precisão do GPS significativamente. Um receptor de GPS determina o tempo de viagem de um

signal de um satélite comparando com o código pseudo aleatório que ele próprio está a gerar, com um código idêntico ao signal do satélite (Figura 31).

O receptor translada o seu código no tempo até existir sincronização com o código do satélite. A quantidade de transladação do código necessária é igual ao tempo de viagem do signal. O problema é que os *bits* (ou ciclos) do código pseudo aleatório são bastante largos, ou seja, mesmo em condições onde tenhamos sincronização ainda podemos ter erros bastante significativos, tendo em conta a precisão esperada para o sistema.

Considere-se os sinais da Figura 32. Comparando-os em termos lógicos dir-se-ia que eles eram iguais. Quando o signal A tem nível lógico *High*, B é um *High*, quando A sinaliza *Low*, B é um *Low*. Mas pode-se ver que se por um lado eles se equivalem por outro estão um pouco desfasados. Dá para notar que o signal A está na realidade à frente do B. De facto podia-se transladar o signal quase meio ciclo e estes ainda se equivaleriam em termos lógicos. Isso é um problema do *Code-Phase* GPS. Neste caso, estamos a comparar código pseudo aleatório que têm uma largura de período de quase um micro segundo. E à velocidade de luz um micro segundo são quase 300 metros de erro. No entanto, os fabricantes de receptores propuseram métodos para se ter a certeza que os sinais estão quase perfeitamente em fase. Os receptores militares contornam esta problemática começando por processar o código pseudo aleatório e depois passam para medidas baseadas na frequência da portadora para aquele código. Esta frequência da portadora é muito mais alta, logo os seus impulsos são mais pequenos, resultando numa maior exactidão.

O código pseudo aleatório tem uma taxa um pouco acima de 1 MHz, mas a frequência da portadora tem uma frequência acima de 1 GHz (mais rápida 1000 vezes) (Figura 33). À velocidade da luz o signal de 1.57 GHz do GPS tem um comprimento de onda de aproximadamente vinte centímetros, assim o signal da portadora pode agir como uma referência muito mais precisa que o código pseudo aleatório por si só.

Essencialmente, este método baseia-se na contagem do número exacto de períodos da portadora entre o satélite e o receptor. O problema é que a frequência da portadora é difícil de adquirir porque é muito uniforme. Todos os ciclos se parecem uns com os outros. O código pseudo aleatório é por outro lado intencionalmente complexo para ser mais fácil saber, qual o ciclo que se está a examinar. Assim, o truque no *Carrier-Phase GPS* é usar técnicas de *Code-Phase* para primeira análise. Se a medida de código pode ser feita com uma precisão, digamos de um metro, então só resta alguns comprimentos de onda da portadora para considerar, quando tentamos determinar qual o ciclo que marca a extremidade do impulso de cronometragem. Solucionando esta “ambiguidade da fase da portadora” em poucos ciclos, torna-se o problema muito mais tratável e como os processadores dentro dos receptores são cada vez mais poderosos é possível fazer este tipo de medida, sem o ritual de medidas que os receptores militares necessitam. Geralmente, pensa-se no GPS como um recurso de navegação ou posicionamento, mas o facto é que qualquer receptor de GPS está sincronizado com o tempo universal fazendo dele a maior fonte disponível de tempo preciso.

2.4.4.2 – Determinação da hora precisa

Sabemos que a luz viaja a 300 000 quilómetros por segundo. Se o satélite e o receptor estiverem sem sincronismo, mesmo que seja 1/100 do segundo, a medição da distância pode ser



Figura 32 – Comparação entre os códigos do satélite e do receptor (I)

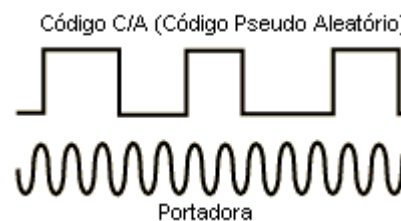


Figura 33 – Código C/A versus Portadora

deslocada de 3 000 Km. Os satélites têm um relógio atómico, pelo que a sua precisão é bastante estável. No caso dos receptores, pode-se trabalhar utilizando relógios com exactidão moderada, para tal, basta fazer uma medição extra com um satélite. Uma medição de uma distância extra pode resolver um sincronismo imperfeito do receptor. Daí, porque anteriormente já se referiu, que teoricamente três medições são suficientes. Através da trigonometria, sabemos que se três medições perfeitas localizam um ponto no espaço tridimensional, então quatro medições imperfeitas podem eliminar qualquer desvio de medida da hora⁴. Supõe-se que o relógio do receptor não é perfeito como um relógio atómico. Digamos que está um pouco adiantado, de modo que quando se pensa que é meio-dia, serão realmente 11:59:59 da manhã. Vejamos o que pode ser melhorado para os cálculos da posição.

Digamos que, na realidade, estamos a quatro segundos do satélite A e seis segundos do satélite B. Em duas dimensões, estes dois intervalos seriam suficientes para nos localizar em um ponto. Vamos chamá-lo "X" (Figura 34). Então "X" é onde realmente estamos e é a posição que obteríamos se todos os relógios estivessem a funcionar perfeitamente.

No caso do relógio do receptor estar adiantado um segundo, dá-nos a distância até o satélite A como cinco segundos e a distância até o satélite B como sete segundos, fazendo com que os dois círculos se interceptem num ponto diferente: "XX" (Figura 35). Então XX seria onde o receptor imperfeito nos coloca. Parece-nos uma resposta perfeitamente correcta, porque não temos meio de saber se o receptor está adiantado. Acrescentando outra medição nos cálculos (no exemplo de duas dimensões, isso significa um terceiro satélite), teríamos na realidade (se tivéssemos relógios perfeitos) um satélite C a oito segundos da posição XX. A situação seria semelhante à indicada na Figura 36. O desenho da Figura 36 mostra a situação tal como ela realmente é. Todos os três círculos se interceptam no ponto X porque estes círculos representam os verdadeiros intervalos até aos três satélites.

Agora vamos acrescentar o desvio ao desenho. As linhas pontilhadas mostram os "pseudo-intervalos" causados pelo relógio adiantado. O termo "pseudo-intervalo" é utilizado para descrever intervalos que contém erros (normalmente, erros de tempo). Note-se que, enquanto as horas adiantadas de A e de B ainda se interceptam em XX, a hora adiantada de C não está perto desse ponto (Figura 37).

Portanto, não existe nenhum ponto que possa estar realmente a cinco segundos de A, sete segundos de B e nove segundos de C. Não existe

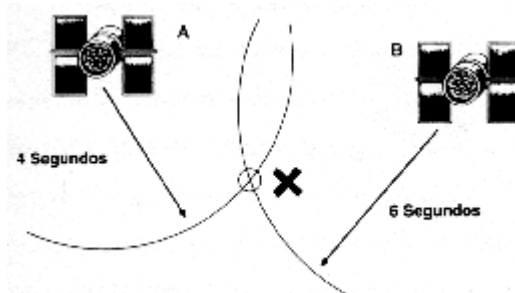


Figura 34 – Determinação da Hora Precisa (I)

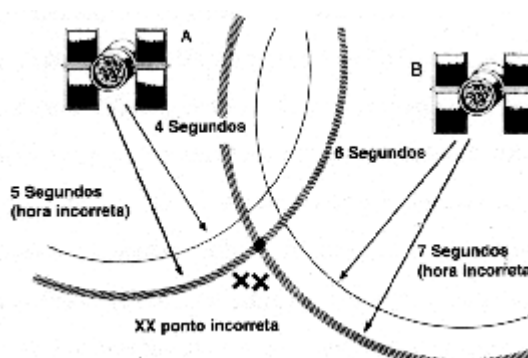


Figura 35 – Determinação da Hora Precisa (II)

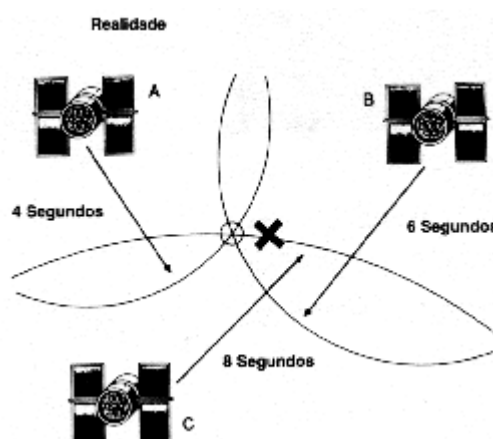


Figura 36 – Determinação da Hora Precisa (III)

⁴ A explicação é torna-se mais fácil de se entender com diagramas, e estes serão muito mais fáceis de se desenhar se trabalharmos somente em duas dimensões. É claro que o GPS é um sistema tridimensional, mas o princípio que está a ser discutido funciona do mesmo modo em duas dimensões.

nenhum meio físico onde essas medições se possam interceptar. Neste caso e visto se obter um erro de localização, o algoritmo do receptor começa a subtrair (ou adicionar) tempo, a mesma quantidade de tempo em todas as medições. Este processo interactivo, corre até que se consiga uma solução que deixe todos os intervalos, no mesmo ponto. Essencialmente, ele “descobre” que subtraindo um segundo a todas as medições pode fazer com que todos os círculos se interceptem num único ponto. E assim conclui que o relógio está adiantado um segundo.

A três dimensões, significa que necessitamos realmente de realizar quatro medições para eliminar qualquer erro. Isto significa que não se pode obter verdadeiramente uma posição exacta até que se tenham quatro satélites sobre o horizonte.

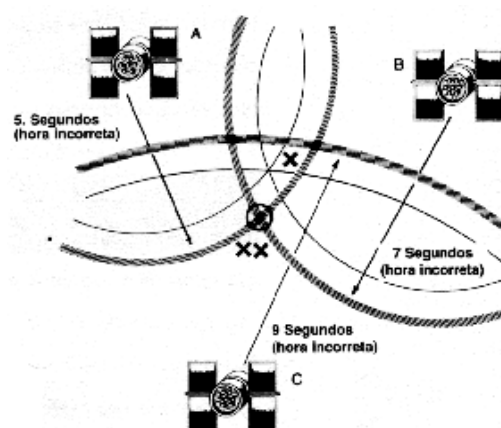


Figura 37 – Determinação da Hora Precisa (IV)

2.4.5 – Factores que afectam a precisão do sistema

O Departamento de Defesa americano implantou um erro artificial no sistema chamado “Disponibilidade Selectiva”, para resguardar a segurança interna do país. A Disponibilidade Selectiva foi cancelada em Maio de 2000, pois o contínuo desenvolvimento tecnológico permitiu ao Departamento de Defesa obstruir a precisão do sistema onde e quando os interesses americanos exigissem. Com essa alteração, o erro médio de 100 metros na localização do receptor ficou dez vezes menor.

Um factor que afecta a precisão é a “Geometria dos Satélites”, ou seja, a localização dos satélites em relação uns aos outros sob a perspectiva do receptor GPS. Se um receptor GPS estiver localizado sob 4 satélites e todos estiverem na mesma região do céu, sua geometria é pouco fiável. Na verdade, o receptor pode não ser capaz de se localizar, pois todas as medidas de distância provém da mesma direcção. Isto significa que a triangulação é pouco fiável e a área comum da intersecção das medidas é muito grande (isto é, a área onde o receptor busca sua posição cobre um grande espaço). Com os mesmos 4 satélites, se espalhados em todas as direcções, a precisão melhora consideravelmente. A geometria dos satélites torna-se importante quando se usa o receptor GPS próximo de edificios ou em áreas montanhosas ou vales. Quando algum satélite é bloqueado, a posição relativa dos restantes determinará a precisão, ou mesmo, se a posição pode ser obtida. Um receptor de qualidade indica não apenas os satélites disponíveis, mas também onde estão no céu (azimute e elevação), permitindo ao operador saber se o sinal de um determinado satélite está a ser obstruído.

Outra fonte de erro, é a interferência resultante da reflexão do sinal em objectos. Como o sinal leva mais tempo para alcançar o receptor, este entende que o satélite está mais longe do que na realidade. Outras fontes de erro: atraso na propagação dos sinais devido aos efeitos atmosféricos e alterações do relógio interno. Em ambos os casos, o receptor GPS é projectado para compensar os efeitos.

Para se calcular a precisão do sistema, multiplica-se o resultado da Tabela 2 pelo valor do DOP (*Dilution Of Precision*) mostrado no receptor GPS. Em boas condições, o DOP varia de 3 a 7. Assim, a precisão de um bom receptor num dia normal será de 3x390cm a 7x390cm ou seja, de 10 a 30 metros, aproximadamente. Em resumo, as principais fontes de erro do GPS são as seguintes:

- a) erro devido à geometria dos satélites com relação ao observador;
- b) desvios dos relógios dos satélites;
- c) atraso de propagação e processamento dos sinais pelos circuitos dos satélites;

- d) erros devido a trajectórias múltiplas dos sinais;
- e) efeitos da atmosfera sobre a velocidade e a trajectória de propagação dos sinais transmitidos;
- f) erros devidos à resolução e ruído do receptor do utilizador;
- g) erro na determinação da posição dos satélites (erro de órbita).

Fontes de Erro (Típico)	Erro Médio Gerado
Erro do relógio do satélite	60 cm
Erro das órbitas	60 cm
Erros dos receptores	120 cm
Atmosférico/Ionosférico	360 cm
Total (raiz quadrada da soma dos quadrados)	390 cm

Tabela 2 – Factores que afectam a precisão

Alguns erros na determinação das órbitas, devem-se às características das mesmas, visto que os satélites do GPS estão submetidos às seguintes perturbações: potencial terrestre, atracção lunissolar e pressão de radiação solar (incluindo os efeitos da sombra da Terra). Para se conseguir a precisão necessária para algumas aplicações específicas, todas essas perturbações devem ser consideradas simultaneamente.

2.4.6 – Sistema Galileo

O sistema Galileo é a resposta europeia em sistemas de navegação e posicionamento por satélite. O Galileo irá disponibilizar serviços de procura e salvamento, posicionamento, velocidade e tempo de alta precisão para aplicações comerciais, governamentais e de segurança, mediante a utilização de receptores de baixo custo. Será um sistema global, independente do GPS mas complementar e compatível com este, sob controlo civil. O projecto Galileo será realizado em duas fases:

- ▶ A primeira levará a um serviço complementar geoestacionário de radionavegação europeu (EGNOS – *European Geostationary Overlay Service*), que utilizará as duas constelações de satélites existentes (GPS e GLONASS), aperfeiçoando-lhes a fiabilidade e a precisão, por conjugação com um satélite *Inmarsat*.
- ▶ A segunda, em cooperação com a união europeia e a agência espacial europeia – ESA – *European Space Agency*, levará à criação de uma constelação de 30 satélites com órbitas não geoestacionárias, a cerca de 29994 km de altitude, designada por GalileoSat.

Este sistema será colocado à disposição da comunidade aeronáutica para atender a todas as suas exigências em matéria de navegação, incluindo a assistência à aterragem de precisão. Será também de grande utilidade para todos os utilizadores de sistemas de comunicações móveis, marítimas e terrestres, sistemas de navegação, posicionamento, salvamento, etc.. Pensa-se que o Galileo estará totalmente operacional em 2008 mas entrará em funcionamento em 2005. O Galileo irá disponibilizar 3 tipos de serviços:

- ▶ OAS – *Open Access Service* – Será um Serviço de acesso aberto a todos os utilizadores, com características similares ao SPS, disponibilizado pelo GPS, com uma precisão absoluta na ordem dos 6 metros, mas cuja qualidade de serviço não está garantida, disponível em todo o globo terrestre mediante a utilização de um receptor de baixo custo.

- ▶ CAS 1 – *Controlled Access Service 1* – Um serviço restrito a utilizadores profissionais mediante o pagamento de uma assinatura, com a mesma precisão que o OAS, com desempenho locais e regionais melhorados pela utilização das componentes locais e regionais. Utiliza duas frequências com o sinal idêntico ao utilizado pelo OAS, mas com parte da mensagem codificada, dando aos utilizadores integridade de informação como garantia da qualidade do serviço CAS 1 e hipótese de adicionar informação, como correcções diferenciais. Disponibiliza uma terceira frequência para aplicações de alta precisão (TCAR – *Triple Carrier Phase Ambiguity Resolution*).
- ▶ CAS 2 – *Controlled Access Service 2* – Acesso restrito a utilizadores autorizados, é um serviço de alta precisão para aplicações estratégicas que disponibiliza dois serviços:
 - ▶▶ GAS – *Governmental Access Service*.
 - ▶▶ SAS – *Safety of live Access Service*.

Precisões do sistema:

Serviço	Posição	Velocidade	Tempo	Eficácia
OAS	6 m	20 cm/s	0.1 s	99 %
CAS 1	6 m	20 cm/s	20 ns	99 %
GAS/SAS	4 m	20 cm/s	20 ns	99.9 %

Tabela 3 – Precisões do Sistema

Precisões locais do sistema:

Serviço	Precisão Horizontal
CAS 1	0.8 m
CAS 2	1 m

Tabela 4 – Precisões Locais do Sistema

Futuramente, com a modernização prevista para os sistemas de navegação por satélite podemos beneficiar o cálculo do posicionamento através dos novos receptores RTK (*Real Time Kinematic*), que fornecem uma maior precisão através do uso de sinais portadores de fase. Os benefícios do RTK têm origem na adição de um número de sinais de alta qualidade que melhoram a geometria disponível com mais satélites, que irão reduzir o factor de PDOP (*Position Dilution Of Precision*). O benefício mais valioso será o aumento da resolução das ambiguidades encontradas nas portadores de fase, assim como, as tentativas do receptor de determinar o número desconhecido de ciclos completos entre uma onda recebida e outra gerada localmente.

Um sinal adicional, totalmente disponível, designado por L5 e centrado nos 1176,45 MHz, ficará disponível na nova geração do GPS. Os sinais L5 e L2 serão um componente de dados livres para amplificar os sinais portadores de fase. O sistema Galileo também irá providenciar outros sinais, que podem ajudar substancialmente no processo de resolução de ambiguidades da portadora de fase, muitas vezes designados por TCAR ou por MCAR (*Multiple Carrier Phase Ambiguity Resolution*). O código de uso civil no sinal L5 pode ser considerado de modo semelhante ao código P, existente actualmente. Os sinais L5 e L2 permitem uma monitorização coerente da fase e do código, evitando as perdas encontradas quando o receptor tem de calcular os *bits* desconhecidos da mensagem de navegação.

A integração do tempo, isto é, o período para a correlação do sinal recebido e do gerado localmente, não dependendo dos *bits* de dados. Esta situação acontece porque os *bits* de código e de

dados estão separados localmente uns dos outros, tornando L5 e L2 em sinais muito mais robustos do que os actuais L1 e L2. Os esquemas de modulação e das frequências portadoras do sistema Galileo permitem um acesso deste sistema com os receptores de posicionamento RTK. Na Figura 38 visualiza-se o plano de frequências e na Tabela 5 mostra-se como os novos esquemas de modulação e de multiplexagem podem ser utilizados.

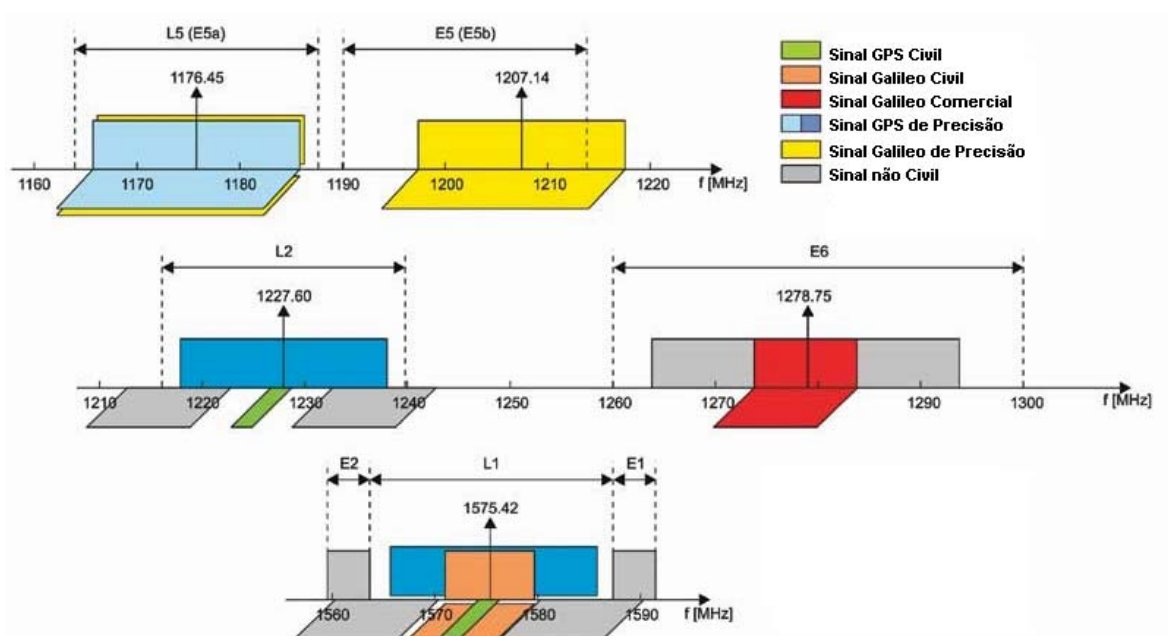


Figura 38 – Plano de Frequências

Sinal	Frequência da Portadora [MHz]	Modulação	Velocidade dos Dados
L1 C/A	1575,42	BPSK(1)	50 bps
L2CS	1227,60	BPSK(1)	50 sps
L5	1176,45	QPSK(10)	100 sps
E2-L1-E1	1575,42	BOC(2.2)	250 sps
E5a	1176,45	QPSK(10)	50 sps
E5b	1207,14	QPSK(10)	250 sps
E6	1278,75	BPSK(5)	1000 sps

Tabela 5 – Modulação dos Sinais

O sistema Galileo oferece vários sinais de navegação de *broadcast* nas bandas de frequência E5a, E5b, E6 e E1-L1-E2. Os sinais de utilização livre serão emitidos na E5a, E5b e E1-L1-E2 e estarão disponíveis para utilizadores com os futuros receptores RTK.

Geralmente, cada banda de frequências disponível, tem vantagens e desvantagens específicas. Por exemplo, a E6 é uma banda de frequências muito larga, mas contém somente sinais encriptados para serviços comerciais e serviços públicos de regulação. Além disso, um sinal E6 pode sofrer interferências dos radares e o risco de degradação do sinal ainda não foi avaliado em detalhe. O sinal E5 oferece uma grande largura de banda para sinais de serviço livre, mas sofre interferências de DME (*Distance Measurement Equipment*), especialmente em altitudes elevadas. Uma divisão do sinal no espectro em E2-L1-E1, possibilita lóbulos principais em E1 e E2, terem somente uma pequena sobreposição de correlação com o sinal L1 actual, mas necessita de unidades sofisticadas de monitorização de códigos no receptor. Uma vantagem dos sinais E5 e E2-L1-E1 é que estes podem ser localizados na banda do ARNS (*Aeronautical Radio Navigation Service*) e por isso poderão ser úteis na aviação.

De interesse especial são os pares de sinais E2-L1-E1/L1 e E5a/L5. Estes podem permitir a toda a secção de rádio frequência de um receptor, que possua conversão analógica/digital, serem idênticas para os respectivos pares de sinais. Dois receptores idênticos podem ter atrasos diferentes resultantes da selecção destes pares de sinais. Estes incluem o sinal BOC (*Binary Offset Carrier*) do serviço livre na banda L superior, com uma sobreposição da correlação com o sinal L1 actual. O sinal BOC do serviço público regulado é também de *broadcast* nos sinais E2-L1-E1 e a técnica de combinar todos os sinais espalhados no espectro ainda está por definir.

A portadora dos sinais do sistema Galileo está centrada na mesma frequência (1575,42 MHz), tal como o sinal L1 actual. É necessário um coerente processamento do espalhamento do espectro de ambas as bandas no futuro receptor RTK, para obter uma portadora da fase, na frequência central.

No espectro da banda L, as bandas E5a e E5b estão localizadas com uma frequência central de 1176,45 MHz e 1207, 14 MHz. A banda E5b é separada da L5. Ambas as bandas têm largura de 24 MHz e estão alocadas para a ARNS. Utilizando a L5, a E5a e a E5b antecipa-se um eventual nível moderado de interferência pela DME usada pela aviação.

A monitorização coerente dos sinais E5a e E5b irá produzir baixas taxas de erros devido ao ruído térmico, mesmo abaixo de 1 centímetro. Ter-se-á também uma baixa taxa de erro dos dados das órbitas. Na Figura 39 mostra-se os valores característicos do código pseudo aleatório de monitorização devido ao ruído térmico de um receptor RTK.

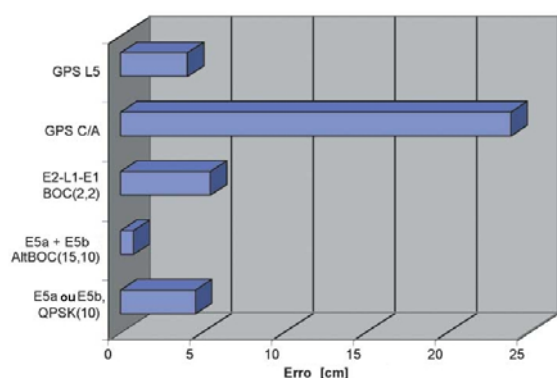


Figura 39 – Valores de Erro

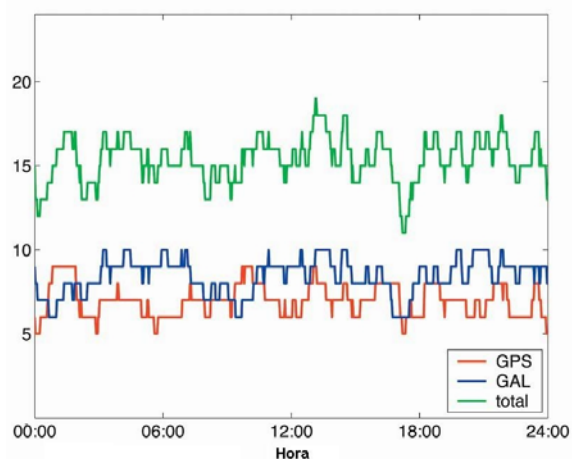


Figura 40 – Número de Satélites visualizados num dia

A constelação do sistema Galileo consiste em 27 satélites em três planos orbitais cada um com 9 satélites, igualmente espaçados dentro de uma órbita circular. O raio orbital é de 29994 Km e com uma inclinação de 56 graus. Para fornecer a redundância orbital necessária e permitir uma recuperação rápida no caso de uma falha, existem três satélites de reserva para substituição, um em cada plano orbital. Na Figura 40, apresenta-se o número de satélites acima dos 10 graus de elevação mínima para um dia inteiro, com a combinação dos sistemas GPS e Galileo.

2.5 – Localização em Redes Móveis GSM

2.5.1 – Introdução

Numa época em que é grande a competição em telecomunicações, os operadores de redes móveis procuram constantemente novas formas de se distinguir dos demais e aumentar os seus lucros. Uma das melhores formas de o conseguir é a oferta de serviços altamente personalizados. É aqui que a localização se torna bastante útil.

Os termos posicionamento móvel e localização móvel são por vezes utilizados como tendo o mesmo significado, mas não é essa a realidade. Posicionamento móvel refere-se à determinação

da posição do dispositivo móvel. Localização móvel refere-se à estimativa da localização em função da operação de posicionamento do dispositivo móvel. A finalidade do posicionamento móvel é a de providenciar serviços baseados na localização LBS (*Location Based Services*), onde se incluem os serviços de emergência. Um serviço de localização em redes móveis possui imensas aplicações:

- **Centros de Chamadas de Emergência:** Com o aumento da utilização do telemóvel, os centros de emergência têm vindo a notar um aumento bastante significativo do número de chamadas de emergências efectuadas a partir de terminais móveis. Quando a chamada de emergência é efectuada a partir de um número fixo, através do número que chega ao centro é possível chegar à morada de quem precisa de ajuda. No caso dos telemóveis isso não é possível, pois não existe informação sobre a localização do mesmo na altura da chamada. Acontece também, muitas vezes que o emissor não sabe descrever a sua localização correcta. Assim, com um serviço de localização seria possível proceder a uma ajuda mais eficaz. De forma a proceder à ajuda o mais eficazmente possível, o serviço de localização é extremamente importante na localização de chamadas de emergência efectuadas a partir de um telefone móvel.
- **Aplicações relacionadas com assuntos legais:** Agentes policiais e autoridades legais possuem aplicações para o serviço de localização que não estão relacionadas com as chamadas de emergência. Por exemplo o serviço de localização serviria para localizar um telemóvel roubado.
- **Aplicações comerciais:** Com o serviço de localização seria possível proceder-se a uma facturação dinâmica, em que consoante a localização do terminal assim seria cobrada a taxa devida. Um serviço interessante seria o utilizador do telemóvel em questão saber a sua localização exacta a qualquer momento. Obter informações, por exemplo, de restaurantes e sua localização em relação à sua actual posição.

2.5.2 – Características Gerais GSM

O sistema GSM é constituído por entidades isoladas. Como se mostra na Figura 41 essas entidades estão ligadas por interfaces de acordo com as especificações do ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*).

2.5.2.1 – Mobile Station

A *Mobile Station* (MS) é o equipamento GSM do utilizador. É a parte do sistema GSM que o utilizador comum consegue ver, o telefone móvel. Como existem diversos fabricantes que produzem estes equipamentos, as especificações de funcionamento da MS possuem grande detalhe [1]. As MS em GSM são independentes da operadora. A identificação do subscritor é obtida de um SIM (*Subscriber Identify Module*) que necessita ser introduzido na MS para que esta funcione.

O SIM contém o IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*) que identifica o subscritor perante a rede. Contém também informação necessária à encriptação das ligações efectuadas. A MS é identificada por um IMEI (*International Mobile Equipment Identify*). Sem o SIM, não é possível efectuar nem receber chamadas. Com uma excepção, são permitidas chamadas para o 112, número internacional de emergência [2].

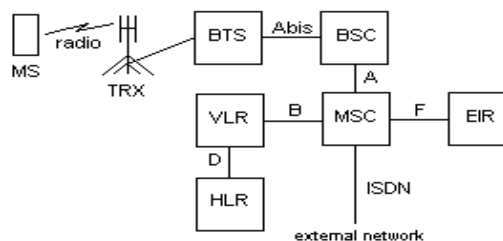


Figura 41 – Entidades do sistema GSM

2.5.2.2 – Base Transceiver Station

A BTS (*Base Transceiver Station*) é a entidade que comunica com a MS. Normalmente, a BTS possui vários rádio transmissores, cada um a comunicar numa frequência.

2.5.2.3 – Base Station Controller

Cada BSC (*Base Station Controller*) controla a potência de centenas de BTS. O BSC faz a gestão de um grande número de procedimentos relacionados com a configuração de chamadas, localização e mudança de célula, chamado de *handover* para cada MS. O controlo de *handover* é conseguido analisando o resultado das medições enviadas da MS durante uma chamada e ordenando a MS a efectuar um *handover* se necessário. A análise contínua de medições de muitas MS requer um considerável poder computacional, o que se torna um aspecto importante a ter em consideração no desenvolvimento do BSC.

2.5.2.4 – Mobile Switching Centre

O *Mobile Switching Centre* (MSC) é um *switch* ISDN (*Integrated Services Digital Network*) normal com funcionalidades acrescidas para conseguir manipular subscritores móveis. A função básica do MSC é a de comutar ligações de dados e voz entre BSC, entre MSC, entre outras redes GSM e redes não móveis. O MSC também efectua um determinado número de funções associadas aos subscritores móveis.

2.5.2.5 – Location Registers

A cada MSC está associado a *Visitor Location Register* (VLR). Um VLR pode estar associado a um ou mais MSC. O VLR armazena informação sobre todos os subscritores que estão utilizando a área de um dos MSC.

2.4.2.6 – Equipment Identity Register

O *Equipment Identity Register* (EIR) é um registo opcional. A sua função é registar os IMEI dos terminais móveis em uso.

2.5.3 – Classificação dos Sistemas de Localização

Uma possibilidade para classificação dos sistemas de localização é ter em conta a posição onde é feita a medida da posição e onde se utiliza essa informação. A classificação é útil quando se faz uma avaliação de um determinado sistema de localização para uma determinada aplicação [4].

- **Self-Positioning:** O receptor a localizar efectua medições de transmissores geograficamente distribuídos e utiliza essas medições para determinar a sua posição.
- **Remote Positioning:** Receptores colocados em vários locais medem o sinal proveniente, ou reflectido, do objecto a localizar. Essas medições são comunicadas a uma central onde são combinadas e analisadas de forma a obter uma estimativa da posição do objecto.
- **Indirect Positioning:** Um sistema *self-positioning* que envia os dados da posição para uma local remoto é denominado como *indirect remote positioning*. Um sistema *remote positioning* que transmite a posição do objecto para o objecto é denominado como *indirect self-positioning*.

2.5.4 – Técnicas de Localização

Uma rede GSM com as suas inúmeras estações base possui os alicerces necessários de um sistema de localização comparável ao GPS. Existem procedimentos nas actuais redes GSM que servem para gestão e controlo das mesmas que podem ser utilizadas num sistema de localização.

- **Cell-ID ou identificação de células:** identifica a célula ligada à BTS, onde se encontra o utilizador. Esta informação necessária para o funcionamento da rede é obtida através da interrogação dos MSC, depois de ter enviado ao móvel uma mensagem de serviço. A partir do número de BTS, a posição do móvel é obtida efectuando um pedido na tabela dos equipamentos, onde figuram as suas coordenadas geográficas. A precisão não excede o raio da célula, ou seja, mais ou menos 200 metros nas cidades e até 60 quilómetros fora delas. Dado que existem frequentemente três células dispostas em pétala por cada instalação de antenas, é possível precisar a posição num arco de círculo de 120°.
- **Time Advance (TA):** Consiste em medir, sob a forma de um sinal rádio, o tempo de trânsito de ida e volta de uma mensagem de serviço entre o móvel e a estação de base mais próxima.
- **Network Measurement Results (NMR):** Confia ao terminal o cuidado de avaliar simultaneamente o nível e a qualidade do sinal recebido proveniente da antena da célula.

Para alguns serviços de localização esta informação é suficiente, mas para serviços que necessitam de maior precisão é necessário utilizar em conjunto métodos de triangulação. Seja qual for o procedimento utilizado para a localização, através da rede GSM, dispõe-se de uma excelente cobertura urbana, mesmo no interior dos edifícios. Em contrapartida, essa cobertura degrada-se fora das cidades. A baixa densidade dos pontos de interesse que permitiriam assinalar os serviços de localização é, por vezes, proporcional. Por vezes em serviços de navegação dependentes da localização, o GSM não consegue satisfazer os utilizadores que se encontram fora dos centros urbanos.

Outra solução reside no sistema de localização por satélite GPS. Já existem alguns terminais GSM que integram um receptor deste tipo, enquanto os PDA (*Personal Digital Assistant*) podem ser dotados de extensões que respondem a essa função. No entanto, e para além da má cobertura dentro das cidades, o GPS apresenta diversos inconvenientes. Requer a integração num terminal de grande dimensão, assim como importantes recursos dedicados simultaneamente à recepção dos sinais, aos cálculos de triangulação e à execução das aplicações. Por outro lado, o tempo de iniciação da troca de dados com os satélites por um receptor GPS demora vários minutos.

O GPS apresenta como grandes vantagens a sua precisão e o serviço gratuito. Como as qualidades e defeitos do GSM e GPS são complementares surgiu o GPS assistido. Aliando o GPS assistido a um procedimento como, por exemplo, o EOTD (*Enhanced Observed Time Difference*) será possível passar de um para o outro de acordo com o ambiente, ou então correlacionar os dois. De forma a satisfazer alguns requisitos referidos anteriormente, três métodos de localização foram normalizados pelo T1P1 (sub comité do *American T1 Standards Committee* dedicado a *Wireless/Mobile Services and Systems*). Os métodos normalizados pelo T1P1 são:

- **Time of Arrival (TOA):** necessita de várias estações base atentas às variações do sinal do móvel, e que as mesmas calculem a triangulação de forma a obter a sua localização. Tem a vantagem de funcionar com os equipamentos móveis existentes, e a desvantagem de precisar de grande investimento em infra-estruturas de suporte.
- **Enhanced Observed Time Difference:** o equipamento móvel tem de estar atento às variações de sinal de várias estações base e tem de efectuar medições de diferença de tempos de trânsito. Estas medições são utilizadas no cálculo da triangulação para

determinar a posição do móvel. Este método implica alterações nos equipamentos móveis mas ao mesmo tempo um menor investimento em infra-estruturas.

- **Assisted GPS:** Este método impõe o desenvolvimento de um terminal móvel, que inclua um núcleo de terminal GPS dedicado à recepção dos dados brutos que provêm dos satélites. Esses dados são de seguida transmitidos para um servidor, no qual são efectuados os cálculos de triangulação. A janela de cálculo é bastante reduzida, graças a uma localização prévia pelo procedimento de identificação de células *Cell-ID*, o que suprime os minutos de iniciação que penalizam o GPS. Correlacionando os dados da rede GSM com os do GPS obtêm-se possivelmente a melhor precisão. Uma desvantagem é a fraca penetração do sinal dos satélites de GPS.

Cada método tem vantagens e desvantagens, logo nenhum dos métodos satisfaz a totalidade dos requisitos.

2.5.5 – Cálculo da Posição de um Móvel pelo Método da Triangulação num Sistema GSM

Pretende-se determinar a posição de um móvel U conhecendo a posição de três BTS, como ilustrado na Figura 42. Dado um TA medido na BTS i , temos a equação

$$t_i = D_i / c \quad (3)$$

onde,

$$D_i = \|x_i - x_u\| = \sqrt{(x_i - x_u)^2 + (y_i - y_u)^2} \quad (4)$$

é a distância medida entre a MS e a BTS i ; x_i é a posição conhecida da BTS i ; x_u é a posição desconhecida da MS e c a velocidade da luz. Como a distância e o tempo estão ambos relacionados pela velocidade da luz, as equações podem ser desenvolvidas baseadas no tempo ou na distância. Cada par de circunferências intersecta-se em dois pontos que definem uma recta. A intersecção de duas dessas rectas define a posição do um ponto x_u . Neste caso escolhemos as rectas resultantes da intersecção das circunferências 1 e 2 e das circunferências 2 e 3, da Figura 23. Resolvendo o sistema da equação 4 para $i=1,2$ e resolvendo em ordem à coordenada y_u em função de x_u temos:

$$y_u = -\left(\frac{x_2 - x_1}{y_2 - y_1}\right) \cdot x_u + \frac{x_2^2 + y_2^2 - x_1^2 - y_1^2 + D_1^2 - D_2^2}{2 \cdot (y_2 - y_1)} \quad (5)$$

onde D_i é a distância medida entre a MS e a BTS i . Seguindo o mesmo raciocínio para $i=2,3$ obtemos:

$$y_u = -\left(\frac{x_2 - x_3}{y_2 - y_3}\right) \cdot x_u + \frac{x_2^2 + y_2^2 - x_3^2 - y_3^2 + D_3^2 - D_2^2}{2 \cdot (y_2 - y_3)} \quad (6)$$

Equacionando estas duas equações lineares e resolvendo para x_u e para y_u , obtemos:

$$x_u = \frac{(y_2 - y_1) \cdot C_3 - (y_2 - y_3) \cdot C_1}{2 \cdot [(x_2 - x_3) \cdot (y_2 - y_1) - (x_2 - x_1) \cdot (y_2 - y_3)]} \quad (7)$$

$$y_u = \frac{(x_2 - x_1) \cdot C_3 - (x_2 - x_3) \cdot C_1}{2 \cdot [(y_2 - y_3) \cdot (x_2 - x_1) - (y_2 - y_1) \cdot (x_2 - x_3)]}$$

Onde,

$$C_1 = x_2^2 + y_2^2 - x_1^2 - y_1^2 + D_1^2 - D_2^2 \quad (8)$$

$$C_3 = x_2^2 + y_2^2 - x_3^2 - y_3^2 + D_3^2 - D_2^2$$

Então, dada a posição das BTS e as medidas das distâncias, $D_i = c \cdot t_i$, pode-se obter uma estimativa da posição da MS utilizando a Equação 7.

2.5.5.1 – Cálculo das distâncias reais ao móvel U

Vamos considerar para o cálculo da posição de um móvel três BTS situadas nas coordenadas:

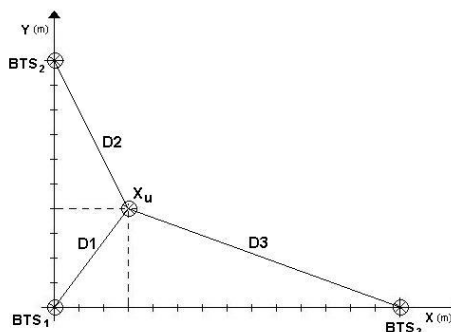


Figura 42 – Representação do problema em coordenadas cartesianas

$$\begin{aligned} \text{BTS}_1 : (x_1, y_1) &= (0, 0); \\ \text{BTS}_2 : (x_2, y_2) &= (0, 5000); \\ \text{BTS}_3 : (x_3, y_3) &= (7000, 0). \end{aligned}$$

Para podermos efectuar uma comparação entre a posição calculada pela triangulação e a sua posição real sabemos à partida que o móvel se encontra na posição $(x_u, y_u) = (1500, 2000)$. Calculando a distância real entre a MS e cada uma das estações base, $\text{BTS}_1, \text{BTS}_2, \text{BTS}_3$, a partir da Equação 4, obtém-se:

$$\begin{aligned} D_{1\text{real}} &= \sqrt{(0-1500)^2 + (0-2000)^2} = 2500m \\ D_{2\text{real}} &= \sqrt{(0-1500)^2 + (5000-2000)^2} = 3354m \\ D_{3\text{real}} &= \sqrt{(7000-1500)^2 + (0-2000)^2} = 5852m \end{aligned} \quad (9)$$

Calculando o tempo real de ida e volta do sinal da cada uma das BTS ao móvel pela Equação 3 obtém-se:

$$\begin{aligned} T_{1\text{real}} &= 2500/3 \times 10^8 \approx 8,3 \mu s \times 2 = 16,6 \mu s \\ T_{2\text{real}} &= 3354/3 \times 10^8 \approx 11,18 \mu s \times 2 = 22,36 \mu s \\ T_{3\text{real}} &= 5852/3 \times 10^8 \approx 19,5 \mu s \times 2 = 39,0 \mu s \end{aligned} \quad (10)$$

2.5.5.2 – Posição calculada pela triangulação pelo sistema GSM

Os cálculos necessários para aplicar a triangulação, são obtidos através de *timing advances* (TA): os atrasos de viagem de propagação arredondados para o inteiro mais próximo, por excesso, do período de *bit*, $T_B = 48/13 \mu s$, são estimados pelo BTS de forma a manter o alinhamento das tramas no esquema de acesso FDMA/TDMA (*Frequency Division Multiple Access / Time Division Multiple Access*) [5]. Visto que os TA são números inteiros, um cálculo absoluto da distância é $D = TA \cdot \Delta/2$, onde $\Delta = c \cdot T_B \approx 1108 \text{ m}$ ($c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$, velocidade da luz).

$$\begin{aligned}\frac{T_{1real}}{T_B} &= 4,49 \Rightarrow T_{A1} = 5 \\ \frac{T_{2real}}{T_B} &= 6,059 \Rightarrow T_{A2} = 7 \\ \frac{T_{3real}}{T_B} &= 10,56 \Rightarrow T_{A3} = 11\end{aligned}\quad (11)$$

Temos então que:

$$\begin{aligned}D_1 &= T_{A1} \cdot \frac{c \cdot T_B}{2} = 5 \cdot \frac{3 \times 10^8 \cdot 3,69 \times 10^{-6}}{2} = 2767m \\ D_2 &= T_{A2} \cdot \frac{c \cdot T_B}{2} = 7 \cdot \frac{3 \times 10^8 \cdot 3,69 \times 10^{-6}}{2} = 3875m \\ D_3 &= T_{A3} \cdot \frac{c \cdot T_B}{2} = 11 \cdot \frac{3 \times 10^8 \cdot 3,69 \times 10^{-6}}{2} = 6088m\end{aligned}\quad (12)$$

Obtendo assim as distâncias entre a MS e cada uma das estações base, BTS₁, BTS₂, BTS₃:

- ▶ Através da Equação 8 calculamos os valores para $C_1 = 17640664$ e $C_3 = -1951881$.
- ▶ Através da Equação 7 calculamos os valores de $x_u = 1399$ m e $y_u = 1764$ m.

Como já explicado anteriormente os cálculos necessários para aplicar a triangulação são obtidos através de TA. Por causa dos erros de estimação e quantização, os cálculos da distância obtidos vêm afectados por erros com valor máximo de $\Delta/2 + \Delta/8 \approx 692$ m. De facto, as especificações técnicas [5] enunciam que a estimativa de erro, devido ao ruído e interferências, deve estar entre $[-E, +E]$ (onde $E = \Delta/4 + \chi \cdot \Delta/8$ e χ varia de 0 até 1, contabilizado para a velocidade do MS), enquanto que os erros de quantização não excedem em amplitude $\Delta/4 \approx 277$ m.

Os erros de cálculo para uma distância superior a 100m tornam desprezáveis a contribuição da diferença de altitudes entre a MS e as BTS. É importante notar que para a determinação da terceira coordenada, é necessário existir uma quarta BTS disponível; o que se torna um pouco difícil em casos de ambientes com macro-células. Verificou-se que no exemplo, o erro cometido foi de $x_{ERRO} = 101$ m e $y_{ERRO} = 236$ m, ou seja, bastante inferior ao erro máximo que se pode cometer. No entanto, o erro máximo que se pode cometer é bastante superior aos erros médios do sistema GPS. Comparando os sistemas de localização por GSM e GPS pode-se dizer que o GSM tem as seguintes vantagens:

- ▶▶ Melhor cobertura em áreas urbanas.
- ▶▶ Este sistema pode ser usado para outras funcionalidades.

E as seguintes desvantagens:

- ▶▶ Custo elevado para providenciar cobertura em áreas rurais, onde existem poucas BTS.
- ▶▶ A precisão é pior do que a comparada com o DGPS.
- ▶▶ Existe um número limite de utilizadores, que o GSM pode suportar.
- ▶▶ Má cobertura em zonas rurais.

CAPÍTULO 3

O SISTEMA DE COMUNICAÇÕES RÁDIO SOLO COMBOIO

3.1 – Introdução

Como o objectivo central desta dissertação é o de possibilitar a utilização do sistema de localização GPS nas Unidades Motoras de uma frota ferroviária, teve de se escolher um sistema de transmissão de dados do Posto Móvel para um Posto Fixo. Para tal, foi escolhido o sistema de comunicações Rádio Solo Comboio que se encontra instalado a bordo das Unidades Motoras, que com a sua recente integração do sistema GSM, permite uma transmissão rápida de dados. Deste modo, podemos transmitir dados do sistema GPS para um posto de comando central para possibilitar uma gestão precisa e dinâmica da frota ferroviária. É objectivo deste capítulo fazer uma descrição geral do sistema de comunicações Rádio Solo Comboio, desde o seu início até ao seu estado actual, com a integração do sistema GSM.

3.2 – Evolução do Sistema Rádio Solo Comboio

O primeiro sistema Rádio Solo Comboio apareceu em Portugal em 1988 na linha de Sintra, permitindo apenas comunicação de voz. Este primeiro sistema foi transferido em 1999 para a linha de Cascais. Em 1992, o sistema sofreu alterações profundas passando a permitir comunicações de voz e dados em simultâneo num único canal rádio. O primeiro destes sistemas foi implementado na linha do Norte, onde cada Sector de Regulação era equipado com um sistema isolado, ou seja, sem ligação aos outros Sectores de Regulação da mesma linha. Em 1997 e na linha da Beira Alta, surgiu a integração de Reguladores e os primeiros CTC, onde os Sectores de Regulação deixaram de ser sistemas isolados, e onde já é possível, caso um dos Reguladores se retire do seu posto, o seu tráfego de dados e voz podem ser comutados por rede para outro Regulador, ou seja, é possível trocar ou concentrar funções entre diferentes posições de operação.

Em 1999, o sistema da linha de Sintra foi substituído por um sistema com novas facilidades, ou seja, a transmissão de dados em grande quantidade recorrendo as mensagens SDM (*Short Data Message*). Graças às SDM é possível a mudança automática de Sector de Regulação, o que anteriormente só era possível efectuar manualmente. Em 2000, houve uma alteração ao nível dos Postos Móveis de modo a suportar a integração GSM, cuja a instalação no material circulante se iniciou em 2002. E em 2005 está previsto uma nova alteração, a evolução para o GSM-R.

3.3 – Descrição Geral do Sistema Rádio Solo Comboio

O sistema de comunicações Rádio Solo Comboio, é um sistema centralizado e devido a isso, qualquer comunicação em fonia carece de autorização prévia do Posto Regulador. As linhas ferroviárias estão divididas, sob o ponto de vista de regulação, em um ou mais sectores. Assim cada Sector de Regulação é responsável pela regulação de um troço de via. As comunicações entre as Estações Base (EB – equipamento que faz a comunicação entre o comboio e regulador) e os Postos Móveis (PM – equipamento que se encontra no comboio para estabelecer a comunicação com o regulador), são feitas através de um grupo de frequências na banda dos 450 MHz, e cada sector possui 3 frequências de emissão e uma de recepção, ou seja, cada EB emite em f_1 , f_2 ou f_3 e recebem em f_4 , e os PM emitem em f_4 e recebe em f_1 , f_2 ou f_3 (Figura 43). As EB estão dispostas de modo a que a primeira EB emite em f_1 , a segunda em f_2 , a terceira em f_3 e as seguintes continuam neste ciclo de frequências, ou seja, f_1 , f_2 , f_3 , f_1 , f_2 , f_3 , etc.. Esta sequência é feita de modo a poder reutilizar as frequências e a não existir interferências entre elas, isto é, quando se volta a usar f_1 , o sinal da EB anterior com a mesma frequência é mínimo e é confundido com o ruído ambiente não sendo considerado pelo PM.

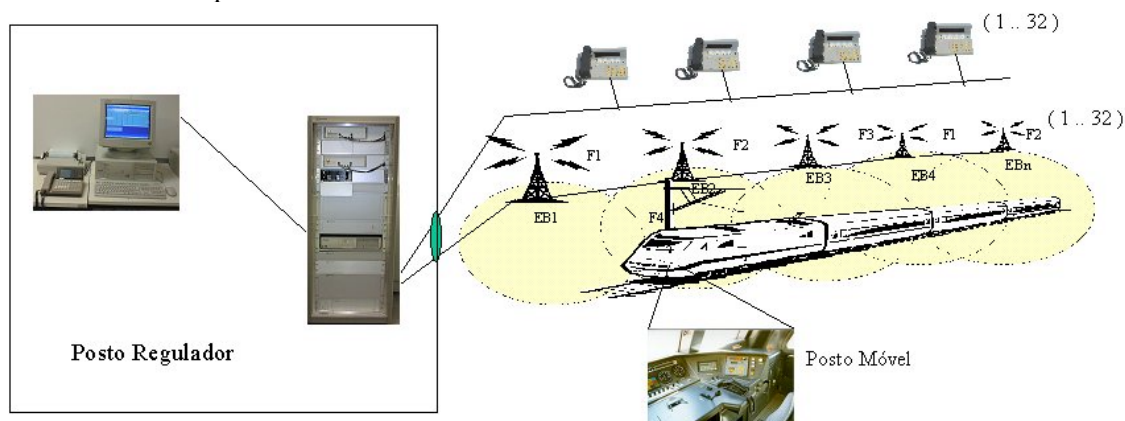


Figura 43 – Disposição Básica de uma Rede Rádio Solo Comboio

O PM vai-se registando nas varias EB ao longo da linha, fazendo *scanning* às três frequências e seleccionando a que recebe com nível de sinal mais elevado. Existem 4 grupos de frequências atribuídas à REFER pelo ICP (Instituto das Comunicações de Portugal), como se pode observar na Tabela 6. A existência de quatro grupos de frequências deve-se ao facto das linhas dos caminhos de ferro de Portugal estarem interligadas em certos pontos do País. A cada linha é atribuído um grupo distinto de frequências, de modo a que essas frequências possam ser reutilizadas ao longo da mesma linha. Nos pontos de interligação com outras linhas, o grupo escolhido é o da linha principal. Por exemplo, na viagem Lisboa → Nelas (Linha do Norte + Linha da Beira Alta), no ponto de bifurcação (Pampilhosa), o grupo de frequências é o da Linha do Norte. Mas quando o comboio sai da Pampilhosa em direcção a Nelas, ele muda de grupo de frequência para o da Linha da Beira Alta, isto porque o inicio da Linha da Beira Alta é na Pampilhosa.

A explicação, para se mudar de grupo de frequência, prende-se com o facto de que se as Estações Base da Linha da Beira Alta tivessem o mesmo grupo de frequências iria existir interferências entre os sinais da Linha do Norte e da Linha da Beira Alta, e o comboio não saberia

em que Estação Base se deveria registar. Com a mudança de grupo de frequências este problema já não se coloca.

Gr.		Frequências atribuídas a REFER – Rádio Solo Comboio	
		Estação Base	
		Freq. Emissão MHz	Freq. Recepção MHz
62	F1	467,650	F4 457,700
	F2	467,700	
	F3	467,750	
63	F1	467,775	F4 457,825
	F2	467,825	
	F3	467,875	
73	F1	467,625	F4 457,675
	F2	467,675	
	F3	467,725	
75	F1	467,750	F4 457,800
	F2	467,800	
	F3	467,850	
		Freq. Recepção MHz	Freq. Emissão MHz
Posto Móvel			

Tabela 6 – Tabela das frequências do RSC

Cada Sector de Regulação (SR), só pode suportar até 32 Estações Base devido ao endereçamento das EB. Nos centros de Controlo de Tráfego Centralizado ou nos Postos de Comando Locais (PCL) encontra(m)-se instalado(s) o(s) Posto(s) Regulador(es) (PR) cuja função será a de estabelecer, controlar e supervisionar todo o tráfego de mensagens. O sistema é constituído por dois tipos base de equipamento:

- ▶ Equipamento fixo;
- ▶ Equipamento móvel, portátil e transportável.

Na Figura 44 temos um exemplo de SR (1º Sector da Linha do Norte).

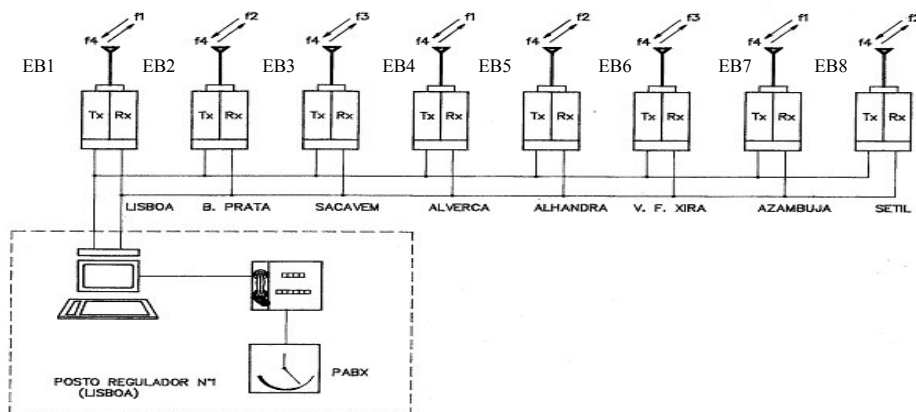


Figura 44 – 1º Sector da Linha do Norte

3.3.1 – Equipamento Fixo

Há a considerar três tipos de equipamento fixo:

- ▶ Postos Reguladores;
- ▶ Postos Fixos;
- ▶ Postos de Estação.

3.3.1.1 – Postos Reguladores

Posto Regulador é a denominação que se dá ao equipamento de telecomunicações que permite a exploração e supervisão das comunicações em cada Sector de Regulação. Existem dois tipos de PR:

- ▶ Posto Regulador sem Integração de Reguladores,
- ▶ Posto Regulador com Integração de Reguladores.

Na Figura 45 podemos observar o PC (*Personal Computer*) do PR, a consola de fonia e a impressora que regista continuamente as mensagens recebidas pelo PR.



Figura 45 – PC, Consola de fonia e impressora



Figura 46 – Bastidor

Na Figura 46, pode-se observar o bastidor de um Posto Regulador com Integração de Reguladores.

A – Posto Regulador sem Integração de Reguladores

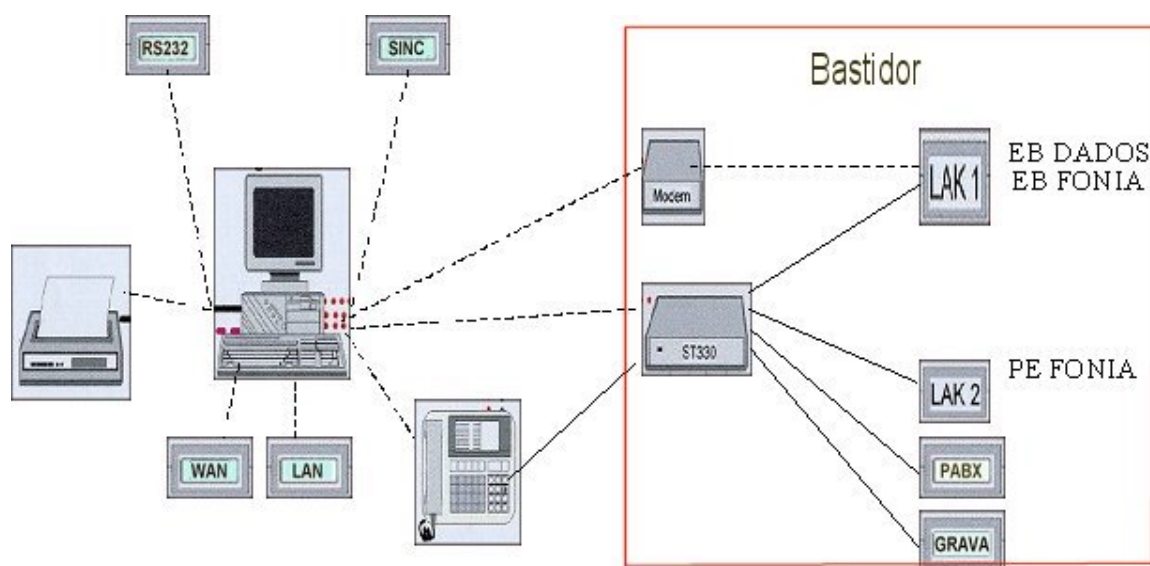


Figura 47 – Posto de Regulador sem Integração

O Posto Regulador sem Integração é composto por um regulador que controla um número fixo de Estações Base e Postos Estação (PE) ao longo de uma determinada linha. Este tipo de sistema é usado nos Postos de Comando Locais. Este sistema tem a composição mostrada na Figura 47. Verificamos que o PC do Regulador tem uma impressora, duas placas de rede (uma para a rede externa e outra para a rede interna para que no futuro se possa fazer a integração de Reguladores), uma consola de fonia, e uma ligação ao sistema de sincronização horária da REFER.

No lado esquerdo do esquema temos o bastidor que tem a matriz de áudio para a fonia (ST330), e um *modem* para os dados. A ST330 é responsável pela comunicação áudio das EB e dos PE e para a rede fixa de telefones. Tem ainda uma saída para um gravador que grava todas as conversações existentes. A ST330 e o *modem* estão por sua vez ligados às LAK (Interface de Alta Impedância). A LAK permite a adaptação de níveis, impedâncias e simetria/assimetria entre as linhas Tx e Rx de fonia e de dados, e o cabo telefónico de 1200 Ω de impedância característica. A LAK apresenta uma impedância de 12 k Ω à linha telefónica de modo a não carregar os pares telefónicos.

B – Posto Regulador com Integração de Reguladores

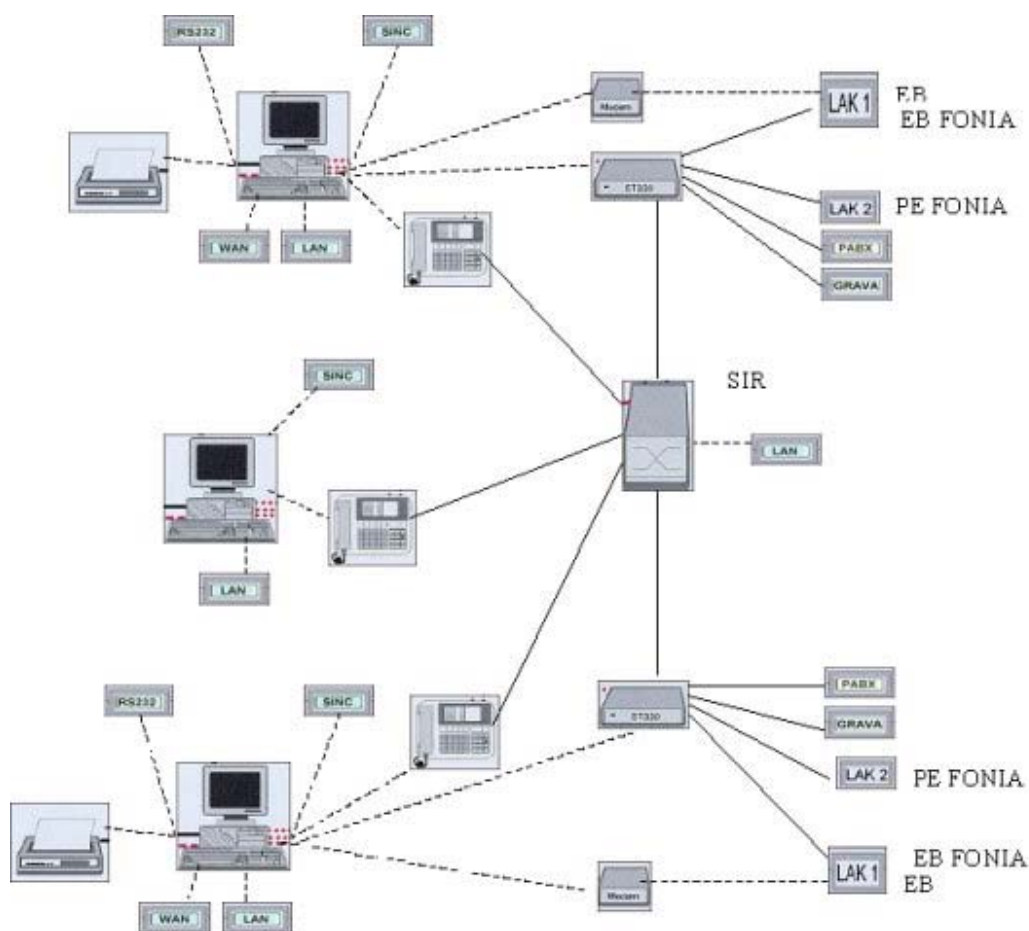


Figura 48 – Posto de Regulador com Integração

Posteriormente, com o aparecimento dos centros de Controlo de Tráfego Centralizado houve a necessidade de se instalarem vários reguladores no mesmo local, para se poder centralizar as comunicações. Para satisfazer essa centralização o Sistema Rádio Solo Comboio sofreu algumas alterações para poder oferecer as novas facilidades (Supervisor, SIR – Sistema de Integração de Reguladores, etc.), de modo a tornar o sistema mais flexível para quem o opera e gere.

A principal diferença entre este tipo de Regulador e o anterior é o SIR que é um comutador de áudio, com comandos e funções de controlo que possibilitam a sua integração com outros equipamentos e que foi desenvolvido para integração num sistema de comunicações áudio ferroviárias. Este SIR permite comutar as comunicações áudio de um Regulador para outro através de uma matriz de comutação. Esta comutação é feita para que se possa concentrar o tráfego de voz e dados num único Posto Regulador de modo a assegurar o bom funcionamento do sistema, para o caso de um dos outros Postos Reguladores não estar activo por qualquer motivo. A outra diferença é da existência de rede local (LAN – *Local Area Network*) que liga todos os Postos Reguladores uns aos outros, de modo a ser possível a comutação de dados entre os Postos de Reguladores (Figura 48).

3.3.1.2 – Postos Fixos

Por definição, dá-se o nome de Posto Fixo (PF) ao conjunto de equipamentos distribuídos criteriosamente ao longo da linha e que garantem a cobertura rádio entre os Postos Reguladores e os Postos Móveis, Transportáveis e Portáteis (Figura 49 e Figura 50). Um PF é genericamente constituído por:

- ▶ Sub-bastidor BS (*Base Station*) 770 CP-N;
- ▶ Sistema de antenas;
- ▶ Torre;
- ▶ Sistema de terras de protecção.
- ▶ Cabo coaxial;
- ▶ Acessórios coaxiais;
- ▶ Protector coaxial;
- ▶ Sistema de alimentação;



Figura 49 – Casa Abrigo, Torre e Antenas



Figura 50 – Bastidor

3.3.1.3 – Postos de Estação

Posto de Estação é a designação dada ao conjunto de equipamento instalado em cada uma das Estações dos Caminhos de Ferro e que permite ao respectivo Chefe de Estação estabelecer comunicação através do Posto Regulador com qualquer dos outros elementos do sistema. O equipamento é constituído por um bastidor e uma consola de fonia (Figura 51).



Figura 51 – Consola de fonia

3.3.2 – Tipos de Mensagens

Nas comunicações do sistema existem três tipos de mensagens:

- ▶ de fonia;
- ▶ *status*;
- ▶ SDM.

As mensagens de fonia são moduladas em fase. Dentro das mensagens *status* podemos considerar dois tipos de modulação, *Frequency Shift Keying* (FSK) e *Fast Frequency Shift Keying* (FFSK). As mensagens em FSK sub-áudio a 50 Baud são emitidas continuamente pelos Postos Fixos durante as conversações e assinalam aos Postos Móveis o estado dos Postos Fixos. Estas mensagens são transmitidas na banda sub-áudio para não perturbarem a troca de mensagens de fonia e a razão da sua velocidade de transmissão ser baixa deve-se ao tipo de *modem* usado que não permite velocidades superiores. As mensagens FSK a 1200 *bits/s* são usadas para comunicação entre Postos Fixos e Posto Regulador via linha telefónica (*polling* e mensagens de tráfego). As mensagens em FFSK a 1200 *bits/s* são usadas na chamada selectiva e no serviço de *status* entre Posto Móvel e Posto Regulador.

As SDM, moduladas em FFSK a 1200 *bits/s* surgiram pela necessidade de dotar os Postos Móveis de um canal de dados a 1200 *bits/s*, para que futuramente se possam interligar a painéis informativos, bilhética e novas funcionalidades tais como, mudanças automáticas de grupo de frequência, *Sleeping Mode*, etc. Uma mensagem SDM pode suportar até 96 caracteres no seu campo de dados. Existem três tipos de mensagem SDM:

- ▶ **Normal** – Durante um conversação entre Maquinista e Regulador se chegar uma SDM, este têm que ficar em modo de espera na base até a conversação acabar.
- ▶ **Prioritário ou de Alta Prioridade** – Durante um conversação entre Maquinista e Regulador se chegar uma SDM, este irá se sobrepor a conversa .
- ▶ **Mensagens de Resposta** – Informam o computador REFER sobre o resultado da transmissão de uma SDM, Ex.: *Mobile answer, Mobile doesn't answer, Mobile Registered, Base station Busy, Base Station doesn't exist, SDM not send, SDM sent , Error Alive Message*.

3.3.3 – Equipamento Transportável e Portátil

3.3.3.1 – Postos Transportáveis

O Posto Transportável (PT) é o mesmo conjunto de equipamentos que integra um Posto Móvel, com excepção da Unidade de Recolha de Dados e da placa de interface com o sistema de Anúncio a Passageiros. Este conjunto de equipamento encontra-se montado numa mala de dimensões reduzidas (Figura 52). O PT destina-se a ser usado temporariamente em veículos que não possuam o equipamento do Posto Móvel. Estes PT podem operar no sistema Rádio Solo Comboio, não oferecendo, todavia, a facilidade de transmissão de mensagens de *status* e as interligações:



Figura 52 – Posto Transportável

- ▶ Maquinista↔Revisor;
- ▶ Maquinista↔Passageiros;
- ▶ Regulador↔Revisor;
- ▶ Regulador↔Passageiros.

3.3.3.2 – Posto Portátil

O Posto Portátil (PP) é constituído essencialmente por uma unidade de comando e uma bateria, que estão alojados num receptáculo plástico. As suas principais diferenças relativamente aos Postos Móveis são:

- ▶ Não transmite nem recebe mensagens *status*.
- ▶ Não pode ser interligado ao sistema de Anúncio a Passageiros.
- ▶ A sua unidade de comando tem um interface diferente.
- ▶ Tem um procedimento de operação diferente.



Figura 53 – Posto Portátil

3.3.4 – Postos Móveis

Posto Móvel é a designação dada ao conjunto de equipamento instalado nas locomotivas (Figura 54) e que garante a comunicação, via rádio, entre o comboio e o Posto Regulador do Sector de Regulação em que este se encontra registado. As comunicações possíveis são:

- ▶ Comunicação de fonia entre o maquinista e os passageiros através do sistema de Anúncio aos Passageiros.
- ▶ Comunicação de fonia entre o maquinista e o revisor através do sistema de interfonia.
- ▶ Comunicação de fonia entre o PR e os passageiros através do sistema de Anúncio aos Passageiros (directamente ou por intervenção do maquinista).
- ▶ Comunicação de fonia com outros PM.
- ▶ Comunicação de fonia com os Postos de Estação do respectivo SR.

Todas estas ligações têm de ser executadas através do PR. A comunicação entre PM e PR pode ser efectuada em fonia ou através de mensagens *status* e será desenvolvido mais adiante.



Figura 54 – Consola de fonia



Figura 55 – Consola de fonia e Sub-bastidor

Na Figura 55 pode-se observar o sub-bastidor de um posto móvel e a sua respectiva consola de fonia. Na Figura 54 pode-se observar a consola BG 550 no painel de comandos do Maquinista, na sua cabine de condução. A constituição do PM pode ser visualizada na Figura 56.

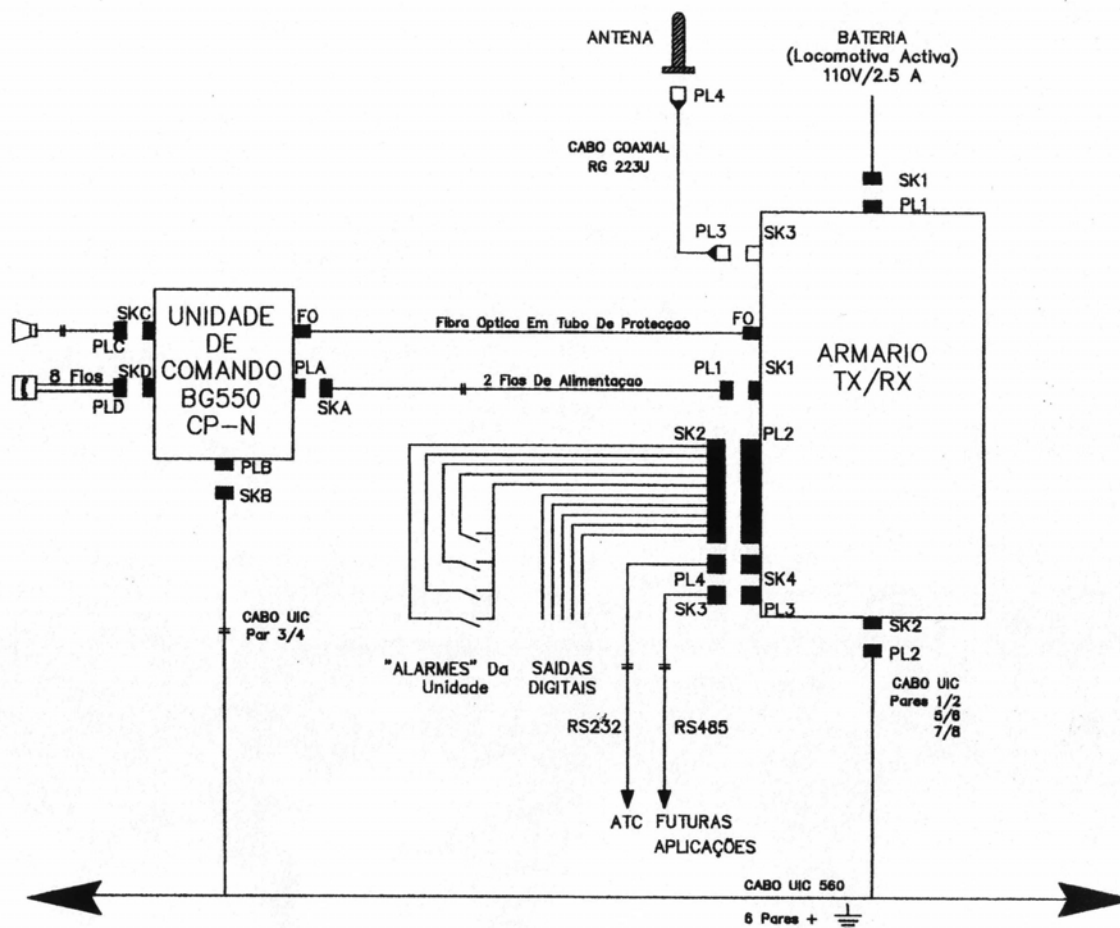


Figura 56 – Constituição do Posto Móvel

Assim, um PM é constituído por (Figura 57):

- um sub-bastidor Tx/Rx, que por sua vez é composto por:
 - ▶ um transceptor SE550 CP-N (Figura 58);
 - ▶ uma ORD (Unidade de Recolha de Dados) (Figura 59);
 - ▶ um conversor DC/DC 60..140 /12 V_{DC};
 - ▶ uma carta de interface com o sistema de Anúncio a Passageiros (AP).
- uma unidade de comando BG 550 CP-N, tal como se mostra na Figura 60;
- um microtelefone Peiker;
- um altifalante de 10W Peiker;
- uma antena Kathrein.

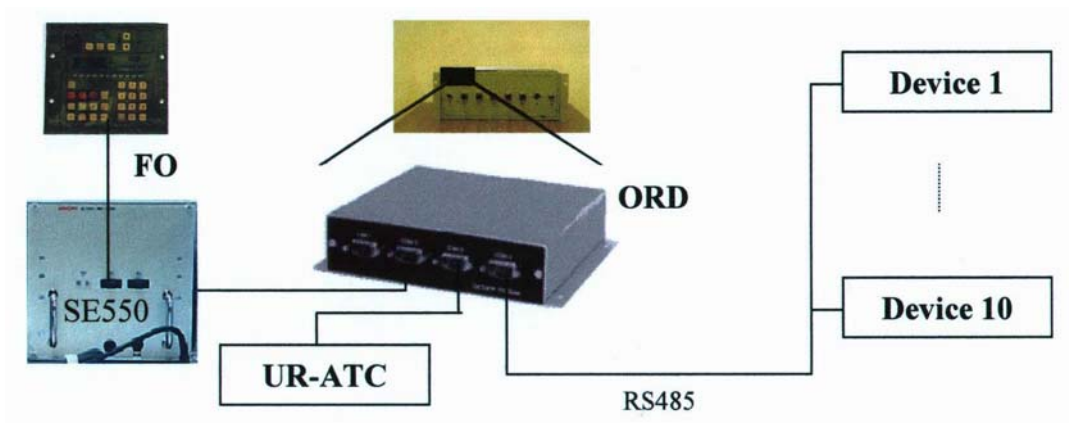


Figura 57 – Diagrama do Posto Móvel



Figura 58 – Transceptor SE550 CP-N



Figura 59 – Unidade de Recolha de Dados

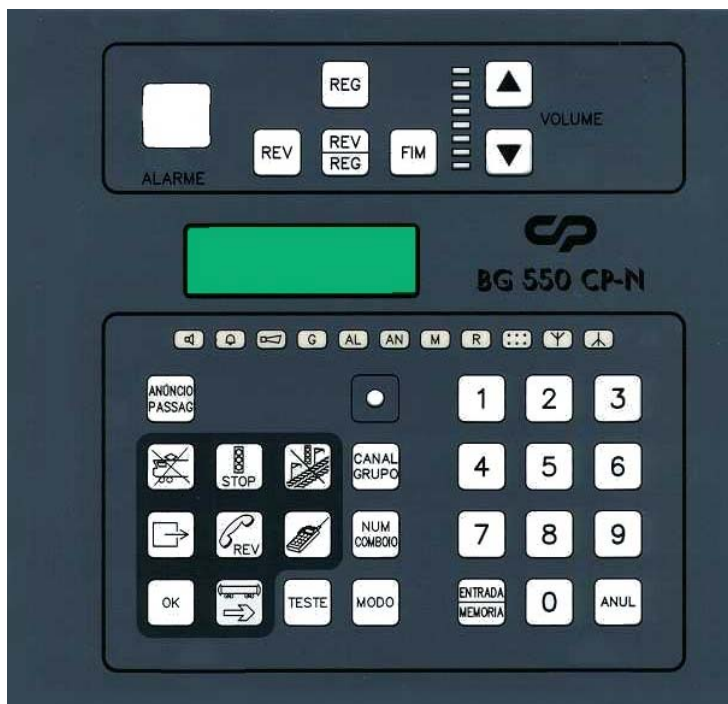


Figura 60 – BG550 CP-N

3.3.4.1 – Sub-Bastidor do Posto Móvel

O diagrama eléctrico do sub-bastidor Posto Móvel é o que consta na Figura 61.

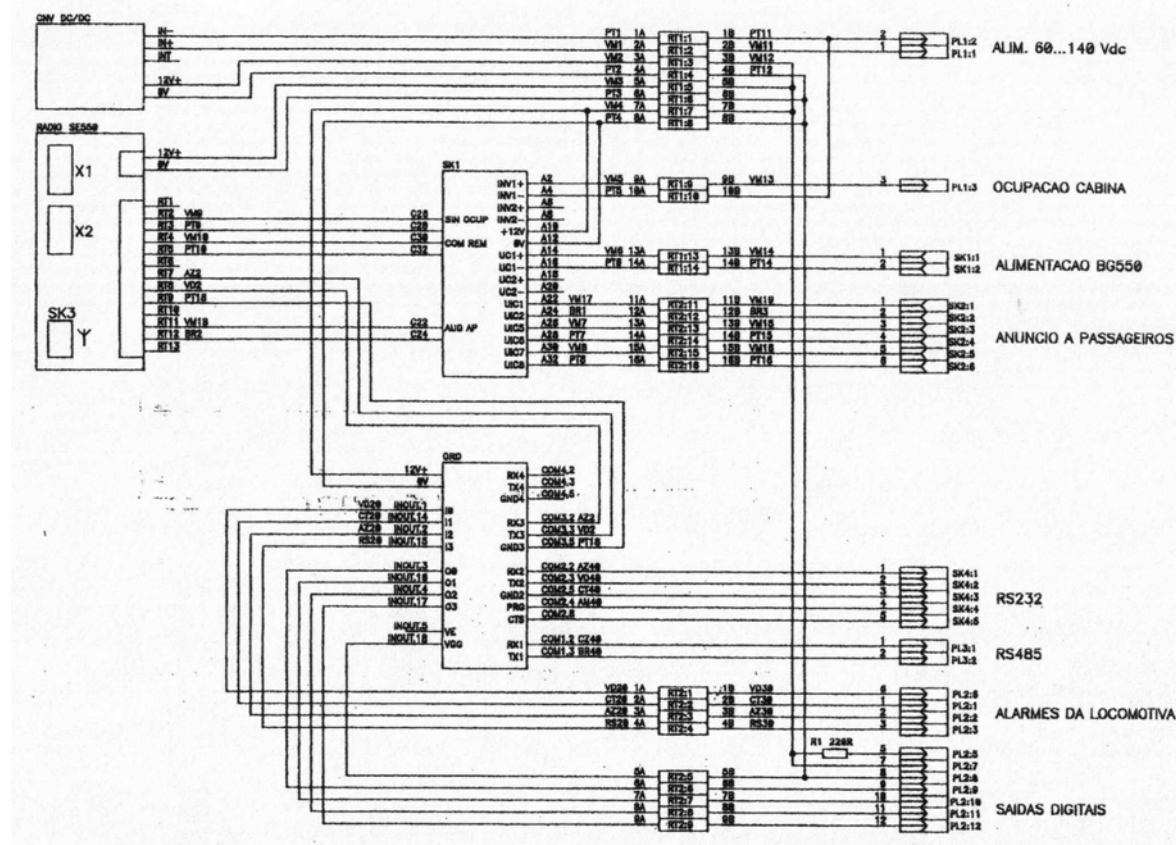


Figura 61 – Diagrama Eléctrico do Posto Móvel

Características Técnicas

- Alimentação 72 VDC nominais (50 a 140 VDC)
- Consumo (à tensão nominal) 1.5 A
- Tensão nominal à saída do conversor $13.2 \pm 0.2 V_{DC}$

3.3.4.2 – Transceptor SE550 CP-N

Características Técnicas

- Banda de frequência 450 ... 470 MHz
- Geração de frequência Sintetizador (PLL)
- Banda de comutação de canais 20 MHz
- Espaçamento entre canais 12.5 KHz
- Número de canais ≤ 1000
- Modos de operação Simplex, semi-duplex
- Frequências intermédias 21.4 MHz e 455 KHz
- Potência da portadora 1 ... 6 Watt
- Tipo de modulação PM, FM
- Chamada selectiva e tons sub-áudio ZVEI, CCIR, EIA
- Saída de áudio 0.25 mW em 600 Ω
- Entrada de áudio (desvio nominal) 5 mV em 600 Ω
- Tensão nominal de alimentação $13.2 V_{DC}$ (10.8 ... 15.6 V_{DC})

3.3.4.3 – Unidade de Recolha de Dados

A Interface Universal ORD (Figura 62) visa a correcta integração de diferentes sistemas, traduzindo protocolos, encaminhando dados, ou mesmo controlando os equipamentos. A ORD, realiza a interligação entre o transceptor e os equipamentos do móvel sendo responsável pela interpretação e encaminhamento dos comandos e dados recebidos pelo Transceptor. A ORD providencia soluções de compatibilização entre interfaces. Dados adquiridos por diferentes equipamentos (telemetria, GPS, DGPS, etc.) podem ser recolhidos pela ORD (*Device 1...11*), e encaminhados para diferentes equipamentos de comunicações (RSC, GSM, *Tetra*, *Iridium*, *Trunk*, GSM-R, etc.). De um modo resumido as suas características gerais são:

- ▶ Micro-controlador M37710 a 14.7456 MHz;
- ▶ *Flash Memory* 512K;
- ▶ SRAM 32K;
- ▶ Quatro entradas analógicas;
- ▶ Quatro entradas digitais isoladas;
- ▶ Quatro saídas digitais isolada;
- ▶ Quatro interfaces série RS-232.

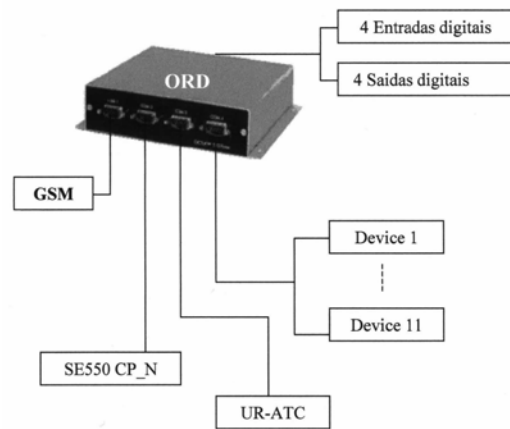


Figura 62 – Portas Série da Unidade de Recolha de Dados

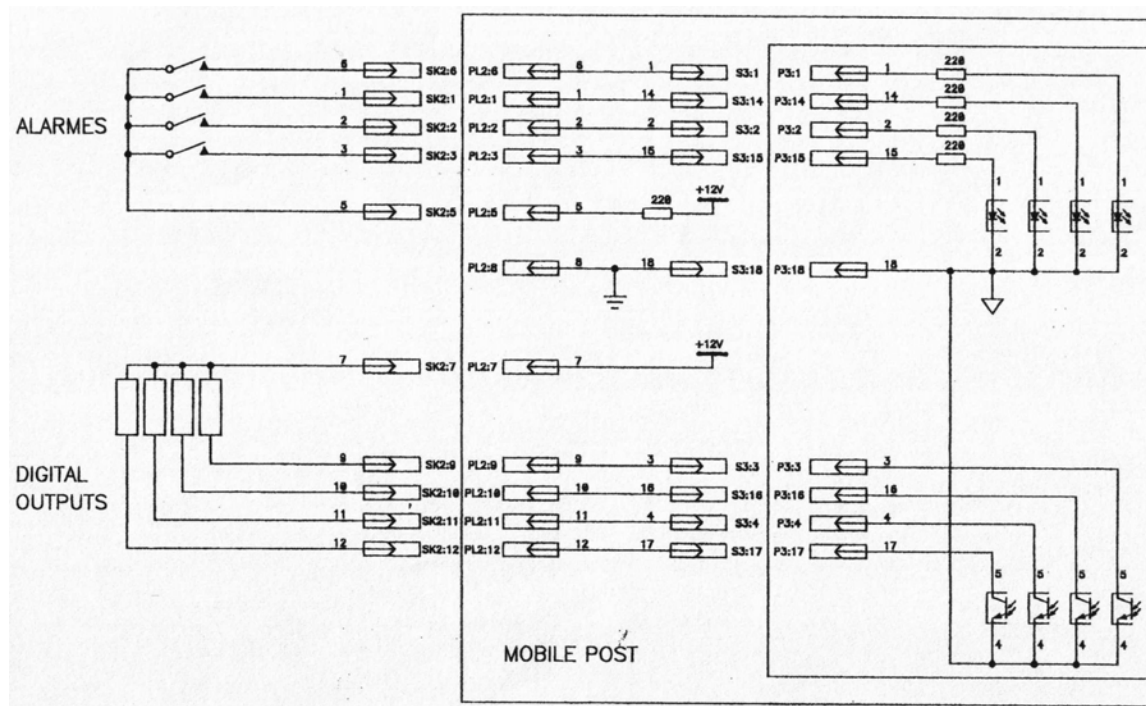


Figura 63 – Esquema eléctrico de entradas e saídas digitais

Dispõe de 3 portas série (2 RS-232 e 1 RS-485), 4 entradas digitais e 4 saídas digitais, conforme se visualiza na Figura 62 e Figura 63. As portas série tem a seguinte função:

- COM1 (RS-485): ligação às Futuras Aplicações (FA);
- COM2 (RS-232): ligação ao ATC (*Automatic Train Control*);
- COM3 (RS-232): ligação ao Transceptor.

As entradas e saídas digitais são ligadas de acordo com o esquema da Figura 63.

3.3.4.4 – Carta de Interface com o Sistema de Anúncio aos Passageiros

A carta de Interface com o Sistema de Anúncio aos Passageiros, faz a adaptação dos níveis áudio entre a recepção do emissor/receptor SE550 e o sistema de anúncio a passageiros tal como definido na norma UIC (*Union International de Chemin de fer*) n.º 568.

3.3.4.5 – Unidade de Comando BG550 CP-N

A Unidade de Comando BG550 CP-N consiste na modificação da Unidade de Comando *Standard* BG550 de modo a possibilitar a gestão quer das comunicações internas (Maquinista/Revisor), quer das comunicações externas, via rádio (Maquinista/Regulador, Revisor/Regulador), e em qualquer dos casos em modo *Half-Duplex*. O seu âmbito de aplicação encontra-se integrado no Sistema Rádio Solo – Comboio CP-N. Esta Unidade, encontra-se instalada junto ao Maquinista, que a operará de acordo com as solicitações manifestadas quer localmente, quer através da rede rádio em que se encontra inserido. Esta unidade de comando está interligada ao microtelefone, altifalante e sistema de interfonia.

A – Características Técnicas

- Alimentação 13.2 VDC (10.8 ... 15.6 V_{DC})
- Consumo (à tensão nominal) 350 mA (*stand-by*)

B – Descrição Geral de Funcionamento

É constituída por 6 placas, montadas em camada sob o Painel Frontal, e formando com este, um conjunto amovível, facilitando desta forma operações de manutenção, mesmo com a unidade em funcionamento. As placas em causa são:

- ▶ Placa de Teclas Superior;
- ▶ Placa de Teclas e *Leds*;
- ▶ Placa do *Display*;
- ▶ Placa do Conversor;
- ▶ Placa Interface Óptico;
- ▶ Placa Interface de Áudio.

Quatro cablagens independentes, realizam a interligação com as 4 fichas existentes no painel posterior (fundo da caixa) e que se destinam à interligação ao altifalante, microtelefone, alimentação e sistema de interfonia (em algumas variantes esta última ficha com destino ao Sistema de Interface não é montada). Uma interligação adicional, constituída por um par de fibras ópticas (FO), atravessando o painel posterior serve de interligação exclusiva com a unidade transceptora.

C – Placa Interface de Áudio

A placa de Interface de Áudio destina-se, principalmente, a promover os diversos encaminhamentos de áudio das várias origens possíveis (Figura 64).

- ▶ Mic/Microtelefone do Maquinista (Mic/HD);
- ▶ EAR/U.C. *Standard* (Ear/BG);
- ▶ AF Rádio (AF Rádio);
- ▶ Tx do Sistema de Interfonia (Par 3 e 4);
- ▶ Tom de Aviso (Tom).

Para os vários destinos possíveis

- ▶ Ear/Microtelefone do Maquinista (Ear/HD);
- ▶ Mic/U.C. *Standard* BG (Mic/BG);
- ▶ AMPL. POT. (Altifalante);
- ▶ Rx do Sistema de Interfonia (Par 3 e 4).

De acordo com as decisões tomadas por um pequeno circuito de controlo quando estimulado pelos comandos acessíveis ao Maquinista e ao Revisor.

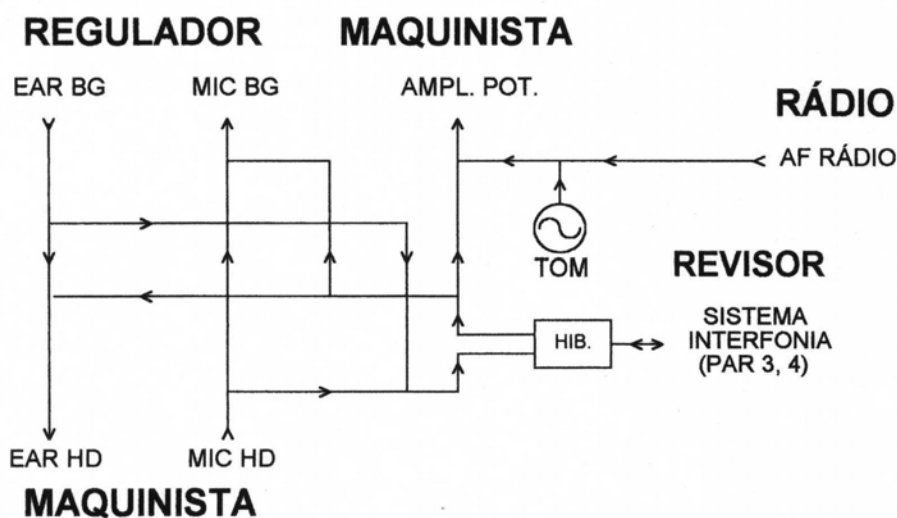


Figura 64 – Esquema do Interface Áudio

Tendo em conta os diferentes níveis de áudio, presentes nas origens (desde 1 mV até 600 mV) como também, os diferentes níveis de áudio necessários aos destinos (desde 1 mV até 775 mV), o processamento de áudio deverá amplificar e atenuar de acordo com a situação. Atendendo ao elevado ganho necessário em alguns casos (cerca de 58 dB), e ao ponto de funcionamento mais adequado para os comutadores analógicos, optou-se por, em todos os casos, dar uma pré-amplificação (ou pré-atenuação) aos sinais de entrada de modo a levá-los a 100mV, realizar as comutações e de seguida, dar a amplificação final (ou atenuação final).

No processamento de áudio encontra-se, também incluído:

- ▶ O gerador de tom de aviso baseado num oscilador em ponte de *Wien*, com frequência de oscilação aproximadamente de 450 Hz.
- ▶ O amplificador de potência, antecedido por um amplificador de ganho ajustável (através das teclas de volume).
- ▶ O circuito híbrido para realizar a conversão da transmissão a 2 fios do sistema de Interfonia, para 4 fios na Unidade de Comando.
- ▶ O detector de polaridade para identificação do PTT gerado pelo Revisor no sistema de interfonia.

O controlo digital, é na totalidade realizado com lógica combinatória. Um oscilador construído em torno de inversores, destinado a controlar o piscar dos sinalizadores e a intermitência do tom de aviso.

3.3.4.6 – Antena

Os Postos Móveis usam a antena K702121 da Kathrein da Figura 65. É uma antena omnidireccional com 3 dBi de ganho.

3.3.4.7 – Protocolo Móvel ↔ ORD

O móvel está ligado à ORD através de uma porta RS-232. O formato da transmissão é:

- ▶ 1200 *bit/s*;
- ▶ 8 *bits*;
- ▶ sem paridade;
- ▶ 1 *start bit*;
- ▶ 2 *stop bit*.

As mensagens são definidas como se segue:

STX STH STL CHK ETX

STX: Início de texto 02
STH: *Byte* mais significativo (MSB) da mensagem de *status* (ASCII)
STL: *Byte* menos significativo (LSB) da mensagem de *status*(ASCII).
CHK: *Checksum*
ETX: Fim de texto 03

Quando o móvel recebe a mensagem da ORD, responde:

ACK: quando a mensagem é correcta 06
NACK: quando existe qualquer erro 15

Quando ocorre um erro, a unidade que enviar, repete a mensagem duas vezes Se o erro persistir, a unidade que envia sinaliza aos utilizadores. No caso do móvel o *display* apresenta:

“FALHA EM TRANSM DADOS”

Repartição de *Status*

As mensagens de *status* permitidas entre regulador (via móvel) e a ORD são definidas como se segue:

- ▶ **ORD ↔ MÓVEL:** 01 a 16 para transmissão ao regulador;
- ▶ **MÓVEL ↔ ORD:** 01 a 16 emitidas pelo regulador;
- ▶ 20 a 29 mensagens de controlo enviadas pelo móvel à ORD.

Com as mensagens de controlo (20 a 29) o móvel informa a ORD dos diferentes estados ou eventos, relativos ao móvel. Por exemplo, quando a ORD envia a mensagem de *status* ao móvel,



Figura 65 – Antena do Posto Móvel

este transmite-a ao regulador. Se a transmissão tem sucesso, o móvel envia a mensagem de *status* 20 à ORD. Significado de mensagens:

MENSAGEM	SIGNIFICADO
20	Mensagem transmitida com sucesso
21	Mensagem sem sucesso
22	Última mensagem ainda não foi enviada
23	Não se encontra no modo CP-N
24 a 29	Vago

3.4 – Posto Móvel com *Up-Grade* GSM

3.4.1 – Introdução

A integração do GSM surge para tentar resolver a falta de comunicação entre os Postos de Comando Locais/Centros de Tráfego Centralizados com os Postos Móveis, nas linhas onde não existe cobertura de Rádio Solo Comboio. Assim, surgiu a ideia de integrar o GSM no Rádio Solo Comboio, utilizando uma das operadoras existentes da rede GSM (Figura 66).

Com esta integração, a transmissão de dados passa de 1200 *bits/s* para 9600 *bits/s*. Esta alteração é feita ao nível dos componentes do bastidor do Posto Móvel e na mudança para uma antena *dual mode*. Sendo assim, usa-se a mesma consola de fonia, e não é necessário efectuar novas furações, nem passar nova cablagem para o efeito. Em resumo, este desenvolvimento visou:

- Dar ao PM acesso à rede pública de GSM, possibilitando a comunicação directa, em fonia, entre o Permanente de Tracção e Maquinista.
- Aumentar a capacidade de transmissão de dados (SMS), passando a velocidade de transmissão de 1200 para 9600 *bits*.

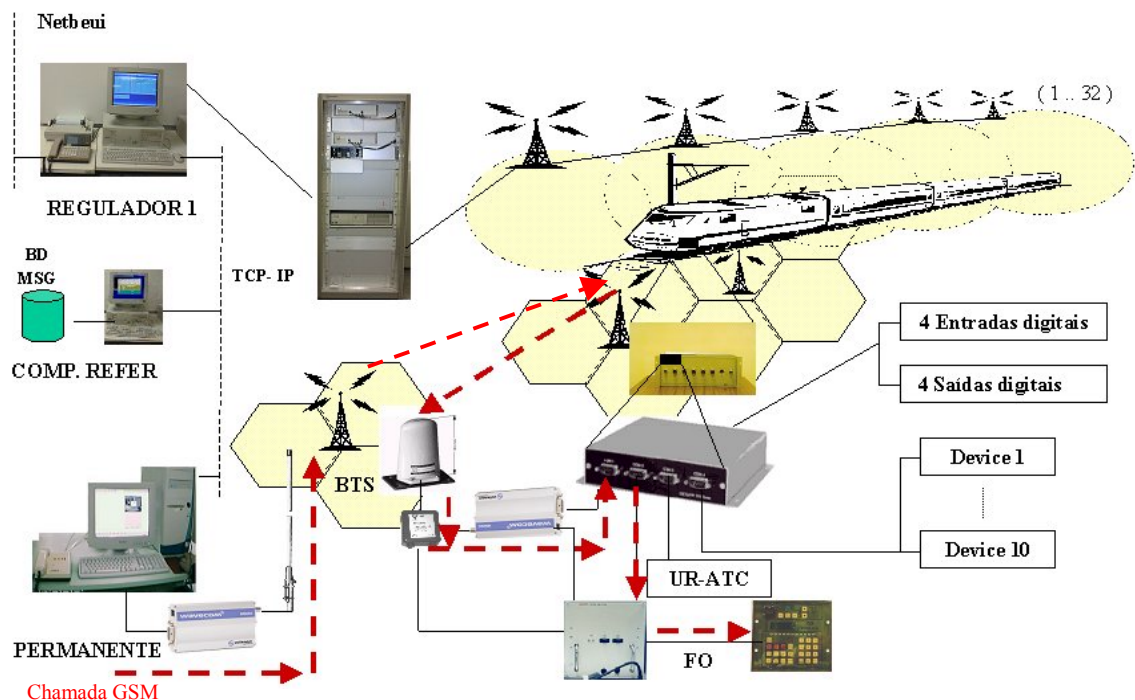


Figura 66 – Esquema do funcionamento da fonia via GSM

Como se pode observar pela Figura 66, o funcionamento da fonia via GSM é independente da rede física do Rádio Solo Comboio, mas se no decorrer de uma chamada GSM, o Regulador precisar comunicar com o maquinista, esta chamada GSM é posta em modo de espera, e só é retomada quando a ligação via Rádio Solo Comboio acabar, ou seja, o Rádio Solo Comboio prevalece sobre o GSM.

Esta capacidade adicional de transmissão de dados a 9600 bps, pode ser usada no *Depot Management*, que apresenta algumas vantagens relativamente à solução preconizada para o Rádio Solo Comboio, pois dispensa infra-estruturas e a velocidade de transmissão é oito vezes superior. Para se implantar estas novas facilidades é necessário reconfigurar o *hardware* e o algoritmo do Posto Móvel, que tinha o diagrama da Figura 67, passará a ter o da Figura 68.

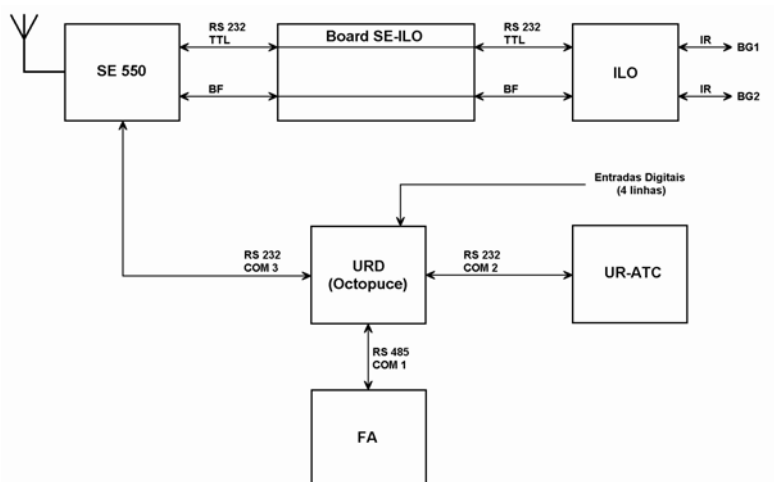


Figura 67 – Diagrama do Posto Móvel do Rádio Solo Comboio sem GSM

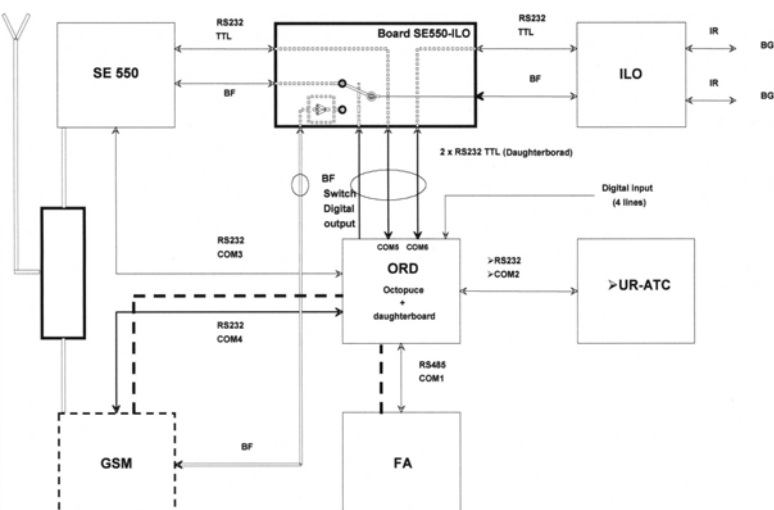


Figura 68 – Diagrama do Posto Móvel do Rádio Solo Comboio com GSM



Figura 69 – Posto Móvel com GSM



Figura 70 – Posto Móvel com GSM – Pormenor do Modem GSM

3.4.2 – Up-Grade GSM

O equipamento rádio SE550, o Interface de Ligação Óptica (ILO), a UR-ATC e o *hardware* da *Octopuce* não foram alterados. Só o bloco SE550-ILO é que teve de ser redesenhado. Com esta nova montagem a ORD necessitou de 6 portas série (Figura 71).

O SE550, o computador de Futuras Aplicações e a UR-ATC são os mesmos da montagem original. A COM4 irá ficar afectada ao módulo de GSM (Figura 72). Para resolver a falta de duas portas série na ORD, adicionou-se uma placa filha. A placa filha da interface da *Octopuce* dispõe das duas portas série suplementares. Estas portas serão ligadas no SE550 e no ILO.

Com o novo diagrama do PM da Figura 68, para se usar o GSM, o sistema da ORD deverá interceptar um comando da BG1 ou da BG2. Para uma transição entre o rádio SE550 e o ILO, o comando do ILO recebido pela ORD irá ser gerado na porta série SE550. Durante uma chamada telefónica, o áudio de Baixa Frequência (BF), irá comutar para o rádio. A ORD determina a actividade entre as mensagens do SE550 e do ILO, na porta série. Esta vigilância permite gerir correctamente um eventual conflito com várias chamadas futuras. Num caso crítico, a ORD estará apta para recusar próximas chamadas do GSM.

Para evitar a modificação do sistema UR-ATC, algumas mensagens de *status* podem ser enviadas pelo GSM. A ORD irá determinar o suporte de rádio para o *status* de transição (em função do número de *status*).

A placa SE550-ILO colocada entre o rádio SE550 e o interface ILO teve de ser redesenhada. A RS-232 vinda do SE550 e do interface ILO passou para a interface da *Octopuce*.

Um *switch* para o áudio de Baixa Frequência foi colocado nesta placa, permitindo a ligação do áudio de baixa frequência entre o interface ILO e o SE550 ou entre o interface ILO e o GSM. Na posição por defeito o áudio de baixa frequência é ligado entre o SE550 e o interface ILO (montagem original). A ORD irá determinar a temporização para o *switch* de baixa frequência.

O *modem* GSM é o GenSM-2 900 (Figura 73). Este módulo é ligado à *Octopuce* pela porta COM4.

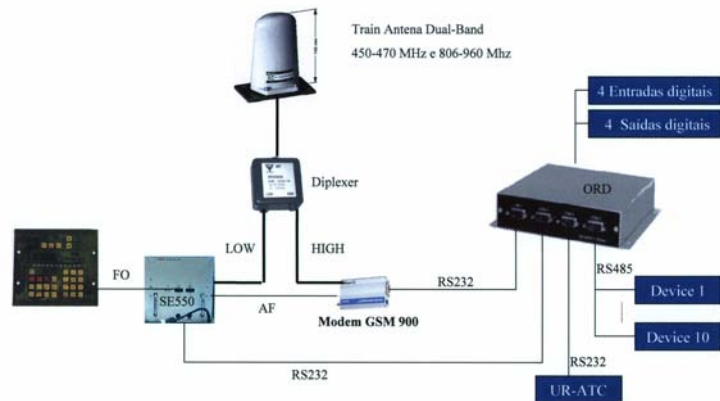


Figura 71 – Posto Móvel com GSM

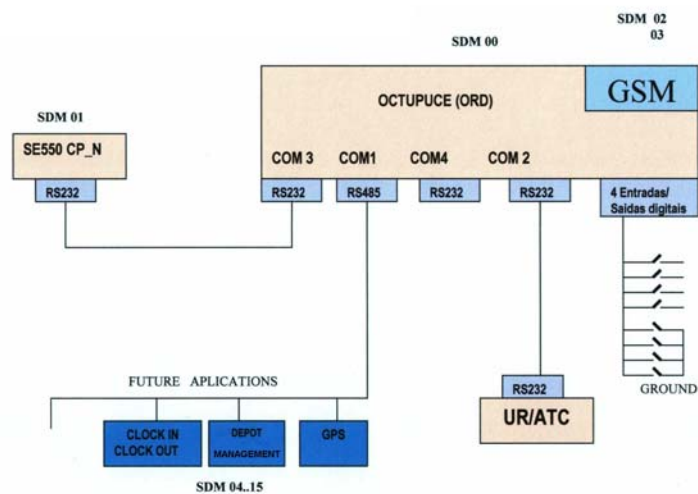


Figura 72 – Unidade de Recolha de Dados com GSM

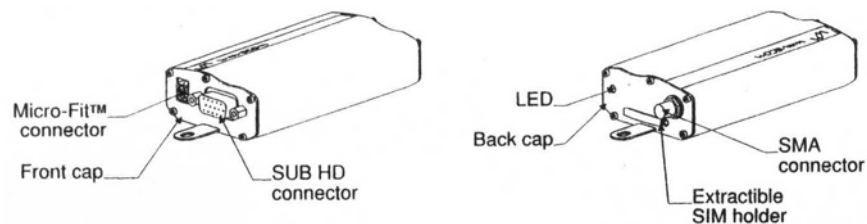


Figura 73 – Modem GSM

Em resumo, para estender a rede do Rádio Solo Comboio para o GSM, foi necessário desenvolver uma extensão do algoritmo da ORD, colocar uma placa filha na ORD, instalar um módulo de GSM e redesenhar a placa SE550-ILO.

3.4.2.1 – Alterações necessárias de hardware

As alterações efectuadas dispensaram alterações de cablagem exterior, utilizando o cabo e o suporte de antena já instalados e sem necessidade de novas furações. Para tal foi necessário:

- ▶ Incluir um módulo GenSM-2 da SAGEM (módulo GSM) no interior do sub-bastidor Tx/Rx.
- ▶ Substituir a ORD pela ORD alterada (acréscimo de duas portas RS-232).
- ▶ Substituir o conversor DC/DC por um conversor DC/DC da MELCHER de referência EP 3040-7R e com duas tensões de saída: 13,6 V_{DC}/8A e 3,6V_{DC}/1A.
- ▶ Incluir um combinador de antena KATHREIN 728954.
- ▶ Substituir a antena actual pela antena *dual mode* K702061 (do mesmo fornecedor).
- ▶ Substituição no SE550 da carta SE550-ILO.
- ▶ Alteração da cablagem interna do sub-bastidor Tx/Rx.

Nota 1: As ligações aos sistemas de Interfonia e de Anúncio a Passageiros continuaram tal como estavam.

Nota 2: As comunicações em fonia através da rede GSM são em *half-duplex* por imposição da BG550 e do microtelefone usado.

3.4.2.2 – Alterações necessárias de programação

Foi necessário especificar e desenvolver novos algoritmos para permitir o funcionamento do *up-grade* GSM, descrito anteriormente:

- ▶ Emissor/Receptor SE550;
- ▶ ORD;
- ▶ Algoritmos para o *dispatcher* do Permanente de Tracção.

3.4.2.3 – Novo Sistema de Radiação

A – Diplexer

O *diplexer* DIPX 500/800 (Figura 74), para combinar ou separar as duas bandas de 0 – 500 MHz e de 800 – 1300 MHz (Figura 75), da PROCOM torna possível o uso de uma só antena para a operação de dois *transceivers* (um em cada banda), conforme se apresenta na Figura 76.



Figura 74 – Diplexer Utilizado

A antena deverá ser uma de *dual-frequency*, isto é, deverá ser ressonante na frequência actual nas suas duas bandas de frequência. Os *transceivers* podem ser usados independentemente e não terão influência degradante um sobre o outro. Tipicamente, o *diplexer* é instalado perto dos *transceivers* e um só cabo é usado entre o *diplexer* e a antena. O *diplexer* é usado convenientemente quer para estações base quer para móveis.

As principais tarefas do *diplexer* são de proteger a entrada do receptor individual de ser interferida pelo *transceiver* na banda contrária e de assegurar um caminho de baixas perdas entre o *transceiver* e a antena, que não está carregado pela outra secção.

O *diplexer* pode trabalhar com qualquer tipo de *transceiver* operando dentro das bandas de frequências dos 0 – 500 MHz e dos 800 – 1300 MHz. As antenas de *dual-frequency* estão disponíveis para ambas as aplicações em estações base ou móveis.

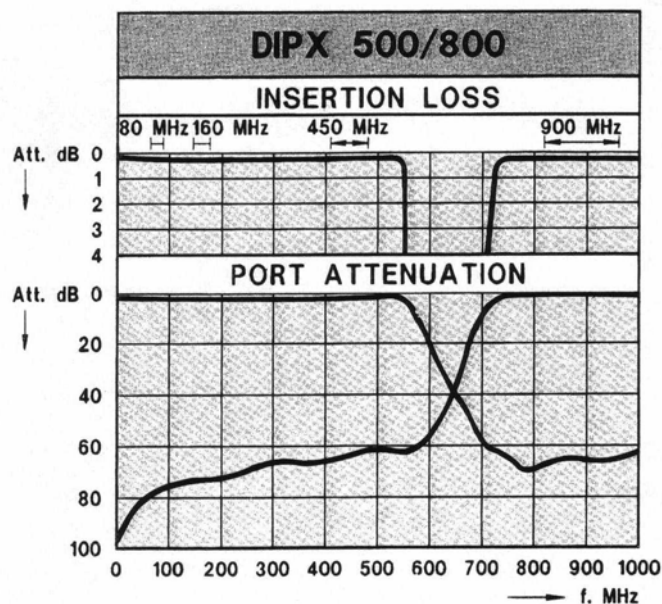


Figura 75 – Diagrama de Radiação do *Diplexer*

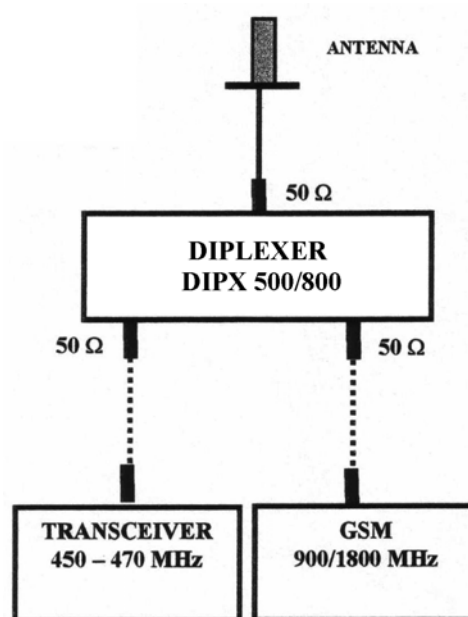


Figura 76 – Diagrama de Ligações do *Diplexer*

B – Características Gerais:

- ▶ Frequência: 0 ↔ 500 MHz e dos 800 ↔ 1300 MHz
- ▶ Máxima Potência Entrada: 35 Watt por cada entrada
- ▶ Perdas de Inserção:
 - 0 ↔ 500 MHz: ≤ 0,5 dB
 - 800 ↔ 1300 MHz: ≤ 0,5 dB
- ▶ Isolamento: Entrada de Baixa para Alta frequência ≥ 45 dB
- ▶ Impedância: 50 Ω em todos os terminais

3.4.2.4 – Modem GSM

A – Introdução

O *modem* GSM da WAVECOM WMO2 (Figura 77) é um terminal para fax e transmissão de dados, serviços de mensagens curtas originados em móveis, serviços de mensagens curtas terminados em móveis e chamadas de voz.



Figura 77 – Modem GSM

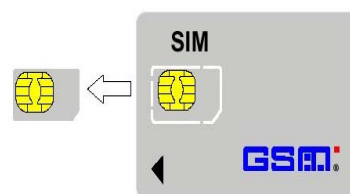


Figura 78 – Cartão SIM

Os conectores ligados à estrutura garantem as ligações de saída e de entrada. Uma protecção removível é usado para inserir o cartão SIM (tipo Micro-SIM) da Figura 78. Um Led indica o modo de funcionamento.

Funções em modo GSM

Padrão	- 900 MHz Classe 4 (2 Watt) - 1800/1900 MHz Classe 1 (1 Watt)
Interface	- Interface Série RS-232
SMS	- MO e MT - Modo de Texto e PDU ponto-a-ponto - Broadcast de Células
Dados	- Assíncronos 2400, 4800, 9600 bps - Modo Transparente e Não Transparente - No modo Transparente só 300, 1200, 1200/75 bps
Fax	- 2400, 4800, 7200 e 9600 bps
Áudio	- FR + EFR

Tabela 7 – Funções em modo GSM

B – Características eléctricas

O elemento está permanentemente ligado (quando ligado à fonte de alimentação). A gama da tensão de alimentação é de 5 a 32 V_{DC} e com uma terra de 0 V.

C – Descrição das interfaces

O *modem* compreende diversas interfaces, entre as quais as seguintes:

- ▶ Funcionamento do *led* indicando o estado de operação.
- ▶ Antena externa.
- ▶ Ligações série e de controlo.
- ▶ Alimentação.
- ▶ Protecção do cartão SIM.

D – Funcionamento do Led

<i>Estado do Led</i>	<i>Modo</i>	
OFF	Elemento desligado	Não preparado
ON	Elemento ligado	Ligado à rede
PISCANDO LENTAMENTE	Elemento ligado	Modo de espera
PISCANDO RAPIDAMENTE	Elemento ligado	Modo de transmissão

Tabela 8 – Modo de funcionamento do Led

Um cartão SIM é necessário para operar na rede de GSM. No caso de duas cabines independentes serão necessários 2 cartões SIM (Figura 79).

3.4.2.5 – Antena

Utilizou-se uma antena única, tipo *dual band* com as mesmas furações na base da antena actualmente usada e que utiliza portanto quer o



Figura 79 – UQE com duas cabines de condução

cabo quer o suporte já instalados (Figura 80). A utilização de uma única antena obrigou ao recurso de um combinador de antenas (*diplexer*), já visto, que se instalou no interior do sub bastidor Tx/Rx.

Características Técnicas

- Bandas de frequência 414 ... 428 MHz e dos 870 ... 960 MHz
- VSWR < 1.5
- Ganho 0 dB
- Polarização Vertical
- Potência Máxima 500 Watt a 50° C



Figura 80 – Antena Dual Band

3.4.3 – Modo de Utilização

3.4.3.1 – Chamada de Fonia

O MMI (*Man Machine Interface*) do PC do Permanente (consola) permite iniciar uma chamada de voz para um comboio, usando a rede GSM ou PSTN (*Public Switched Telephone Network*) (Figura 81 e Figura 82). O MMI sinalizará também as chamadas recebidas. Além de outras a serem especificadas, serão implementadas no MMI as seguintes funcionalidades:

- ▶ Sinalização de recepção de chamada.
- ▶ Visualizar o número de assinante do originador da chamada.
- ▶ Estabelecer chamadas.
- ▶ Gestão do *short dialling*.
- ▶ Funcionalidades do sistema específicas.

Deve ser referido que:

- A recepção de um ALARME interrompe a chamada GSM.
- No caso de estar a decorrer um chamada GSM e surgir uma chamada do Regulador, a chamada GSM fica em *stand-by* por um período parametrizável, findo o qual a chamada é terminada.

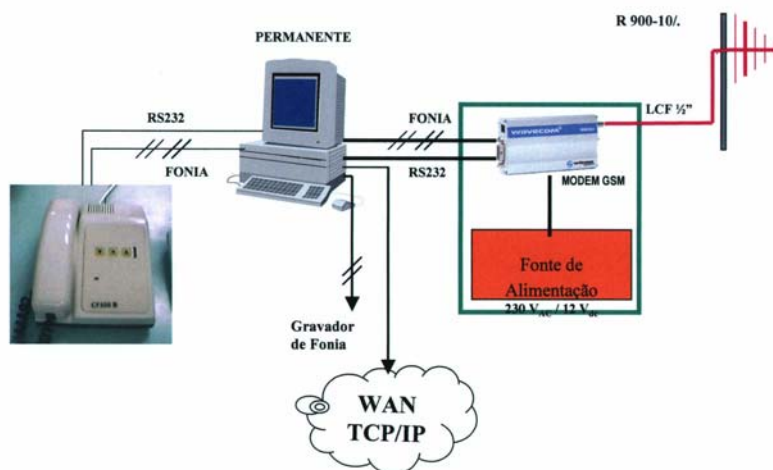


Figura 81 – Diagrama do Permanente do Rádio Solo Comboio com GSM

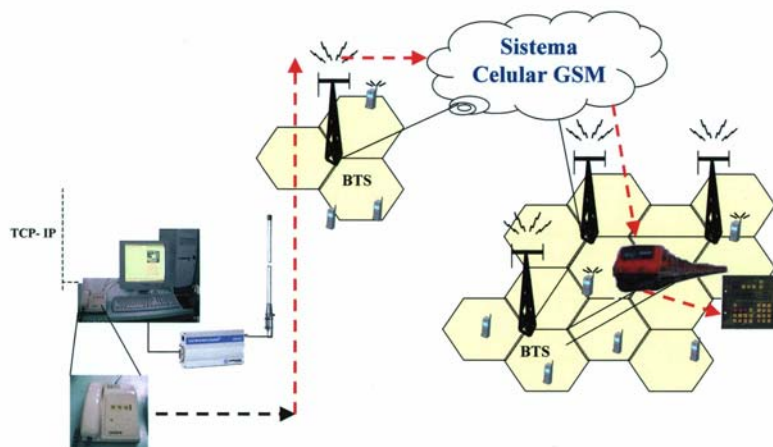


Figura 82 – Estabelecimento de uma chamada de fonia, via GSM

- Se a conversação Regulador-Maquinista, terminar durante o período de *stand-by*, a chamada GSM será retomada.
- Quando o PM está envolvido numa chamada GSM e chega uma chamada do PR, em vez da chamada ficar em espera, é possível terminar a chamada GSM 5 segundos após. Com esta medida evita-se que o PM esteja a ser taxado pelo facto de estar em espera.
- Quando o PM está envolvido numa chamada RSC com o PR e chega uma chamada GSM, o *modem* GSM do PM deve responder com o sinal de ocupado.
- É possível o envio e recepção de *STATUS* e SDM através do sistema RSC, durante o decorrer da chamada GSM

3.4.3.2 – Transmissão de Dados

Há três possibilidades de transmissão de dados entre o Permanente de tracção e um dos dez utilizadores do *bus* aberto RS-485 do Posto Móvel.

- SDM via RSC.
- SDM via GSM.
- Transmissão de dados via GSM em formato livre e modo transparente a 9600 *bits/s*.

A – Envio de *Short Data Message*

O SDM é um *transportador* de mensagens em formato livre, entre os equipamentos embarcados e o Posto Regulador

B – Envio de SDM do PC do Permanente para as FA

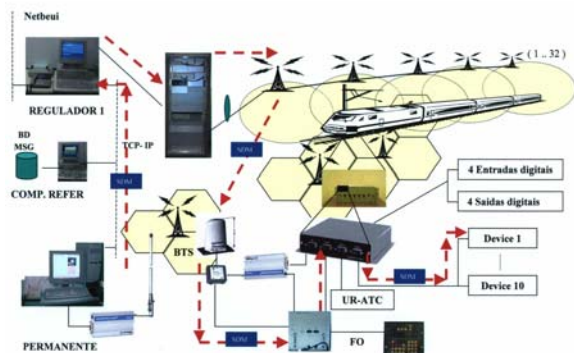


Figura 83 – Envio de SDM via Rádio Solo Comboio

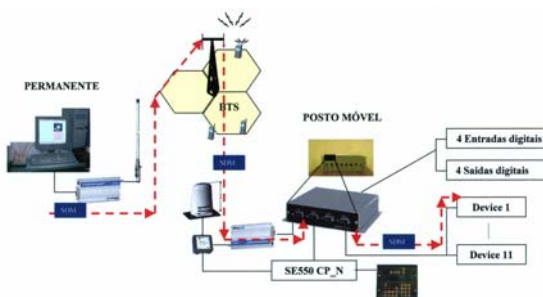


Figura 84 – Envio de SDM via GSM

As SDM podem ser transmitidas por dois processos:

- ▶ Através do Rádio Solo Comboio (Figura 83).
- ▶ Através da rede GSM (Figura 84).

Sabendo que uma SDM pode conter até 96 caracteres de Informação e que o primeiro e o segundo caracter representam o endereço do destino, temos:

SDM 00:	ORD
SDM 01:	SE 550 (usada para alterar grupo de frequências)
SDM 02 – 04:	GSM <i>Login</i>
SDM 05 – 15:	Reservado para FA

Exemplo: Mudança Automática de Frequência, para GRUPO 62, via RSC:

STX SN MN UNIT TRAIN LOCO BASE LEN NPH DATA	CHK ETX
02 01 51 01 44565 5621 02 02 50 01 62	169 03

Do lado do MMI, o Permanente deverá entrar com o conteúdo da SDM, de acordo com o protocolo já existente. O Permanente deverá especificar também qual o meio de transmissão a usar: GSM ou Rádio Solo Comboio. Neste caso, o protocolo deverá ser definido e poderá ter como ponto de partida o protocolo usado pela ORD *standard*. O Permanente tem de informar o número de assinante GSM de dados do destinatário. A SDM seguirá o seguinte trajecto (Figura 85):

- Computador do Permanente.
- Modem GSM ou telefónico.
- Rede GSM.
- Destinatário GSM.
- ORD.
- Um das FA cujo endereço é identificado nos dois primeiros caracteres da SDM.

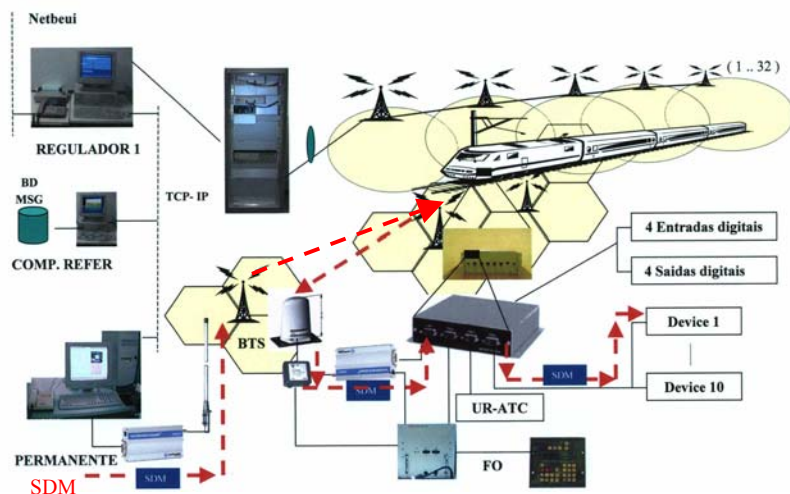


Figura 85 – Envio de SDM para FA

C – Envio de SDM das FA para o PC do Permanente

As SDM podem ser transmitidas por dois modos distintos:

- Através do RSC.
- Usando a rede GSM.

O protocolo existente entre FA e ORD foi ampliado no sentido da FA poder especificar qual o meio de transmissão a ser usado no envio da SDM ao PC do Permanente. Para tal as mensagens da FA para a ORD têm um campo denominado *TYP*:

- *TYP* = 00: SDM enviada através do RSC
- *TYP* = 01: SDM enviada através da rede GSM
- *TYP* = 02: ligação de dados através da rede GSM
- *TYP* = 06: *ACK*
- *TYP* = 15: *NACK*

Exemplo: Dados GPS, *Device* 10:

STX SEQ DST ORG TYP LEN	DATA	CHK ETX
03 01 00 10 01 42	X:56460 Y:4202780 N:37°58'14" W:8°28'15"	230 03

3.4.3.3 – Transmissão de Dados (Ficheiros) via GSM

A transmissão de dados em formato livre e modo transparente permite estabelecer uma ligação lógica entre o PC do Permanente e um utilizador do *bus* RS-485, através da rede GSM (Figura 86). Para esta nova facilidade, foi desenvolvido um protocolo para:

- Estabelecer a ligação de dados.
- Terminar a ligação de dados.

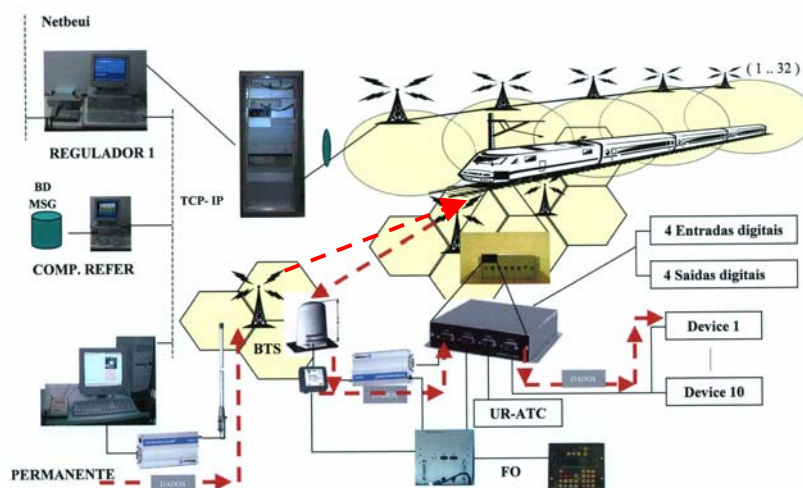
A ligação de dados pode ser iniciada por ambas as partes: o PC do Permanente ou por um utente das FA. Eis um exemplo:

- O permanente inicia uma chamada de dados.
- O PC do Permanente envia uma mensagem para informar:
 - ▶▶ A ORD que deve ir para o modo transparente.
 - ▶▶ O utente FA endereçado é informado que os dados que se seguem lhe são destinados.
 - ▶▶ Outras FA devem ignorar esses dados por não lhe dizerem respeito.
- A ORD vai para o modo transparente.

Agora, O PC do Permanente e o FA endereçado estabelecem a ligação lógica e podem dialogar usando protocolos específicos.

- A ORD monitoriza o fluxo de dados entre o *modem* GSM e o FA.

Se não circular dados durante um período de 10 segundos, a ORD termina a ligação. A ligação de dados pode também ser iniciada por uma FA. Uma vez que a ligação de dados esteja estabelecida, podemos considerar que o PC do Permanente e a FA estão logicamente ligados. Podem ser usados protocolos de transferência de ficheiros *Z-modem*, *X-modem*, *Kermit*, etc..



Ficheiro Dados Figura 86 – Transmissão de Dados via GSM

CAPÍTULO 4

EVOLUÇÃO DO RÁDIO SOLO COMBOIO

4.1 – Introdução

Até este instante, foi preocupação primordial deste estudo fazer uma descrição geral dos sistemas de localização utilizados e do sistema de comunicações Rádio Solo Comboio, ou seja, foi descrito o “estado da arte”. Neste capítulo, serão enumeradas e descritas todas as etapas e alterações realizadas que permitiram a concretização prática do objectivo principal desta dissertação, ou seja, a integração do sistema de localização GPS no sistema de comunicações Rádio Solo Comboio. No final, é dado um particular destaque à localização de comboios em túneis ferroviários, através da utilização de métodos alternativos para ultrapassar a ausência do sinal GPS, neste ambiente adverso.

4.2 – Rádio Solo Comboio com integração de GPS (Posto Móvel)

A localização exacta de um comboio é de uma importância crítica de segurança como parte de um sistema seguro de sinalização. Outra área importante da aplicação, é a monitorização e a gestão da manutenção preventiva da via e da infra-estrutura. Detecção de carril partido, avaliação da geometria da via e medições da estrutura, necessitam de uma detecção da posição exacta e rápida. A motivação para estes desenvolvimentos vem do facto da necessidade de experimentar tecnologia apropriada, para reduzir o intervalo entre comboios e aumentar a fluidez do tráfego em sistemas de sinalização e controlo, ou para realizar uma gestão da manutenção preventiva mais efectiva na via e na infra-estrutura, através de aplicações de monitorização.

Novos desenvolvimentos na tecnologia de navegação, como os baseados em satélites, GPS e em particular o DGPS, integrados com os sistemas de rádio, para transmitir sinais corrigidos, têm providenciado sistemas terrestres com uma boa precisão a um custo razoável, onde os sinais de rádio e satélite são acessíveis. Tendo em vista mais um desenvolvimento do Rádio Solo Comboio e pensando nas necessidades de localização dos operadores ferroviários anteriormente descritas, principalmente em linhas ferroviárias onde ainda não existem os métodos de localização

anteriormente descritos (Circuitos de Via ITE, UM71 e Contadores de Eixos), foi realizado e testado com sucesso a integração do sistema GPS no sistema Rádio Solo Comboio.

4.2.1 – Receptores GPS

Os sinais dos satélites não penetram em locais de vegetação densa, vales estreitos, cavernas ou na água. Montanhas altas ou edifícios próximos também afectam sua precisão. Para o uso autónomo, deve-se providenciar uma extensão para fixar uma antena externamente. Além de receber e decodificar os sinais dos satélites, os receptores são verdadeiros computadores que permitem várias opções de: referências; sistemas de medidas; sistemas de coordenadas; armazenamento de dados; troca de dados com outro receptor ou com um computador, etc. Alguns modelos têm mapas muitos detalhados nas suas memórias.

O princípio básico de funcionamento da transmissão dos sinais GPS é o *Spread-Spectrum* (Espalhamento do Espectro), que consiste em espalhar o espectro do sinal transmitido e “recompactar” o espectro no receptor, aumentando com isso a relação sinal/ruído na recepção e a imunidade a interferências. A Figura 87 apresenta uma estrutura básica de um receptor GPS. A antena deve ter características omni-direccionais para poder captar qualquer satélite em qualquer região no horizonte e ser isotrópica para ter igual ganho em todas as direcções. Antenas helicoidais (cónicas ou cilíndricas) e antenas do tipo *micro-strip* são também utilizadas. A primeira etapa de RF consiste num pré-amplificador com um baixo factor de ruído e filtros para eliminar sinais com frequências próximas dos sinais L1 e L2. Após esta etapa os sinais L1 e L2 são convertidos para frequências intermédias mais baixas. Os ciclos de código e da portadora recuperam os sinais digitais codificados e os efeitos *Doppler* na portadora, respectivamente. O ciclo de código utiliza técnicas de correlação para sincronizar os sinais codificados (C/A ou P). Os dados digitais (da mensagem GPS) são recuperados após um ciclo de código.

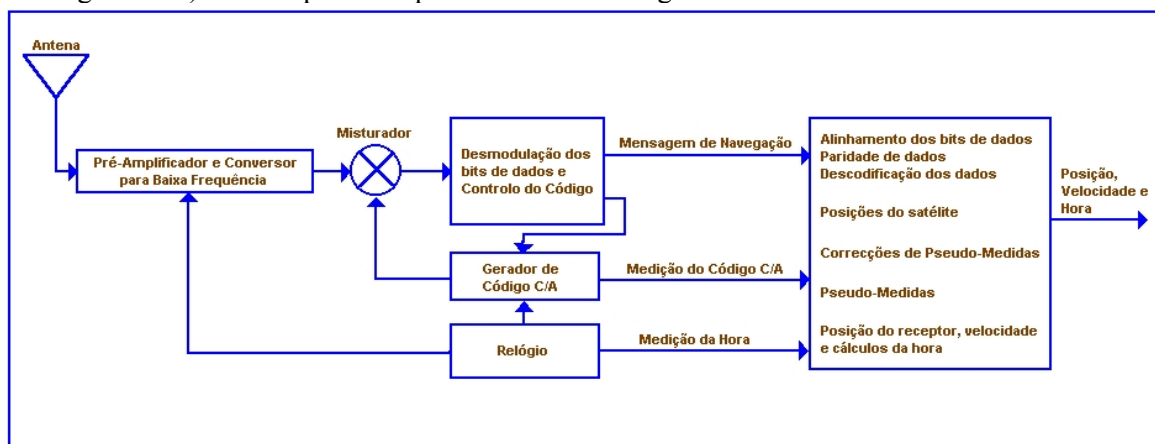


Figura 87 – Diagrama de Blocos simplificado de um receptor GPS

Os dados necessários para navegação são as pseudo-medidas relativas a quatro satélites e as posições absolutas dos mesmos (fornecidas na mensagem GPS digital). As informações *Doppler* são utilizadas como “informação adicional” para melhorar a precisão da posição do utilizador. As pseudo-medidas são fornecidos na saída de um ciclo de código. As posições dos satélites são calculadas a partir dos dados contidos numa mensagem GPS digital. Os efeitos *Doppler* são obtidos na saída de um ciclo da portadora. Os receptores são classificados segundo:

- aplicação civil (código C/A) ou militar (código P);
- somente com um sinal L1 ou com sinais L1 e L2;
- aquisição série, paralela ou multiplexada de sinais dos satélites;
- número de canais;
- uso em velocidades altas, médias e baixas.

A recepção das frequências L1 e L2 permite corrigir os erros devido à propagação atmosférica. O modo de aquisição consiste na forma como os sinais dos satélites são captados pelo receptor:

- a) **série** – a mensagem de um satélite só é captada após o final da recepção da mensagem do satélite anterior, normalmente num único canal receptor;
- b) **paralela** – as mensagens de vários satélites são captadas simultaneamente, em vários canais receptores;
- c) **multiplexada** – as mensagens de vários satélites são captadas num processo de multiplexagem através de um único canal receptor.

Os receptores série e multiplexados utilizam um ou dois canais (um para recepção de mensagens e outro para localização e controlo). Os receptores paralelos utilizam de 4 a 8 canais. Cada receptor apresenta a sua vantagem particular em função do custo, da precisão e da simplicidade. A tendência actual no fabrico de receptores utiliza *hardware* com antenas tipo *micro-strip* integrados com pré-amplificadores de RF, processadores de sinais digitais e programas com algoritmos de processamento de sinais, cálculo e controlo/monitorização. As classificações de receptores em função da dinâmica, referem-se ao movimento dinâmico (de translação e de rotação) a que as antenas ficam sujeitas durante a aquisição dos sinais. Manobras com elevadas acelerações, velocidades e movimentos angulares (por exemplo, aviões caças em manobras) são exemplos de veículos com alta dinâmica. Veículos com média dinâmica são, por exemplo, automóveis, submarinos, aviões etc. Veículos com baixa dinâmica são, por exemplo, navios, aviões cargueiros e de passageiros.

4.2.1.1 – Critérios de Selecção

A obtenção do equipamento correcto para seu uso específico, requer uma análise cuidadosa nomeadamente, que tipo de informação vai precisar e do aspecto económico. Eis algumas questões que se podem considerar antes de tomar uma decisão:

- ▶ Necessita-se de uma posição fixa ocasional, ou de um encaminhamento exacto?
- ▶ Necessita-se de medir exactamente a velocidade?
- ▶ A economia é mais importante do que a precisão?
- ▶ O consumo de potência é um factor importante?
- ▶ Terá o receptor que operar em altas condições dinâmicas, sujeito a acelerações e altas velocidades?

Com tantos receptores no mercado é útil delinear os tipos principais de receptores disponíveis, suas filosofias de projecto, e algumas vantagens e desvantagens. Um receptor localiza um satélite pela recepção de seu sinal. Sinais de apenas quatro satélites são necessários para obtenção de uma posição fixa tridimensional, mas é desejável que um receptor localize mais do que quatro satélites, simultaneamente. Quando o utilizador se desloca, o sinal de um satélite pode ser bloqueado repentinamente por algum obstáculo, restando um número de satélites suficientes para orientação. A maioria dos receptores localiza 8 a 12 satélites simultaneamente. Um receptor não é melhor do que outro, por localizar mais satélites. A localização de satélites significa conhecer suas posições. Não significa que o sinal daquele satélite está sendo usado no cálculo da posição.

A – Principais características de um receptor

Podemos referir, resumidamente, que as principais características de um receptor são:

- ▶ Permitem armazenar pontos numa memória, através de coordenadas lidas numa carta.
- ▶ Os pontos armazenados numa memória podem ser combinados originando rotas que, quando activadas, permitem que o receptor analise os dados e fique informado de, por exemplo, tempo, horário provável de chegada, distância até o próximo ponto, distância até o destino, horário de nascer e do pôr do sol, rumo que deve manter para chegar ao próximo ponto da rota, etc..
- ▶ Gravar numa memória o deslocamento, permitindo traçar o caminho de volta ao ponto de partida.
- ▶ Os receptores instalados nos carros dos países onde existem mapas digitalizados – computadores de bordo – trazem na sua memória mapas detalhados de cidades e endereços úteis como restaurantes, lojas, hotéis, etc..

B – Receptores de Sequenciamento

Todos os receptores GPS necessitam receber informação de quatro satélites, no mínimo, para calcular uma posição exacta. Receptores de sequenciamento utilizam um canal único e mudam este canal de um satélite para o próximo para receber dados. Eles normalmente tem menos circuitos e por isso são mais baratos e consomem menos potência. Infelizmente, o sequenciamento pode interromper o posicionamento e limitar sua precisão geral. Dentro deste grupo estão os receptores “potência limitada” com um canal, receptores de um canal, receptores de dois canais e os mais antigos receptores de multiplexagem rápida de um canal.

B1 – Receptores “potência limitada” de um canal

Os receptores de “potência limitada” de um canal estão voltados para portabilidade e são normalmente projectados para uso com pequenas baterias. Para limitar o consumo de potência fazem somente uma leitura da posição uma ou duas vezes por minuto e desligam-se automaticamente nesse intervalo. A sua principal desvantagem é a fraca precisão, interface limitado e sua incapacidade de medir velocidade, uma vez que o sistema se desliga entre medições não podendo manter a continuidade necessária para calcular a velocidade com precisão.

B2 – Receptores de canal único

Tais como os receptores anteriores, os receptores de canal único, utilizam um canal único para fazer toda a monitorização dos satélites. Os receptores normalizados de canal único não estão limitados pela potência e podem ficar ligados continuamente. Isto significa que eles podem ser um pouco mais precisos e podem medir velocidade se não houver significativas acelerações ou mudanças de direcção. Uma vez que, somente um único canal precisa ser utilizado para receber a mensagem de dados de um satélite, como também para realizar cálculos de intervalos, eles não podem ser utilizados para posicionamento contínuo. Além disso, por razões técnicas, a instabilidade dos relógios dos receptores afecta directamente a precisão das medições de velocidade. Alguns receptores utilizam relógios baratos num esforço de manter os custos baixos, e o resultado são medidas de velocidade imprecisas.

B3 – Receptores de multiplexagem rápida de um canal

Os receptores de multiplexagem rápida de um canal são bastante similares aos receptores de sequenciamento de canal único acima mencionados, mas “movem-se” de satélite para satélite muito mais rapidamente. A vantagem é que se pode fazer medições de intervalos enquanto se monitoriza a mensagem de dados de um satélite. Deste modo, pode funcionar continuamente e é menos sensível às inexactidões dos relógios.

C – Receptores de Sequenciamento de dois canais

Adicionando-se um segundo canal a um receptor GPS aumenta-se sua capacidade significativamente. Isto significa, que ele pode captar sinais sob condições mais adversas, e pode localizar satélites mais perto do horizonte. Já que um canal pode monitorizar continuamente dados de posição, enquanto que, outro está ocupado com a monitorização do próximo satélite, um receptor de dois canais nunca precisa interromper as suas funções de navegação. As medições de velocidade podem ser muito mais precisas. Na realidade, um bom receptor de dois canais pode utilizar uma estratégia de cálculo que irá evitar quaisquer imprecisões que o relógio do receptor possa adicionar aos cálculos de velocidade. A desvantagem de um receptor de dois canais é que ele normalmente custa muito mais e utiliza mais potência.

D – Receptores Contínuos

Receptores que podem monitorizar quatro ou mais satélites simultaneamente podem dar posições e velocidades instantâneas. Isto pode ser muito valorizado em aplicações de alta dinâmica ou com muita precisão, como o levantamento topográfico e/ou com propósitos científicos. Existem em configurações de 4, 6, 8 e mesmo 10 e 12 canais. Além da vantagem óbvia de medir continuamente uma posição, estes receptores de multicanais podem também eliminar o problema de GDOP (*Geometric Dilution Of Precision*). Em vez de se basear em cálculos de quatro satélites, alguns dos sistemas monitorizam todos os satélites visíveis, para fornecer um mínimo absoluto de GDOP. Naturalmente, a desvantagem destes tipos de sistemas são seu tamanho, custo e consumo de potência.

4.2.2 – Estudo de dois receptores GPS

Tendo em vista a integração do sistema GPS no sistema Rádio Solo Comboio foram estudados dois receptores GPS, sendo um da GARMIN e outro da MOTOROLA, para posterior utilização aquando da integração do sistema GPS.

4.2.2.1 – Receptor GPS GARMIN da Série 25LP

O receptor GPS GARMIN da Série 25LP (Figura 88) tem um sensor próprio, projectado para um amplo espectro de aplicações dos sistemas da OEM (*Original Equipment Manufacturer*). Este receptor poderá monitorizar simultaneamente 12 satélites, fornecendo um rápido TTFF (*Time To First Fix*) e um segundo para uma actualização dos dados de navegação, assim como, um baixo consumo de energia. A sua capacidade de grande alcance encontra-se nas exigências de sensibilidade para navegação terrestre e também nas exigências dinâmicas de um elevado desempenho na aviação.



Figura 88 – Receptor GARMIN

O projecto deste receptor utiliza a tecnologia para montagem em placas, assim como, integração de circuitos para conseguir um melhor desempenho, enquanto se minimiza espaço e potência. As capacidades do *hardware* combinado com a inteligência do programa torna este receptor fácil de integrar e de usar. O receptor foi projectado para resistir a condições de funcionamento difíceis, mas deverá ser montado num local fechado, fazendo parte de um sistema mais vasto. O sistema poderá comunicar através da escolha de níveis CMOS/TTL ou RS-232, compatíveis com os canais de comunicação bidireccionais respectivos. A elevada precisão da saída de um PPS (*Pulse Per Second*) poderá ser utilizada em aplicações que necessitem de uma medida horária de elevada precisão. Uma memória própria recarregável através de uma bateria permite ao

receptor memorizar dados fundamentais, como os parâmetros das órbitas dos satélites, última posição, data e hora. Uma não volátil é também usada para memorizar os dados da configuração do receptor mesmo que a bateria falhe.

A – Características

Este receptor proporciona uma série de características que lhe permitem uma fácil integração e uso, tais como:

1. Precisão para uma navegação completa, providenciada pelo SPS.
2. Projecto compacto, ideal para aplicações em espaço reduzido.
3. Receptor de elevado desempenho, monitorizando até 12 satélites, enquanto disponibiliza um rápido TTFF e um baixo consumo.
4. Capacidades diferenciais que utilizam correcção em tempo real (RTCM – *Radio Technical Commission for Maritime Services*), levando a erros menores do que 5 metros de precisão.
5. O relógio e a memória do receptor são garantidos por uma bateria interna que se recarrega durante o normal funcionamento ou por uma fonte de energia externa, opcional.
6. A inicialização do utilizador não é necessária.
7. Dois canais de comunicação e selecção das velocidades de transmissão permitem uma interface com uma elevada capacidade e flexibilidade.
8. Elevada precisão de saída de um PPS para medidas temporais precisas. O tamanho do impulso, por defeito, é de 100 milisegundos, porém é configurável em incrementos de 20 em 20 milisegundos, até 980 milisegundos.
9. Dados de saída num formato digital.
10. Níveis de tensão de entrada flexíveis entre 3,6 V_{DC} e 6 V_{DC} com protecção para sobretensões.
11. Construção totalmente protegida para as protecções do EMI e RFI.

B – Desempenho

- ▶ Monitoriza até 12 satélites (só até 11 com o PPS activo).
- ▶ Ciclo de actualização: 1 segundo.
- ▶ Precisão da posição:

DGPS: inferior a 5 metros.

GPS: 15 metros (100 metros com SA activa).

- ▶ Precisão da velocidade de 0,2 m/s.
- ▶ Precisão da hora de ± 1 microsegundo.

C – Interfaces

1. Dois canais de nível CMOS/TTL ou compatíveis com níveis RS-232, com selecção da velocidade de transmissão pelo utilizador.
2. Interface NMEA 0183 (*National Marine Electronics Association*):

Entradas:

- ▶ Posição inicial, data e hora.

- ▶ Dados terrestres e comandos de configuração em modo diferencial, PPS activo e calendário.

Saídas:

- ▶ Posição, velocidade e hora.
 - ▶ Estado do receptor e dos satélites.
 - ▶ Identificação da estação de referência diferencial e dados RTCM
 - ▶ Geometria e erros estimados.
3. Entradas de correcção diferencial em tempo real.
 4. Saída horária num PPS.
 5. Formato opcional dos dados de saída em TTL binário.
 6. Dados em formato binário.

D – Diagramas de Blocos e Método de Aplicação

O diagrama de blocos deste receptor é o que se encontra representado na Figura 89. Na Figura 90 apresenta-se uma forma de integrar este receptor GPS, com um sistema de processamento externo.

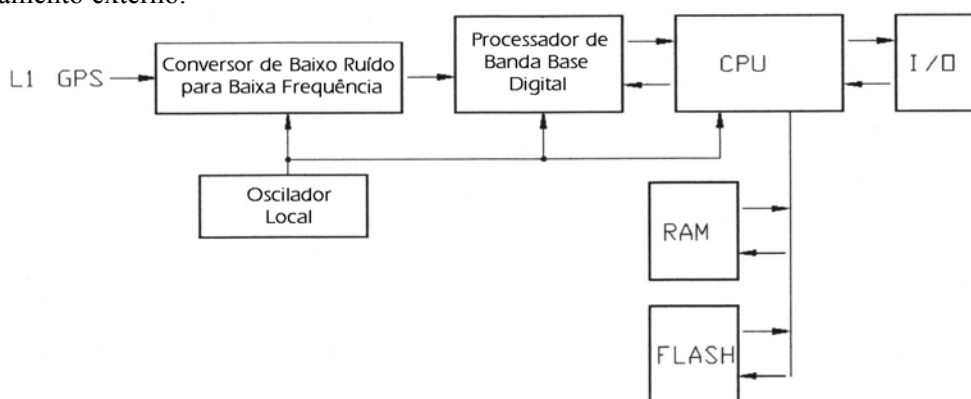


Figura 89 – Diagrama de Blocos do Receptor GARMIN

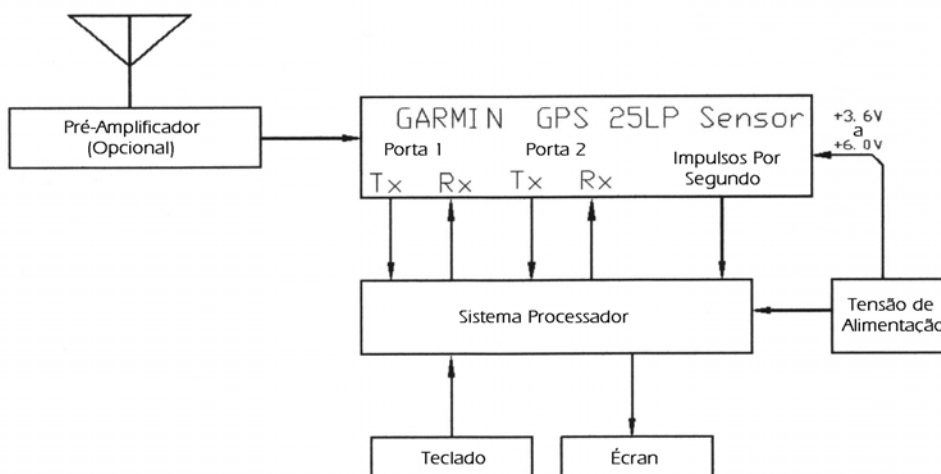


Figura 90 – Arquitectura Típica de Aplicação

Podemos ainda dizer que:

1. Esta placa contém um receptor sensível. A possibilidade de adição de uma protecção electromagnética, pode ser necessária para prevenir interferências indesejáveis de outros circuitos vizinhos.
2. Este receptor usa uma potência aproximada de 0,5 Watt a 0,85 Watt, dependendo da tensão de alimentação e das condições ambientais. O uso de ventoinhas não é recomendável, uma vez que pode causar mudanças de temperatura rápidas que podem afectar temporariamente a estabilidade e a frequência do oscilador interno.
3. Interrupções no sinal de RF podem aumentar o tempo de aquisição. A localização da antena com uma linha de vista livre para todas as direcções do céu, irá causar um melhor desempenho.
4. Tem um sinal forte de informação, para os satélites visíveis.

4.2.2.2 – Receptor GPS ONCORE da MOTOROLA

O receptor GPS ONCORE da Motorola providencia-nos a posição, velocidade, hora e informação do estado dos satélites monitorizados, através de uma porta série. Um diagrama de blocos funcional simplificado do receptor Oncore é mostrado na Figura 91.

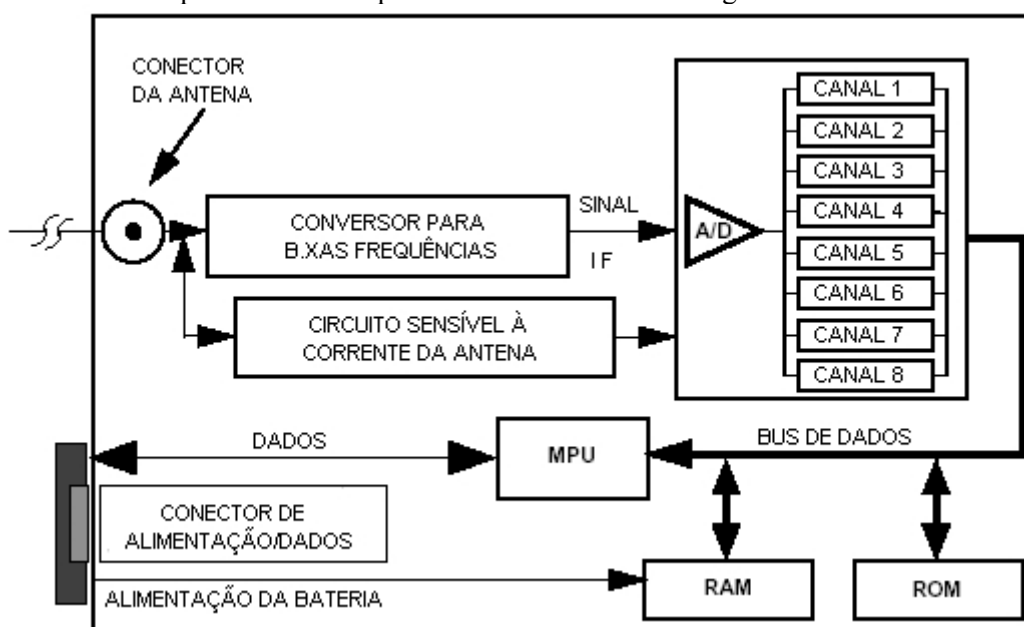


Figura 91 – Diagrama de Bloco do Receptor Oncore

Este receptor (Figura 92) tem oito entradas paralelas capazes de monitorizar oito satélites simultaneamente. O receptor recebe um sinal GPS L1 (1575,42 MHz) da antena, devendo ser alimentado com uma fonte de +5 V. A capacidade do tempo de recuperação é inerente à sua arquitectura. A banda dos sinais L1 transmitidos dos satélites GPS passam através de um filtro passa banda, com uma banda estreita e então são amplificados por um pré-amplificador contido dentro do módulo da antena. Filtrados e amplificados os sinais da banda L1 vindos do módulo da antena são então encaminhados para a secção de processamento de sinais RF do módulo receptor, através dum simples cabo coaxial de interligação. Este cabo de interligação fornece a alimentação de +5 V que é necessário para a pré-amplificação do sinal no módulo da antena.

A secção de processamento do sinal RF de um receptor Oncore na placa de circuito impresso, contém os necessários circuitos para a conversão dos sinais GPS recebidos do módulo da antena. O sinal da frequência intermédia resultante é então passado por um código de oito canais e transportado para a secção de correlação do receptor onde um simples conversor analógico-digital, converte o sinal da frequência intermédia numa sequência digital antes da separação dos canais. Este sinal da frequência intermédia digitalizado é então encaminhado para um processador de

sinais digitais onde o sinal é dividido em oito canais paralelos para detecção de sinais, códigos de correlação, monitorização da portadora e filtragem.



Figura 92 – Receptor GPS da Oncore

Os sinais processados são então encaminhados de um modo síncrono para a secção do microprocessador. Nesta secção controla-se os modos de operação do receptor GPS, descodifica-se e processa-se os dados do satélite usados para calcular a posição, velocidade e hora. Para manter a RAM (*Random Access Memory*) activa é necessário providenciar o arquivo dos dados das órbitas do satélite, parâmetros de operação, informação do calendário e outro tipo de informação. Para prevenir a perda deste tipo de informação quando o receptor Oncore é desligado, uma bateria externa de +5 V é necessária, assim como a retenção do valor do relógio de tempo real.

A – Protocolo do Interface

Este receptor tem duas portas de dados série do tipo TTL. A primeira porta é configurada como uma porta de um equipamento de comunicação de dados e providencia o controlo principal e o caminho de dados entre o receptor Oncore e o sistema controlador. A segunda porta é para o DGPS do RTCM para correcções das entradas. Para ligar este receptor a uma porta RS-232, será necessário colocar um circuito conversor de níveis TTL para RS-232 e vice-versa. Sempre que um dado chega este é guardado num *buffer* que é servido também pelo programa de operação do receptor. O *buffer* pode ser servido a cada segundo.

Formato	Motorola	NMEA 0183	RTCM SC-104
<i>Tipo</i>	Binário	ASCII	1 & 9
<i>Direcção</i>	Entrada/Saída	Entrada/Saída	Entrada
<i>Portas</i>	1	1	2
<i>Velocidade</i>	9600	4800	2400, 4800, 9600
<i>Paridade</i>	Nenhuma	Nenhuma	Nenhuma
<i>Bits de dados</i>	8	8	8
<i>Início/Fim</i>	1/1	1/1	1/1

Tabela 9 – Protocolo do Interface

B – Tempo de Processamento

Quando é ligado e se os satélites disponíveis são monitorizados, a posição actual do receptor fica disponível. Se nenhum sinal de satélite é recebido, a última posição conhecida fica disponível. O tempo de resposta da mensagem será o tempo desde a transmissão do primeiro *byte*

dos dados, até à transmissão dos últimos *bytes* dos dados enviados. O comando para o tempo de processamento será aumentado, desde que este fique dependente da entrada da mensagem no *buffer* para ser processada. Para o melhor caso de processamento, o comando de envio deverá chegar imediatamente antes da entrada dos dados no *buffer* para processamento, e o envio da resposta deverá ser a primeira (ou a única) saída do receptor. Para o pior caso de processamento o comando de entrada deverá chegar imediatamente a seguir à entrada dos dados no *buffer* para processamento e o envio da resposta deverá ser a última resposta enviada. Assumindo 1 ms por transmissão de um *byte* de dados e 50 ms para processamento de comandos e assumindo uma distribuição uniforme para o tempo de entrada dos dados, os cenários para o melhor, o típico e o pior caso são os seguintes:

Melhor caso:

$$\begin{aligned} \text{Tempo} &= \text{Comando de entrada menor} + \text{Comando de} \\ &\quad \text{Processamento} + \text{Comando de envio menor} \\ &= 10 + 50 + 10 \\ &= 70 \text{ ms} \end{aligned}$$

Caso típico:

$$\begin{aligned} \text{Tempo} &= \text{Entrada de quaisquer dados num período de um} \\ &\quad \text{segundo} + \text{Comando de Processamento} + \text{Saída de} \\ &\quad \text{quaisquer dados num período de um segundo seguinte} \\ &\quad \text{a um processamento de um comando} \\ &= 0,5 + 0,05 + 0,475 \\ &= 1,025 \text{ seg} \end{aligned}$$

Pior caso:

$$\begin{aligned} \text{Tempo} &= \text{Entrada começada num período de um segundo} + \\ &\quad \text{Saída acabada num período de um segundo seguinte} \\ &= 1 + 1 \\ &= 2 \text{ seg} \end{aligned}$$

C – DGPS

Este receptor pode ser usado em modo DGPS para aplicações que necessitem de 1 a 5 metros de precisão. O receptor utiliza a correcção do formato binário da Motorola ou do RTCM.

4.2.2.3 – Escolha do Receptor a utilizar

Apesar do receptor da Garmin ter um melhor leque de características, nomeadamente uma maior capacidade de monitorização de satélites, melhor precisão de posicionamento GPS, possibilidade de interface de comunicação RS-232 com outros sistemas e de menores dimensões, foi escolhido o receptor da Motorola, uma vez que se adapta fisicamente melhor à ORD do Rádio Solo Comboio através de uma melhor compatibilidade mecânica e eléctrica e por imposição da NEC Portugal. Por isso a ORD irá incorporar este receptor e manter o seu tamanho original no sistema Rádio Solo Comboio levando a que não exista qualquer alteração relevante a nível do espaço e desenho exterior no posto móvel, onde esta situação é extremamente crítica devido ao espaço extremamente exíguo das cabines de condução. Por fim, o aspecto económico e as relações comerciais entre a NEC Portugal e a Empresa fornecedora da ORD (OCTUOR Systeme, em França) também estiveram na base desta decisão.

4.2.3 – Norma NMEA 0183

O NMEA está dedicado à educação e ao desenvolvimento da indústria electrónica da Marinha, assim como o mercado que a serve. É uma associação sem lucros que é composta por fabricantes, distribuidores, intermediários, instituições educacionais e outras entidades interessadas

nas ocupações electrónicas periféricas da marinha. A norma NMEA define um interface electrónico e um protocolo de dados para comunicação entre a instrumentação da Marinha. O receptor escolhido suporta o formato NMEA 0183 para o formato de envio de dados GPS. O envio de dados no formato padronizado NMEA 0183 permite um interface directo através de uma porta série para uma instrumentação de navegação electrónica que suporta mensagens de saída específicas. No receptor escolhido são suportadas as seguintes mensagens de envio NMEA, mostradas na Tabela 10.

Mensagem	Descrição
GPGGA	Cálculo dos dados GPS
GPGLL	Posição geográfica – Latitude/Longitude
GPGSA	DOP do GPS e Satélites activos
GPGSV	Satélites GPS monitorizados
GPRMC	Especificação GPS mínima recomendada / Dados de trânsito
GPVTG	Encaminhamento e Velocidade terrestre
GPZDA	Hora e Data

Tabela 10 – Mensagens NMEA 0183 suportadas

Podemos activar ou desactivar cada envio da mensagem independentemente e controlar a velocidade de actualização em cada informação que é enviada. Caso o receptor tenha bateria irá reter as definições de saída quando for desligado e ele próprio reconfigura-se para as mesmas definições quando for ligado novamente. Caso não tenha bateria, quando o receptor reiniciar fá-lo-á no estado por defeito. Todas as mensagens NMEA são formatadas em frases que começam com o carácter ASCII \$ e termina com os caracteres ASCII <CR><LF>. Um endereço de cinco caracteres ocorre depois do carácter ASCII \$. Os dois primeiros caracteres são da identificação do emissor, que é GP para o caso de equipamento GPS e os três últimos caracteres são para o formato da frase ou para a identificação da mensagem da lista acima mostrada. De notar que as mensagens NMEA não têm um tamanho fixo. Os campos que contém as mensagens são limitados pelo carácter ASCII “;”. O máximo comprimento para qualquer mensagem NMEA é de 79 caracteres.

A verificação é feita através do “ou-exclusivo” dos oito *bits* de dados de cada carácter na frase entre o \$ (exclusivê) e o * (opcional) ou o CS (*Checksum*). Os oito *bits* do CS são enviados como caracteres ASCII. O envio das mensagens acima listadas são controladas com o formato da mensagem da Motorola NMEA. Envio de mensagens seguindo a especificação NMEA, têm a forma &PMOTG,,,,,*CS<CR><LF>. Todos os parâmetros de envio são separados por vírgulas limitadoras. O carácter P identifica a mensagem com o formato do proprietário (P), o MOT é a designação do fabricante para a Motorola e o G é para identificação de GPS.

No caso onde mais do que uma mensagem de envio é preparada durante o mesmo intervalo de segundo, o receptor GPS irá enviar todas as mensagens preparadas mas irá ter em atenção o limite do número de *bytes* transmitidos por cada segundo, que são de 375 *bytes*. Para o caso de várias mensagens enviadas, se a próxima mensagem a enviar couber dentro dos 375 *bytes* de comprimento, então esta será enviada. Por exemplo, as mensagens a enviar totalizam 334 *bytes* e estão prontas a enviar. Se o utilizador necessitar de mais 80 *bytes* de mensagens, então os 414 *bytes* irão ser enviados. Posteriormente, se requisitar mais de 70 *bytes* de mensagens, então o seu envio não será feito. Normalmente envia-se um grupo de frases em intervalos de tempo pré-determinados, mas geralmente não ultrapassam a velocidade de uma por segundo.

GGA - Cálculo dos Dados GPS

```
GGA,123519,4807.038,N,01131.324,E,1,08,0.9,545.4,M,46.9,M, , *42
123519      Dados calculados às 12:35:19 UTC
4807.038,N  Latitude 48°07.038' N
01131.324,E Longitude 11°31.324' E
1           Origem :      0 = inválida
                          1 = GPS
                          2 = DGPS
```

08 Número de Satélites que foram monitorizados
0.9 HDOP
545.4,M Altitude, Metros, acima do nível do mar
46.9,M Altura do geóide (nível do mar) abaixo do elipsóide WGS84
(campo vazio) tempo em segundos desde a última actualização
(campo vazio) Identificação (ID) da estação DGPS

GLL - Posições Geográficas, Latitude e Longitude

GLL,4916.45,N,12311.12,W,225444,A

4916.46,N Latitude 49°16.45' N
12311.12,W Longitude 123°11.12' W
225444 Dados calculados às 22:54:44 UTC
A Dados válidos

GSA - DOP do GPS e satélites activos

GSA,A,3,04,05,,09,12,,,24,,,,,2.5,1.3,2.1*39

A Selecção automática dos cálculos em 2D ou 3D
(M = manual)
3 Cálculos a 3D
04,05... PRN dos satélites usados para o cálculo
(espaço para 12)
2.5 DOP
1.3 HDOP
2.1 VDOP

GSV - Satélites em monitorização

GSV,2,1,08,01,40,083,46,02,17,308,41,12,07,344,39,14,22,228,45*75

2 Número de frase dos dados completos
1 Frase 1 de 2
08 Número de satélites monitorizados
01 Número PRN do satélite
40 Elevação, graus
083 Azimute, graus
46 Potência do sinal - quanto mais alto melhor
<repetir até 4 satélites por frase>
Podem existir até 3 frases GSV num pacote de dados

RMC - Recomendação GPS mínima recomendada/Dados de trânsito

RMC,225446,A,4916.45,N,12311.12,W,000.5,054.7,191194,020.3,E*68

225446 Dados calculados às 22:54:46 UTC
A Alarme do receptor de navegação
A = OK, V = alarme
4916.45,N Latitude 49°16.45' N
12311.12,W Longitude 123°11.12' W
000.5 Velocidade terrestre, nós
054.7 TMG, Verdadeiro
191194 Data dos cálculos 19 Novembro 1994
020.3,E Variação magnética 20.3° E
*68 Verificação obrigatória

VTG - Encaminhamento e velocidade terrestre

VTG,054.7,T,034.4,M,005.5,N,010.2,K

054.7,T TMG, verdadeiro
034.4,M TMG, magnético
005.5,N Velocidade terrestre, nós
010.2,K Velocidade terrestre, quilómetros por hora

4.2.4 – Carta de Interface Universal ORD

A Interface Universal ORD (Figura 93 e Figura 94) visa a correcta integração de diferentes sistemas, traduzindo protocolos, encaminhando dados ou mesmo controlando os equipamentos. Quando posicionada em pontos estratégicos num sistema, a Interface Universal providencia soluções de compatibilização entre interfaces. Dados adquiridos por diferentes equipamentos (telemetria, GPS, DGPS, etc.) podem ser recolhidos pela ORD e encaminhados para diferentes equipamentos de comunicações (GSM, *Tetra*, *Iridium*, *Trunk*, GSM-R, etc.). A ORD, como núcleo do sistema integrado, terá a tarefa de centralizar e encaminhar toda a troca de informação, coordenando todos os equipamentos e traduzindo informação entre eles. A ORD é uma plataforma aplicacional muito versátil, oferecendo uma elevada capacidade de customização. Oferece uma vasta gama de interfaces (analógicas ou digitais), *modems*, GPS (ou DGPS), transmissor integrado (*short-range half-duplex*), ligações ópticas (laser, infravermelhos), etc..

As suas características técnicas de um modo resumido são:

- ▶ Tensão de Alimentação: 9 a 12 V_{DC}
- ▶ Consumo Típico: 150 mA
- ▶ Micro-Controlador M37710, trabalhando a 14,7456 MHz
- ▶ *Flash* Memory 512K
- ▶ RAM Estática de 32 K
- ▶ Relógio de Tempo Real
- ▶ 4 entradas analógicas
- ▶ 4 entradas digitais isoladas
- ▶ 4 saídas digitais isoladas
- ▶ 4 ligações série RS-232



Figura 93 – ORD

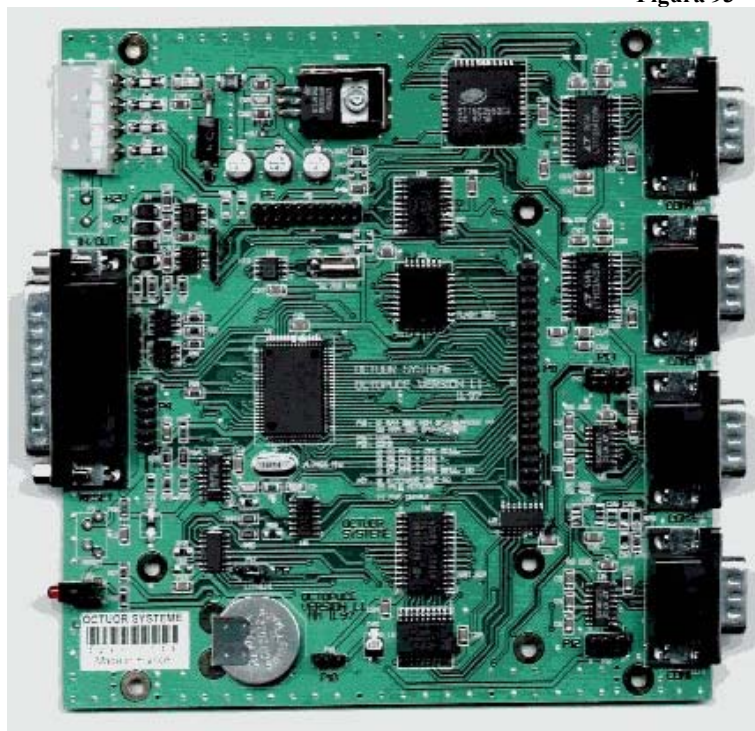


Figura 94 – Aspecto da carta de Interface Universal *Octopuce*

O micro-controlador de 16 *bits* e a capacidade de memória tornam a ORD num poderoso sistema embebido. Baseada no micro-controlador Mitsubishi M37710, com extenso suporte de algoritmos, a ORD é uma solução económica e flexível, tanto a nível do desenvolvimento e customização como de produção. A capacidade da memória e as interfaces podem ser facilmente configuradas de acordo com os requisitos da aplicação, reduzindo não só os custos de projecto como o tempo gasto na sua concretização. Esta carta de interface universal é constituída de um modo genérico pelos blocos da Figura 95.

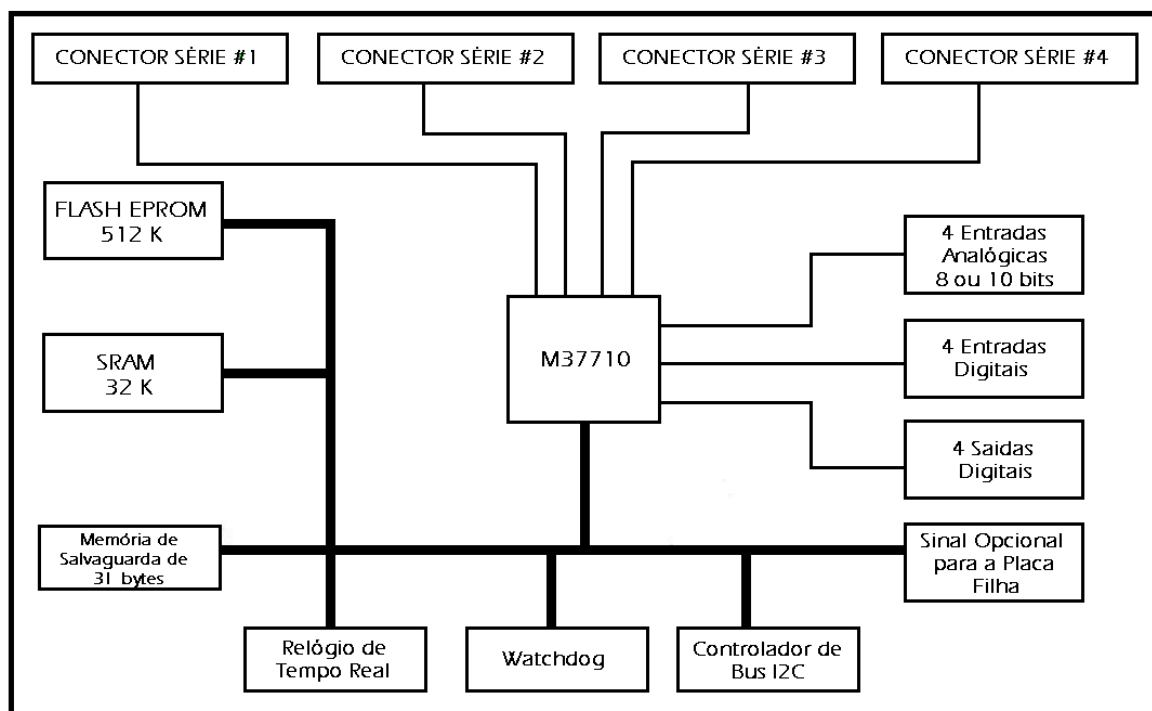


Figura 95 – Diagrama de Blocos da Interface Universal

A ORD gere todo o posto móvel do sistema Rádio Solo Comboio através de uma ligação RS-232/RS-485 e também directamente por comandos lógicos de *hardware*.

4.2.5 – Interface expandida para GPS (Carta Filha)

Após a escolha do receptor GPS foi solicitada à OCTUOR Systeme, em França, devido às relações comerciais existentes entre esta empresa e a NEC Portugal, que integrasse o receptor GPS numa placa de circuito impresso como extensão à sua Interface Universal ORD, ficando perfeitamente integrável com a mesma.

A interface expandida com o GPS integrado (Figura 96), permite a localização geográfica do móvel, sendo a interligação com o rádio assegurada pelas interfaces propostas.

Uma memória *flash* permite manter o registo de dados por longos períodos de tempo.



Figura 96 – Interface de Extensão para GPS (Carta Filha)

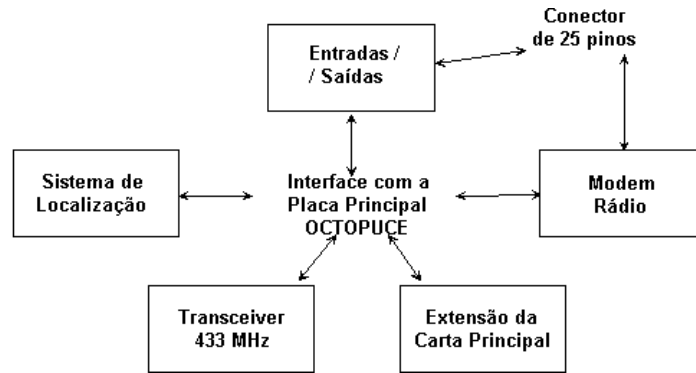


Figura 97 – Esquema Geral

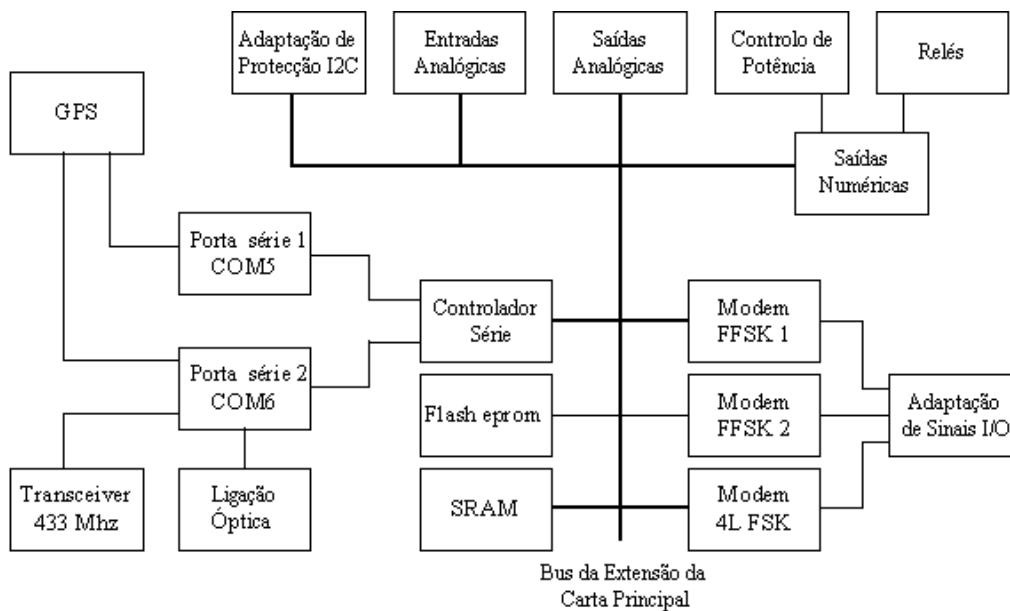


Figura 98 – Esquema Funcional

As portas série são de interface RS-232 com níveis TTL, podendo-se utilizar a COM5 e a COM6 para efectuar essa operação. A porta série COM5 permite a transferência de comandos e de posições, enquanto que a porta série COM6 permite efectuar uma correcção da posição (modo diferencial). O GPS fornece numa das suas bases um sinal PPS (*Pulse Per Second*) periódico de 1 segundo sincronizado por satélite. Esse sinal pode permitir, por exemplo, a sincronização da transmissão vindo de diversas interfaces. O modo DGPS (modo diferencial) necessita do emprego de duas ligações série. Uma trama de correcção deverá ser fornecida ao GPS para que ele corrija a posição. Essa trama de correcção pode ser transmitida pela COM6 e vir do conector de 25 pinos (RTCM).

4.2.6 – Antena

A família GPS da Oncore inclui uma antena activa GPS, oferecendo um elevado desempenho e com um tamanho compacto. A antena activa GPS da Oncore (Figura 99) é projectada para operar com a família de receptores da Motorola assim como muitos receptores GPS de outros fabricantes, sendo



Figura 99 – Antena de GPS da Oncore

o seu diagrama de radiação, o que se apresenta na Figura 100.

Este sistema é fornecido com aplicativos de programação que permitem, após a sua instalação, configurar o respectivo *hardware*. Para além disso, é necessário ter instalado o programa da Microsoft MapPoint 2001 Europe, com o respectivo módulo complementar de GPS, também da Microsoft. Em resumo, é necessário instalar e correr o seguinte *software*:

- ▶ Programa Octoload;
- ▶ Programa Microsoft MapPoint 2001 Europe;
- ▶ Programa com o módulo complementar de GPS da Microsoft.

Todo o programa terá como base os esquemas de ligação ilustrados na Figura 101 e Figura 102, para os Postos Fixos e Móveis. Ou seja, será necessário configurar as duas ORD com o programa Octoload.

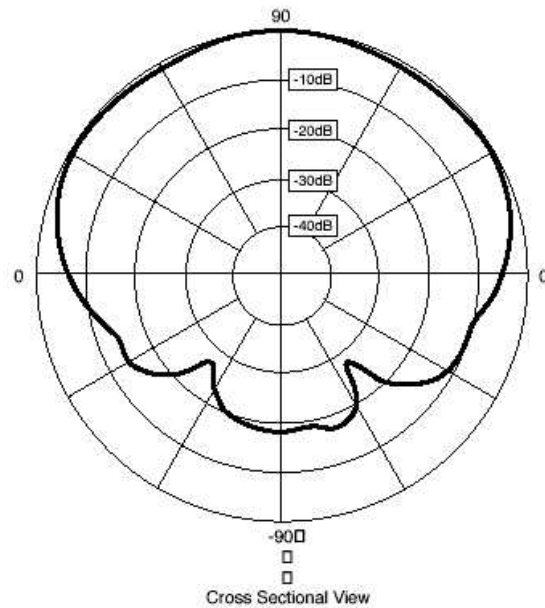


Figura 100 – Diagrama de Radiação da Antena de GPS utilizada

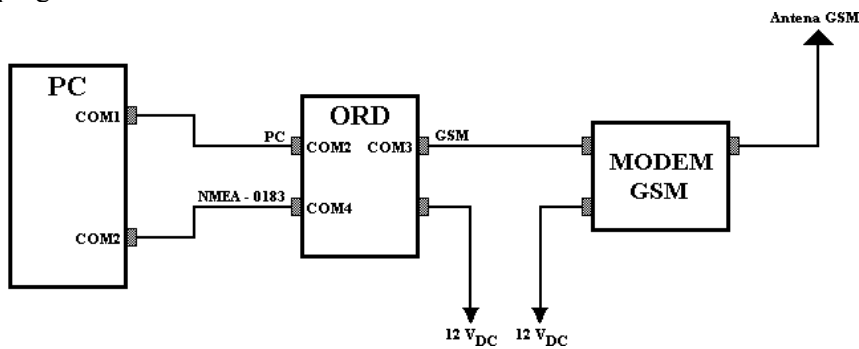


Figura 101 – Esquema de Ligações do Posto Fixo

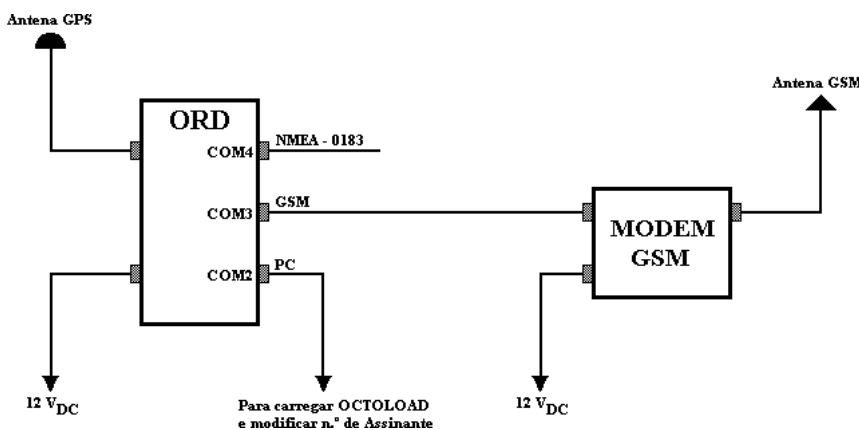


Figura 102 – Esquema de Ligações do Posto Móvel

Após a instalação de todos os programas atrás referenciados para o bom funcionamento do sistema é necessário proceder à configuração do seu *hardware*. Sendo assim, é necessário executar o programa Octoload, para configuração do relógio e de todos os parâmetros protocolares necessários à comunicação da ORD com o sistema GPS (números de telefone GSM, velocidade de

comunicação, número de *bits*, tipo de paridade e quais as portas série utilizadas). Após serem inseridos todos estes dados será a partir deste programa que irão ser descarregados para a ORD.

4.2.7 – Colocação ao Serviço do Sistema de Localização via GPS

Após a instalação dos vários programas necessários para o bom funcionamento do sistema de localização via GPS, torna-se necessário fazer correr as suas aplicações e fazer as respectivas ligações, quer no Posto Fixo quer no Posto Móvel.

4.2.7.1 – Posto Móvel

No Posto Móvel é necessário ligar a ORD, já configurada à antena de GPS e a sua porta série COM3 é ligada ao *modem* GSM. Este por sua vez está ligado a uma antena de GSM, por onde irão ser enviados os dados sobre a sua localização (conforme representado na Figura 102 e visualizado na Figura 103). Quer a ORD quer o *modem* GPS são alimentados com uma tensão de 12 V_{DC}.



Figura 103 – Imagem do Posto Móvel

4.2.7.2 – Posto Fixo

Na ORD do Posto Fixo as suas portas séries COM2 e COM4 irão ligar às portas séries COM1 e COM2 do PC, respectivamente.

A ligação entre a porta série COM4 da ORD e a COM2 do PC, servirá para transmitir os dados do protocolo NMEA-0183. Por fim, a porta série COM3 da ORD irá ligar ao *modem* GSM, que por sua vez irá estar ligado à antena GSM, conforme se pode ver na Figura 101, Figura 104 e Figura 105. De igual modo as tensões de alimentação do *modem* GSM e da ORD são de 12 V_{DC}.



Figura 104 – Imagem do Posto Fixo



Figura 105 – Imagem do Posto Fixo

4.2.7.3 – Colocação ao Serviço

Para se colocar este sistema de localização ao serviço é necessário executar a aplicação que permite a comunicação de dados entre o Posto Móvel e o Posto Fixo (Figura 106). É nesta aplicação que se configura a leitura da posição GPS, colocação do número de GSM a ser chamado e o período de para a interrogação do Posto Fixo, para este informar a sua localização GPS (neste caso colocou-se 5 segundos, com chamamento automático).

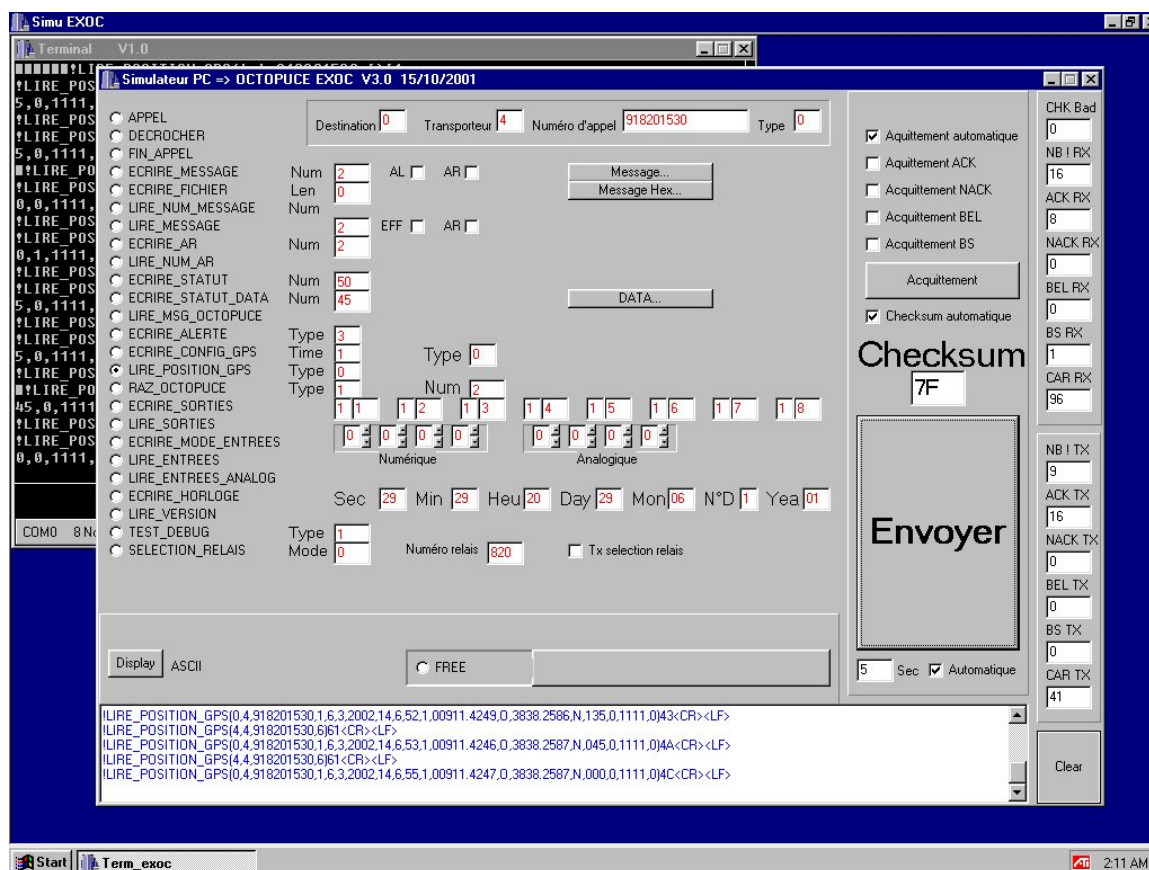


Figura 106 – Janela do programa que permite a comunicação entre o Posto Móvel e o Fixo

Ou seja, de 5 em 5 segundos, o Posto Fixo irá interrogar o Posto Móvel da sua posição e este irá responder-lhe. Toda esta comunicação é feita via GSM através de uma chamada contínua de dados, estando previsto, em caso de comercialização, o desenvolvimento desta comunicação ser feita através de SMS e/ou por GPRS (*General Packet Radio Services in GSM*). Posteriormente é necessário executar o programa de localização e iniciar a leitura das coordenadas do GPS para acompanhar a evolução da localização do Posto Móvel.



Figura 107 – Programa de Localização das Coordenadas de GPS do Posto Móvel

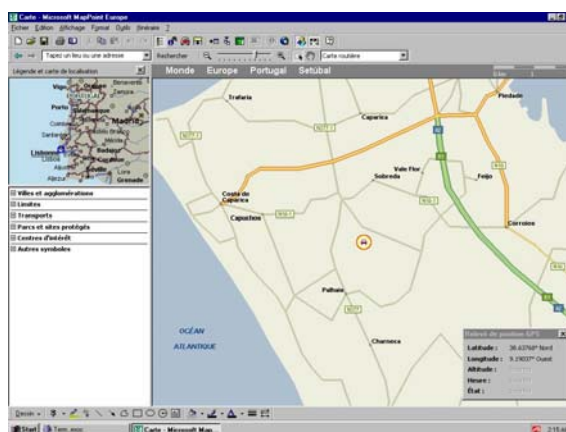


Figura 108 – Localização do Posto Móvel

Passados alguns segundos a posição GPS do posto móvel é visualizada no écran do PC, a sua respectiva localização no mapa, conforme se pode ver na Figura 108.

4.3 – Localização de Comboios em Túneis

O problema da localização de comboios em túneis – e outras localizações onde sinais rádio e de satélite são bloqueados ou interferidos – é porém mais complicado e mantém-se como um tema de investigação, adaptando-se muitos desenvolvimentos de outros campos de navegação ao envolvimento ferroviário.

Tradicionalmente, as formas mais comuns de detecção de comboios como elementos de segurança crítica dos sistemas de sinalização, têm sido levados a cabo por meios de circuitos de via. Apesar dos avanços tecnológicos como o SSI (*Solid State Interlocking*), centros de controlo electrónico e blocos de rádio, a detecção da passagem dos comboios através do uso de circuitos de via, mantém-se como o básico da sinalização ferroviária, na maioria das linhas.

Uma alternativa aproximada ao circuito de via, consiste no uso de contador de eixos, baseado nos princípios de aviso absoluto do cantão, nomeadamente na secção da linha que pode ser considerada ocupada quando qualquer comboio entrou nessa secção e também pode ser monitorizado quando o comboio deixar essa mesma secção.

Porém está-se a trabalhar na detecção de comboios, utilizando o próprio comboio por meio da rotação do eixo como integrante do sistema de controlo CARAT (*Computer And Rádio Aided Train*). Actualmente os resultados dos testes em veículos conseguem determinar o seu estado actual nomeadamente, em movimento e em declive/inclinação, são estes pressupostos que estão inerentes ao método de contagem do número de rotações do eixo e sugere-se uma técnica de correcção do erro da posição, como uma melhoria.

O uso do GPS, com uma precisão de 50 metros na rede ferroviária do Reino Unido, tem vindo a ser investigado como parte integrante de sistemas de monitorização como o OLIVE (*Overhead Line Inspection by Vehicular Equipment*). O desempenho que tem vindo a ser demonstrado, pode ser considerado como satisfatório. Com significado particular, tem sido a recuperação rápida de sinais depois de ter sido interrompida a linha de vista com os satélites. Túneis, pontes, barreiras e edifícios altos na linha de vista ocorrem frequentemente nas linhas das redes ferroviárias. Portanto, interrupções da recepção do satélite podem afectar significativamente parte de uma viagem.

Uma solução para este problema é baseado na integração de receptores GPS com outros sensores como os medidores de inclinações, uso de procedimentos de medida usando giroscópios, uso de medições de andamento utilizando a contagem de rotações do eixo.

4.3.1 – Tecnologias para Túneis

Sinais de satélites (GPS e DGPS/RDS) não estão imediatamente disponíveis em túneis e os sinais rádio são propensos a interferências electromagnéticas num meio fechado como um túnel. À parte das técnicas tradicionais baseadas na via ou no comboio, introduzidas inicialmente, outra área importante de novos desenvolvimentos para potenciais aplicações ferroviárias, incluem técnicas baseadas no espalhamento do espectro de rádio, através de micro ondas *Doppler* e meios optoelectrónicos. Estes são sensores locais baseados numa comunicação comboio-via.

Nos EUA existe um projecto para aplicação da tecnologia por navegação rádio para melhorar o ATC. O sistema consiste em balizas rádio colocadas na via com cerca de 10 metros de intervalo, assim como, existência de transmissores e receptores a bordo dos comboios e em estações de controlo. O sistema participa num modo síncrono, numa rede com *time-slots* bem definidos facilitando a determinação da localização em conjugação com uma transferência segura da informação de controlo. Outros sistemas simples são baseados em ciclos indutivos ou em *transponders* magnéticos. Num sistema baseado em ciclos indutivos, a posição do veículo é obtida através de uma alteração da sequência na transição ou na fase do ciclo, quando o comboio viaja sobre balizas. As balizas são *transponders* magnéticos usadas para transmitir informação pré-

programada do equipamento de via para o comboio, que pode ser usada para informar o operador do comboio da sua posição absoluta.

Um sensor da velocidade de *Doppler* foi desenvolvido para aplicações ferroviárias e tem sido ensaiado como uma das entradas para um sistema de navegação de veículos. Este sistema é baseado no efeito de *Doppler*, isto é, altera-se a frequência aparente da onda se o observador está em movimento relativamente ao transmissor. O transmissor, neste caso, opera a 24 GHz.

Os caminhos de ferro franceses utilizam uma combinação do radar de *Doppler* e *transponders* passivos para um sistema de controlo de movimentos de comboios em tempo real. Este sistema trabalha filtrando os dados medidos no radar de *Doppler*, realizando pequenos ajustes na distância através dos dados da dinâmica do comboio, para gerar um valor exacto e segura para a distância percorrida.

Um outro sistema de controlo de comboios intermitente e instantâneo combina os dados do cabo de sinalização com as avançadas tecnologias baseadas em sensores de velocidade e de posicionamento. A existência de taquímetro no eixo e de dados do radar de *Doppler* podem ser introduzidos num processador a bordo do comboio levando a um refinamento e verificação das leituras de velocidades instantâneas.

Finalmente, meios de correlação óptica estão em investigação através da utilização de díodos laser. Esta tecnologia só foi até agora aplicada para monitorização de equipamento localizados por cima das unidades e na inspecção dos movimentos entre a roda e o carril. Esta é uma tecnologia promissora para o futuro devido à sua imunidade a interferências electromagnéticas e a tecnologia óptica tem vindo a ser cada vez mais utilizada em várias aplicações de comunicação via-comboio.

4.3.1.1 – Alternativa de localização com o Rádio Solo Comboio com GPS em Túneis

Uma vez que numa rede ferroviária os túneis são na sua larga maioria de pequenas extensões de comprimento (nomeadamente em Portugal em média os túneis têm 500 metros ou menos de extensão), e para além disso são túneis em alinhamento recto.

Sabendo-se também que todos os comboios em circulação estão equipados com taquímetros e/ou com tacógrafos podemos integrar os sinais vindos destes equipamentos no sistema Rádio Solo Comboio e através de um rápido processamento ao nível do algoritmo da ORD, poderemos continuar a saber a localização do comboio aquando da ausência do sinal GPS e enviá-lo para um centro de gestão e controlo de tráfego ferroviário, através do GSM. Sendo assim, teríamos o diagrama de blocos no posto móvel, que se mostra na Figura 109.

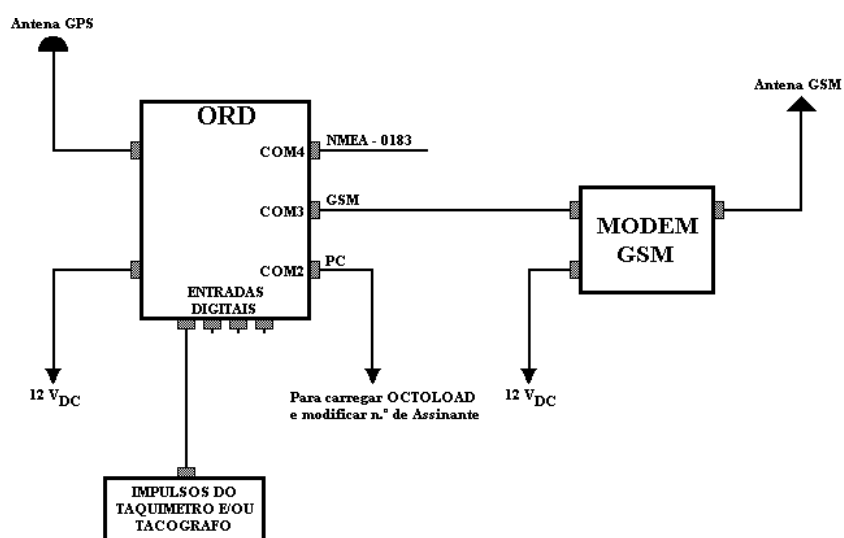


Figura 109 – Esquema de Ligação alternativa para o RSC com GPS, em túneis

O algoritmo a desenvolver para processamento dos dados vindos do taquímetro/tacógrafo deve ter em conta os princípios básicos da seguinte tabela de estados.

<i>ENTRADAS</i>		<i>SAÍDA (Via GSM)</i>	<i>COMENTÁRIO</i>
<i>Coordenadas do GPS</i>	<i>Impulsos do Taquímetro/Tacógrafo</i>		
Existem	Com Impulsos	Enviar as coordenadas do GPS	Comboio em movimento, em céu aberto
Existem	Sem Impulsos	Enviar a última coordenada em memória	Comboio parado em céu aberto
Não existem	Com Impulsos	Enviar as coordenadas actualizadas com recurso à distância percorrida	Comboio em movimento, dentro de um túnel
Não existem	Sem Impulsos	Enviar a última coordenada em memória	Comboio parado dentro de um túnel

Tabela 11 – Tabela de Estados

Como se pode verificar, sempre que exista sinal do GPS deve ser enviada essa mesma coordenada via GSM. Caso contrário a ORD deverá processar os dados vindos do taquímetro/tacógrafo juntamente com a última coordenada recebida pelo GPS e enviar a coordenada resultante através do GSM. Para tal, torna-se necessário que o algoritmo da ORD guarde em memória a última coordenada resultante e enviada pelo GSM, para a necessidade de um futuro processamento, assim como, o último sentido da direcção (rumo) recebido via GPS.

Quando se tem um comboio localizado dentro de um túnel e em movimento, este deve imediatamente começar a contar o número de impulsos vindos do taquímetro/tacógrafo (N) e tendo-se já pré-programado o diâmetro da roda (D) sabe-se a distância percorrida (d) num intervalo de tempo, através de:

$$d = \frac{\pi \times D \times N}{n}$$

onde, n é o número de impulsos por rotação enviados pelo taquímetro/tacógrafo. Posteriormente, através do último sentido da direcção (θ) enviado pelo GPS e guardado em memória, podemos saber qual foi o deslocamento cartesiano do móvel.

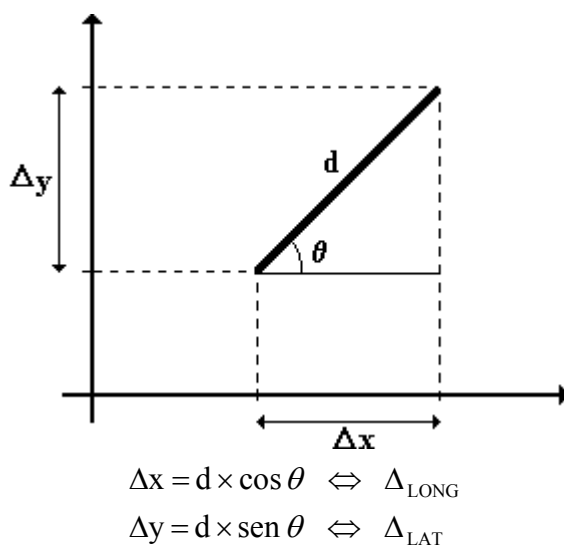


Figura 110 – Cálculo da variação da distância percorrida

Seguidamente através de um simples cálculo sabemos quais são as novas coordenadas da latitude e da longitude do móvel.

$$\text{LATITUDE}_{\text{NOVA}} = \text{LATITUDE}_{\text{ANTIGA}} + \Delta_{\text{LAT}}$$

$$\text{LONGITUDE}_{\text{NOVA}} = \text{LONGITUDE}_{\text{ANTIGA}} + \Delta_{\text{LONG}}$$

Finalmente, memoriza-se e envia-se estas últimas coordenadas através do GSM para o respectivo centro de controlo e gestão.

Deve-se ter em conta que esta proposta só deve ser aplicada em locais onde se possa considerar genericamente que um túnel ferroviário é relativamente “recto” e deste modo podemos aproveitar a capacidade existente na ORD do sistema Rádio Solo Comboio e do taquímetro/taquígrafo existente em qualquer comboio. Para tal, fizeram-se cálculos para se ter uma noção real, de quais são os erros que esta proposta apresenta, caso se optasse por ela e caso os túneis não fossem em alinhamento recto.

RAIO DA CURVATURA (r)	DISTÂNCIA PERCORRIDA EM CURVA (d)	ERRO (m)
350 m	100 m	15 m
	300 m	126 m
1500 m	100 m	4 m
	500 m	84 m
3000 m	100 m	2 m
	500 m	42 m
	1000 m	167 m
5000 m	100 m	1 m
	500 m	25 m
	1000 m	100 m

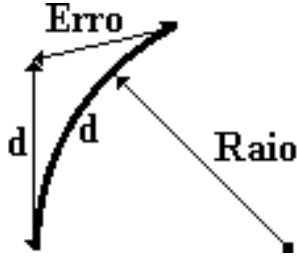


Tabela 12 – Cálculo do erro cometido

De referir que na Tabela 12 considerou-se que um comboio percorre poucas distâncias em raios de curvaturas menores e percorre maiores distâncias em raios de curvaturas maiores.

4.3.2 – Cobertura GSM em túneis

Para que a informação da localização de um comboio dentro de um túnel possa ser enviada para um Posto Regulador é necessário que exista cobertura GSM dentro dele. Por isso torna-se necessário equipar um túnel com equipamento adequado para permitir a sua cobertura.

Para além disso, os sistemas de comunicação em túneis necessitam de ser usados não só por agentes ferroviários, mas também por serviços de emergência. Isto implica que o sistema de comunicação rádio a ser instalado em túneis terá que ser semelhante e com os mesmos requisitos dos serviços de emergência. O sistema de comunicação em túneis pode ser baseado quer no GSM-R ou no GSM público, ou, para aumento da segurança, numa combinação das bandas de frequência disponíveis do GSM.

Apresenta-se a seguir diferentes tipos de soluções para uma cobertura GSM, em túneis. As soluções com repetidores são ideais em aplicações rádio dentro de túneis como a que se apresenta na Figura 111, com repetidores ligados por fibra óptica e com cobertura assegurada por cabo radiante.

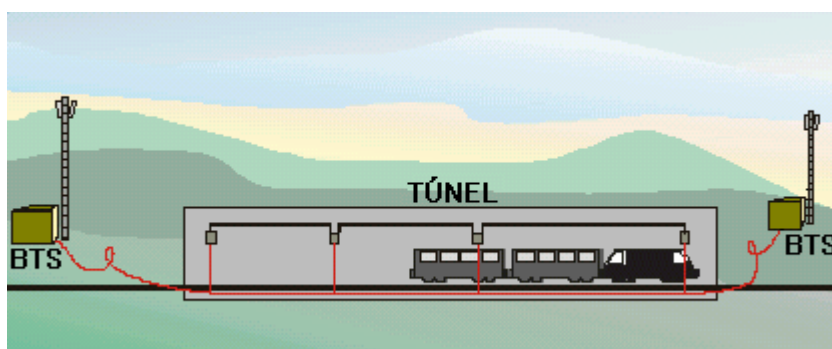


Figura 111 – Cobertura GSM num túnel (I)

Os túneis mais pequenos podem ser cobertos com repetidores ligados a uma antena que transmite o sinal para uma BTS, como se pode ver na Figura 112. Esta solução também pode ser utilizada em túneis de maior extensão, dependendo da preferência e necessidades do operador ferroviário.

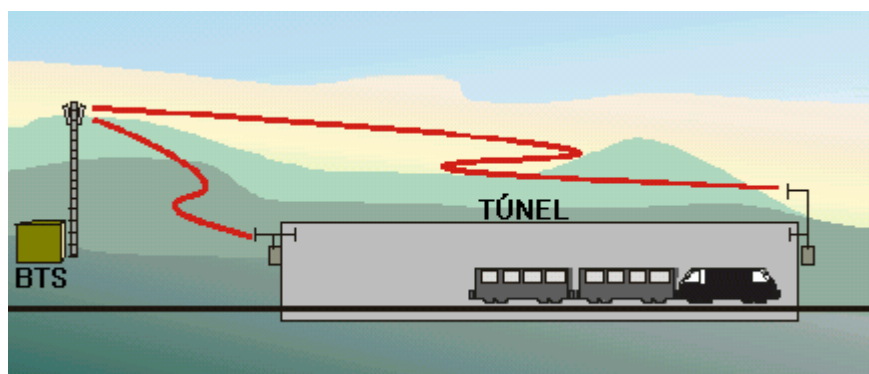


Figura 112 – Cobertura GSM num túnel (II)

Como já foi referido a cobertura rádio em túneis pode ser feita de várias maneiras, dependendo de diversos factores como o comprimento do túnel e a existência de equipamento rádio próximo do local. Os repetidores utilizados podem ser de dois tipos, quanto à sua localização:

- A – Repetidores colocados à entrada do túnel, quando este tem uma curta extensão (Figura 113).
- B – Repetidores ligados por fibra óptica colocados dentro do túnel (Figura 114).

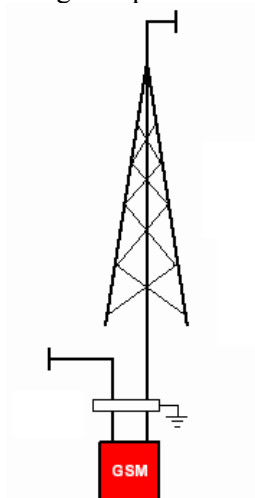


Figura 113 – Repetidor Exterior

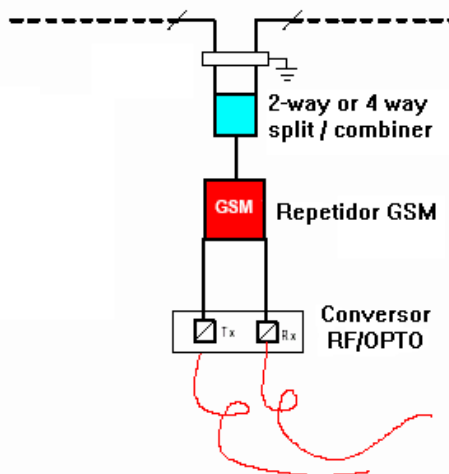


Figura 114 – Repetidor Interior

Se o túnel for inferior a 700 metros de comprimento, deve-se colocar apenas um repetidor exterior numa das entradas do túnel, como se visualiza na Figura 115.

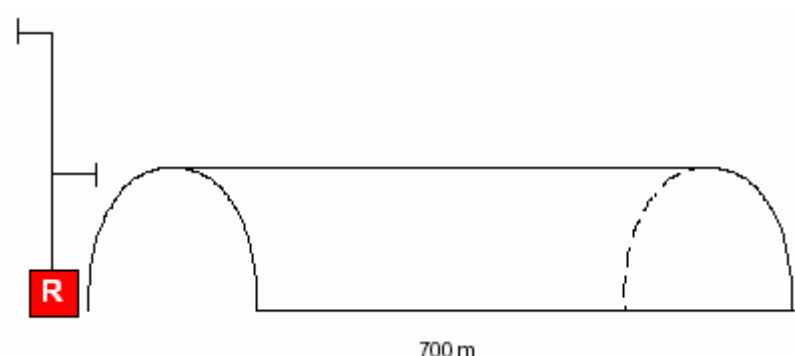


Figura 115 – Repetidor exterior colocado à entrada do túnel

Caso exista necessidade de redundância, devem ser colocados dois repetidores separados, em cada entrada e a transmitirem os seus sinais para duas BTS diferentes (Figura 116), devendo estas estarem colocadas perto do túnel. Para uma melhor cobertura sugere-se uma solução mista entre um repetidor ligado por fibra óptica e sinais transmitidos através de um *leaky feeder*.

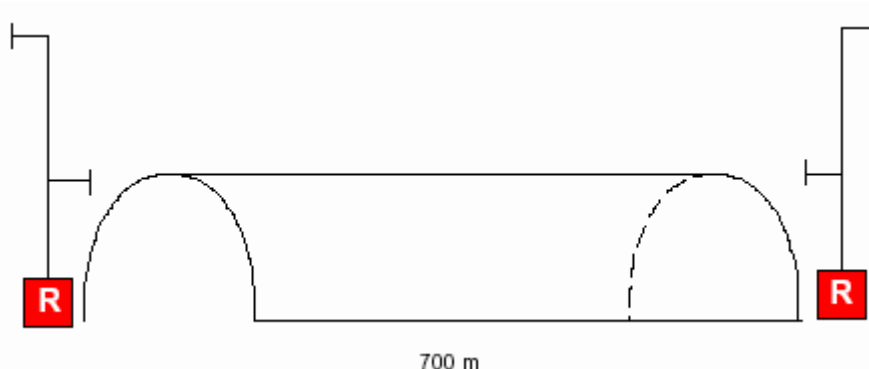


Figura 116 – Dois repetidores exteriores colocados nas entradas do túnel

Devido a um planeamento óptimo da rede, a BTS poderá não estar perto da abertura do túnel e por isso sugere-se na Figura 117 uma alternativa para assegurar uma cobertura rádio dentro de um túnel com 1400 metros. Onde se considerar a necessidade de redundância, deve-se ter dois repetidores, ligados a duas BTS diferentes, através de fibra óptica.

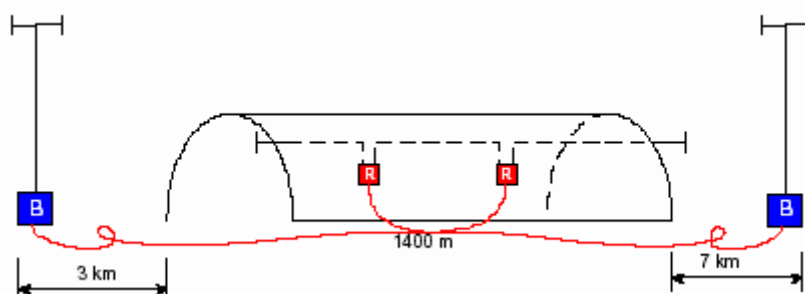


Figura 117 – Cobertura GSM com redundância

Quando a BTS é localizada perto do túnel, um “divisor” irá dividir o sinal da antena dentro do túnel, cobrindo a primeira parte do túnel em aproximadamente 800 metros. Um HUB óptico,

através de fibra, ligará os repetidores locais, dentro do túnel, cobrindo deste modo a restante extensão do túnel.



Figura 118 – Cobertura em túneis com uma grande extensão

Quando a redundância é exigida por razões de segurança, duas BTS estão ligadas ao sistema de repetidores do túnel como se ilustra na Figura 119. Neste caso, temos dois sistemas básicos que garantem a cobertura de uma forma duplicada.

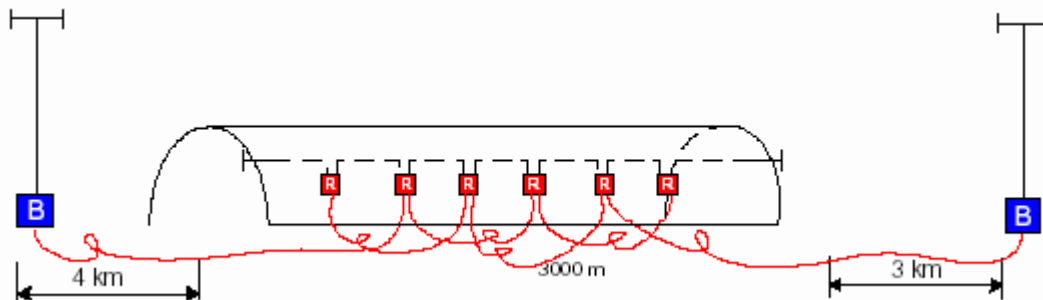


Figura 119 – Cobertura em túneis com uma grande extensão, com redundância

4.3.3 – Conclusões

Podemos concluir que a solução apresentada é simples e de baixo custo, quando comparável a soluções com recurso a balizas, a furos directos em túneis para obtenção do sinal de GPS, à interacção com outros sistemas anteriormente descritos ou com a integração de um giroscópio. Os erros de precisão situam-se nos piores casos na ordem das centenas de metros, podendo estes serem mais ou menos críticos, dependendo da sua utilização final e da quantidade de tráfego local.

Sabendo-se que os comboios para circular em velocidades maiores, necessitam de raios de curvatura maiores, verificando-se nesse caso, que o erro de precisão fica fortemente diminuído sendo comparável aos erros de precisão do GPS. Para além disso esta solução é muito mais imune a interferências electromagnéticas do que os outros sistemas descritos.

Soluções integradas de vários sensores acima descritos requerem verificações de consistência e o uso de técnicas de redundância analítica no caso de sinais, vindos de sensores que estejam avariados ou pareçam irreais.

As tecnologias acima referidas ou uma solução integrada terão de ser avaliadas em termos do seu desempenho comparativo, isto é, precisão, confiança, manutenção, considerações de envolvimento no meio ferroviário (túneis), aspectos relacionados com a segurança e custo para os vários tipos de via ferroviária.

Os comboios podem ser considerados em diferentes classes. Em cada uma das classes, um número de itens poderão ser considerados. Claramente que as necessidades de localização para os vários tipos de comboios e de outros sistemas de tráfego em massa são diferentes.

Os serviços de tráfego em massa são rápidos e em percursos curtos e poderão necessitar de uma informação da localização mais exacta do que os serviços de mercadorias, que são mais lentos e têm maiores intervalos entre eles e percorrem distâncias maiores.

As diversas necessidades também estão muito dependentes da aplicação da localização. Por exemplo, veículos de teste usados pela infra-estrutura, monitorização da via e actividades de manutenção podem necessitar de um equipamento de localização mais sofisticado para serem confrontados com outros parâmetros que estão a ser gravados localmente, mas podem não necessitar da mesma verificação rigorosa de segurança considerada para aplicações de controlo de comboios/sinalização.

CAPÍTULO 5

OS SISTEMAS DE GESTÃO, COMUNICAÇÕES E DE SINALIZAÇÃO FUTUROS

5.1 – Introdução

Sabendo que os desenvolvimentos tecnológicos são constantes, vão ser descritos neste capítulo, sistemas que irão ser utilizados num futuro muito próximo ao nível da gestão do tráfego ferroviário (*Train Office*), das comunicações ferroviárias (GSM-R) e da sinalização (ERTMS/ETCS). Chama-se a particular atenção para o sistema *Train Office* que já faz a utilização da integração do sistema GPS no âmbito ferroviário e que foi o objectivo central desta dissertação.

5.2 – Sistema *Train Office*

5.2.1 – Introdução

É um sistema inovador que permite, em tempo real, saber a posição de cada comboio, a sua tripulação, a carga transportada e as carruagens ou vagões que o compõem. Chama-se *Train Office* ao projecto que está a ser instalado nos comboios portugueses, conjugando uma ideia simples com tecnologias sofisticadas. Trata-se de dotar todo o material circulante (locomotivas, automotoras, carruagens, vagões de mercadorias) com uma chapa identificadora parecida com as da Via Verde e embarcar a bordo um terminal de computador ligado a um satélite através do sistema GPS e que comunicará os dados aos centros de gestão pelo Rádio Solo Comboio via GSM. Desta forma será possível saber a posição exacta do comboio ao longo da linha e recolher a partir do seu interior informações sobre a sua tripulação, o atraso, as carruagens em circulação e até a carga a bordo quando se tratar de comboios de mercadorias. Entre outras coisas, o *Train Office* poderá prestar informações aos passageiros que estão no interior do comboio, nas estações, ou até em casa através da Internet, sobre o horário e eventuais atrasos. Para o operador, a gestão das tripulações e do próprio parque de material poderá ser mais agilizada devido à informação em tempo real. E, quanto

à carga a bordo, são evidentes as vantagens de se saber a cada momento por onde andam as mercadorias transportadas e quando se prevê a sua entrega aos clientes. O *Train Office* pode ser exportável, dado que mais nenhum operador ferroviário europeu dispõe de um sistema tão completo. Existem algumas experiências na Alemanha e na Inglaterra, mas que exigem muita intervenção humana. Em Portugal este sistema é pioneiro porque consegue fazer tudo dentro do comboio sem intervenção do exterior. Até ao fim de 2003, espera-se equipar 52 locomotivas e algumas dezenas de carruagens e vagões com o equipamento necessário para lançar o *Train Office* numa fase experimental. Estima-se que dentro de dois anos toda a frota da ferroviária, desde os Alfa Pendulares até à mais simples automotora que circule numa linha regional, esteja permanentemente vigiada por este sistema, que terá um centro de monitorização em Lisboa e vários centros de gestão do país. Construiu-se um mapa digital de todas as linhas férreas nacionais para poder acompanhar a circulação de todas as composições. Em resumo, o *Train Office* é um sistema de gestão abrangente que se baseia na recolha de dados em tempo real a partir dos comboios e, de um modo geral, na transmissão de voz e de dados entre os comboios e os centros de gestão. O sistema engloba as seguintes funcionalidades:

1. Apoio à gestão do material circulante (conhecimento *on-line* da localização de cada veículo, e do percurso realizado por cada veículo em determinado período).
2. Apoio à gestão de pessoal circulante (confirmação da tripulação de cada comboio e possibilidade da realização da folha de tarefas no computador de bordo).
3. Seguimento de comboios (sistema de georeferenciação – GIS – e sistema de graficagem), através da utilização do GPS desenvolvido nesta dissertação.
4. Apoio à gestão do transporte de mercadorias desde a requisição do seu transporte até à sua entrega – emissão da Declaração de Expedição e acompanhamento do percurso da mercadoria, com informação ao cliente e estimativa do prazo de entrega.
5. Impressão a bordo do Boletim de Circulação e Frenagem e cálculo dos dados do ATP.
6. Visualização do horário dinâmico no Computador de Bordo.
7. Pesquisa sobre o histórico realizado (nomeadamente no que respeita a comboios e material circulante).
8. Comunicações de voz entre os comboios e os centros, com chamada directa via número de comboio ou para o centro pretendido.
9. No futuro pretendem-se implementar processos de informação ao público, de apoio à manutenção e de transmissão de dados técnicos da mercadoria.

5.2.2 – Arquitectura geral do sistema

Na Figura 120 poderemos identificar os principais elementos da arquitectura do sistema nomeadamente:

- ▶▶ **Tag** – Identificador do vagão e da carga que transporta com possibilidade de aquisição de sinais de sensores que monitorizam o estado dos órgãos do vagão e da carga e com comunicação rádio.
- ▶▶ **Unidade de Controlo de Locomotiva** – Computador embarcado interligado ao sistema Rádio Solo Comboio com módulo de localização GPS, dispondo de comunicação GSM.
- ▶▶ **Terminal Portátil** – Terminal de introdução de dados e leitura da *Tag* a curta distância para acompanhamento da execução das operações nas gares de triagem e terminais, nomeadamente para actualização da informação armazenada nas *Tag*.
- ▶▶ **GPS** – Conjunto de satélites do sistema de localização GPS.
- ▶▶ **Servidor de Comunicações** – Computador ligado por linha dedicada para troca de dados com o Operador de Telecomunicações assegurando o envio e recepção das

mensagens trocadas entre as *Tag* e UCL (Unidade de Comando Local) com as aplicações dos Terminais de Gestão.

- ▶ **Terminais de Gestão** – Estações de trabalho ligadas em rede com o servidor de comunicações, correndo programas de tratamento da informação recolhida dos veículos de modo a permitir o desempenho das respectivas funções.

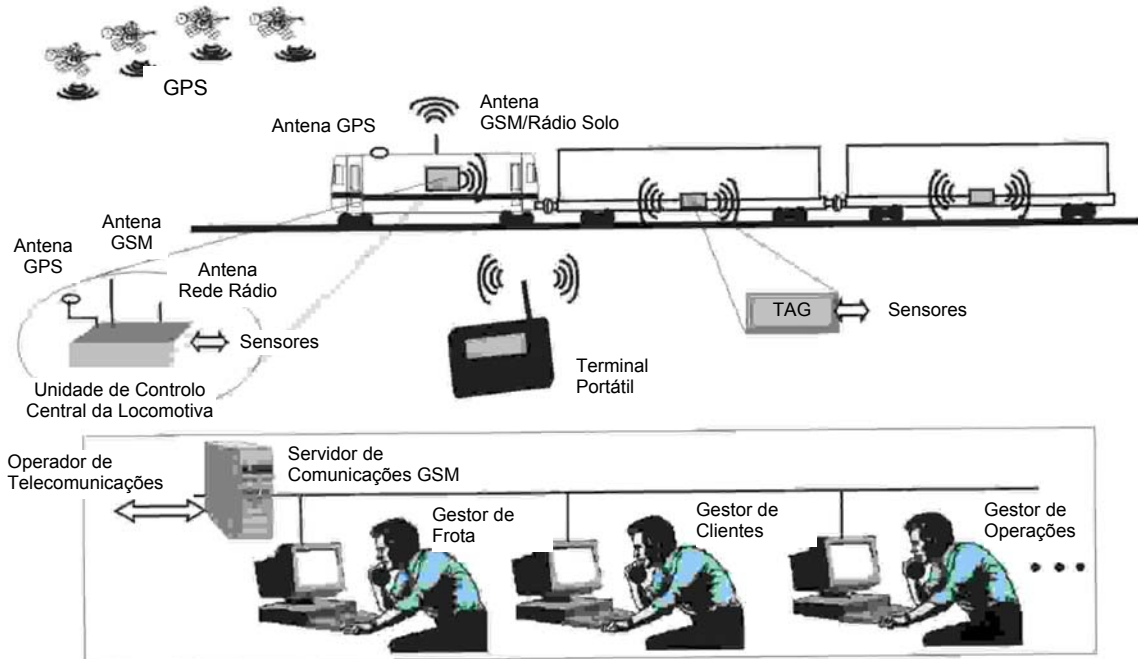


Figura 120 – Arquitectura Geral

5.2.3 – Estrutura

O *Train Office* (Figura 121) sabe com exactidão e em tempo real o posicionamento geográfico dos comboios (pelo recurso ao GPS), a sua composição (através de identificadores individuais dos veículos – *Tag*), a sua tripulação (pela utilização de cartões pessoais de identificação) e a sua mercadoria (pela Declaração de Expedição).

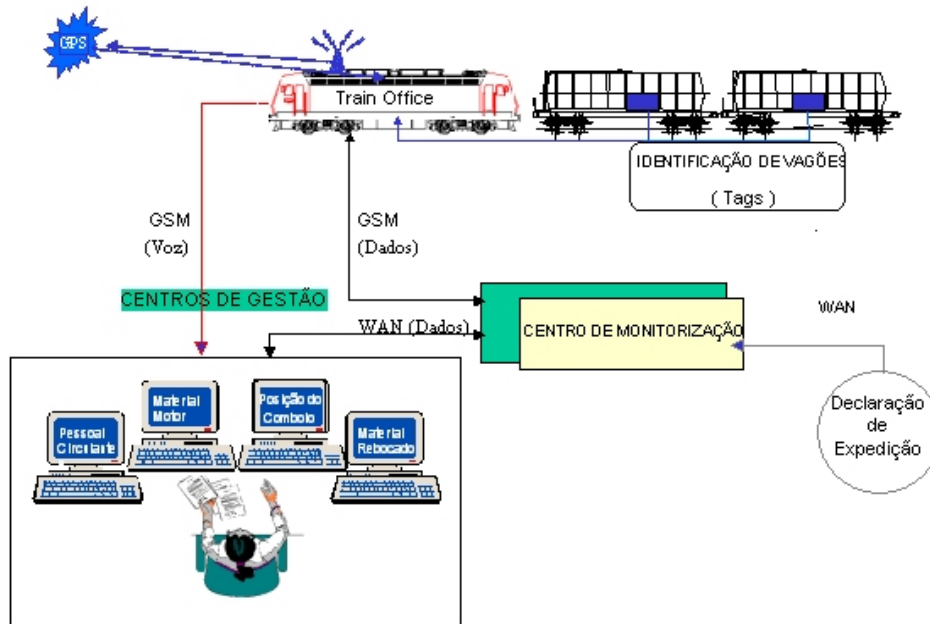


Figura 121 – Arquitectura do Sistema *Train Office*

O sistema permite a identificação dos tripulantes de cabina por forma a ser possível em qualquer momento determinar o comboio a que os mesmos estão afectos. Será também possível registar as tarefas realizadas por esse mesmo pessoal durante o seu período de serviço. Permite também fazer a associação de locomotivas a comboios indicando o seu posicionamento e função (se se tratar de composição com múltipla tracção). Sabe-se também a localização do material fora do comboio (estação em que ficou depois de efectuado o último comboio).

Todas as cabinas de condução do material motor equipadas com Rádio Solo Comboio (com GSM), serão equipadas com um computador e um leitor de cartões *contactless*, que permitirá ao maquinista e ao operador de apoio identificarem-se ao entrar numa cabina, como se pode ver na Figura 122. Existirão na 1ª fase 8 centros de gestão, em que cada um será equipado com um computador, um gravador de voz, um telefone GSM e uma UPS (Unidade de Alimentação Ininterrupta). O centro de monitorização é composto pelo servidor do sistema, por um computador de operação e pelo servidor dos gravadores dos centros.



Figura 122 – Interior de uma Locomotiva equipada com *Train Office*

Todo o material circulante envolvido (locomotivas, automotoras, carruagens, vagões de mercadorias) será dotado com duas *Tag*, a instalar nas partes laterais do veículo. As *Tag* (Figura 123) são identificadores individuais de cada veículo (locomotivas, vagões e carruagens), que terão um registo informático das suas características fixas (tara, comprimento, peso freio, etc.).



Figura 123 – *Tag*

O *Hand Held* (Figura 124) é um equipamento de pequenas dimensões que faz a leitura automática e o armazenamento dos dados recolhidos das *Tag*, por contacto local. No início do comboio o operador de apoio fará a leitura das *Tag* de toda a composição com o *Hand Held*; depois colocará o mesmo num suporte próprio junto ao computador de bordo, por forma a que a informação do *Hand Held*, que corresponde à composição do comboio, transite para o computador de bordo.



Figura 124 – *Hand Helds*

5.3 – GSM-R

5.3.1 – Introdução

As companhias de caminhos de ferro têm um número elevado de necessidades diferentes de comunicação para operação e manutenção das suas redes ferroviárias. Estas necessidades de comunicação são acompanhadas actualmente por diferentes soluções de sistemas técnicos, levando a que exista necessidades diferentes para cada serviço ferroviário, quer na transmissão de voz ou de

dados. Para além disso, alguns dos sistemas actuais já foram instalados à muitos anos atrás, levando a que estejam ultrapassados e com necessidades de serem substituídos por sistemas tecnológicos bastante mais avançados. Os modernos operadores ferroviários têm a necessidade de serem orientados para um padrão de rádio digital que cumpram as suas necessidades actuais (feitas actualmente com sistemas de rádio *trunked* e *non-trunked* ou com sistemas de fios), assim como, as suas novas necessidades, desenvolvidas a partir das ligações entre comboios internacionais, custos de imobilização e qualidade de serviço, que levem a:

- Um padrão internacional (europeu) com um mínimo de modificações nas aplicações ferroviárias.
- Ensaiai a sua operação em redes moveis públicas.
- Um custo efectivo e económico da realização e da operação.
- Uma padronização dos componentes dos sistemas de transmissão como os que são usados no mercado público (a inexistência de implementações específicas para o meio ferroviário, minimiza o investimento).
- Serviços ferroviários específicos e sistemas de transmissão rádio modernizados.
- Necessidades gerais para futuro sistema de comunicações móvel para os caminhos de ferro.
- Uma integração de todos os serviços ferroviários dentro de uma única rede de comunicações.
- Uma alta segurança e disponibilidade, assim como uma transmissão de qualidade para velocidades até 500 Km/h.
- Uma capacidade de integração suave com novos serviços definidos no futuro.

Até algum tempo atrás, a UIC considerou que uma frequência comum era o elemento chave de uma operação efectiva a nível internacional, para um sistema de comunicações ferroviárias. A banda designada para tal foi a dos 450/460 MHz, sendo esta usada pela maioria dos sistemas de comunicação ferroviários e mais nenhuma banda de frequências está disponível para receber as possíveis aplicações de rádio no futuro. Outro dos problemas é que parte das bandas de frequências usadas actualmente, só poderão ser reutilizadas depois de um considerável período de migração. A banda dos serviços móveis dos 900 MHz, demonstra ser a banda de frequências mais apropriada por várias razões, como sejam a propagação rádio e a disponibilidade de sistemas. Em consequência, a especificação da norma em vigor, da EIRENE (*European Integrated Railway Radio Enhanced Network*), foi estabelecida pela UIC. Esta especificação avalia os sistemas em crescimento como o GSM e o TETRA (*TErrestrial Trunked Radio*) na vertente da sua funcionalidade. Em 1995, a UIC seleccionou o GSM como a mais apropriada tecnologia para fazer face aos requisitos específicos do caminho de ferro. Desde essa altura, o GSM, assim como outros sistemas, tiveram consideráveis avanços, em direcção às funcionalidades pretendidas. De facto, o GSM tem actualmente mais de 180 redes globais em aproximadamente 100 países. Com cerca de 70 milhões de assinantes móveis, tendo uma taxa de crescimento de 50%, leva a que, actualmente e sem qualquer dúvida, seja o GSM o líder mundial nos sistemas de comunicação móveis, assim como nos próximos tempos.

Em 1995 o ETSI reservou duas bandas de frequências internacionais de 876 – 880 MHz (MS, *uplink*) e 921 – 925 MHz (BS, *downlink*) para os sistemas EIRENE em TR 25-09 (a partir de agora designada por banda do GSM-R). Assim a exigência chave para o tráfego internacional está garantida. Na Figura 125 é mostrado a alocação destas frequências na banda dos 900 MHz.

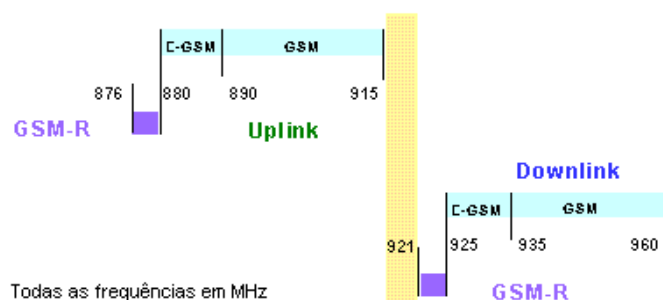


Figura 125 – Alocação de Frequências na Gama dos 900 MHz

A UIC também criou vários requisitos para novos serviços a incluir no sistema GSM, sendo pontos de trabalho no ETSI SMG (*European Telecommunications Standards Institute – Special Mobile Group*), para cumprir com as exigências do sistema ferroviário de rádio móvel. Estas exigências de serviços, foram normalizadas com o GSM – Fase 2+.

Em 1997, a UIC EIRENE constituiu um MoU (*Memorandum of Understanding*), com o objectivo de introduzir o GSM-R nas suas instituições filiadas que tenham pelo menos, tráfego internacional. Este MoU foi aceite até agora por mais de 30 membros da UIC. A introdução do GSM-R nestes países e nomeadamente nos caminhos de ferro é um facto consumado, que teve o seu início desde 1998.

5.3.2 – GSM-R: A solução preferencial, validada e especificada pela UIC

A escolha do GSM-R pela comunidade ferroviária foi motivada pelo seu forte potencial em:

- Suportar numerosas aplicações, devido ao carácter de rede da ISDN.
- Obter interoperacionalidade entre redes de comunicação ferroviária.
- Uso eficiente de recursos (frequências de rádio, cablagem, etc.).
- Reduzir os custos de aprovisionamento (um só sistema, leva a existir um mercado adicional para os fornecedores de GSM).
- Redução dos custos de manutenção (serviços de logística e de organização só para um único sistema).
- Disponibilidade para evoluções técnicas (tecnologia num “estado da arte”).

A definição e normalização dos requisitos, que definem o GSM são provenientes das aplicações pretendidas e de acordo com a fase 2 e 2+ da normalização do GSM. Esta situação envolveu organizações e entidades ferroviárias, o ETSI e parceiros industriais (Figura 126).

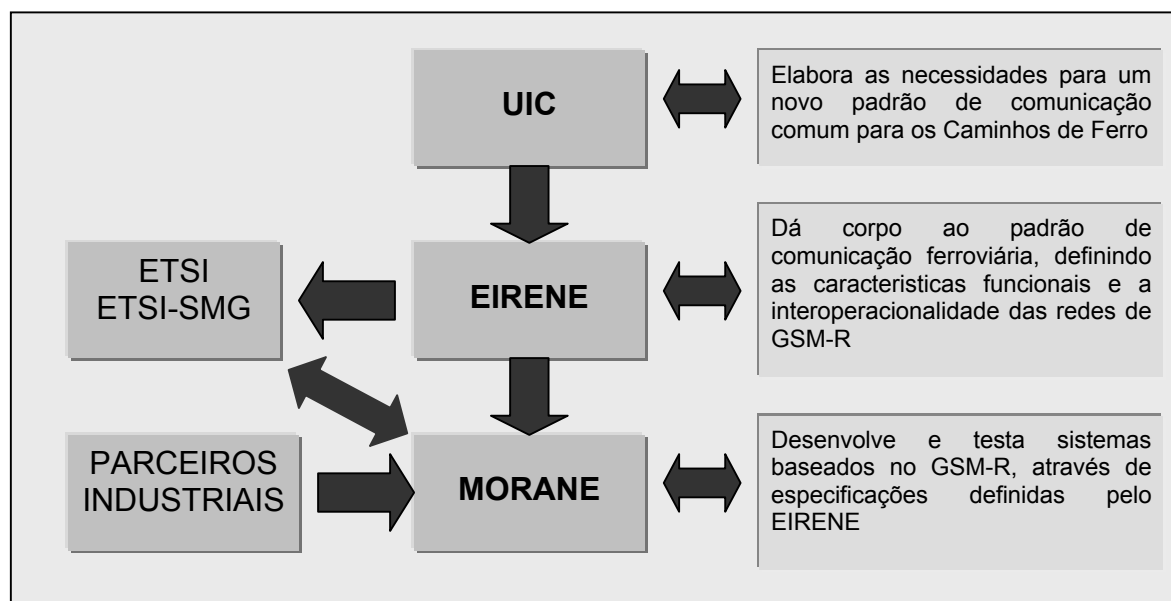


Figura 126 – Fluxograma para Especificação e Validação do GSM-R

A função dos operadores ferroviários no EIRENE é a definição dos requisitos para o GSM-R e as necessidades funcionais que garantam a interoperacionalidade entre as diferentes redes de comunicação ferroviária.

O MORANE (*MOBILE RADIO FOR RAILWAYS NETWORKS IN EUROPE*) é um consórcio de operadores ferroviários, fabricantes de elementos para o GSM e organizações de investigação. O objectivo do projecto MORANE e dos seus ensaios localizados é o de especificar, desenvolver, testar e validar protótipos para uma rede de GSM-R, de modo a assegurar a globalidade dos requisitos, encontrados como necessários, no sistema de comunicações ferroviário. O período de validação ficou completo no final de 1999.

Ambas as instituições, EIRENE e MORANE, elaboraram uma série de especificações que permitem aos operadores ferroviários obter, individualmente, uma operação plena e validarem os novos produtos do sistema GSM-R.

5.3.3 – Geral

As necessidades funcionais dos sistemas de comunicação ferroviários podem ser divididos em duas secções:

- Requisitos da EIRENE, normalmente definidos pelos transportes ferroviários Europeus.
- Requisitos específicos, provenientes das necessidades de cada operador ou país.

O objectivo principal da UIC é o uso da banda do GSM-R para realizar comboios internacionais de alta velocidade, atravessando fronteiras terrestres sem necessidade de alteração de equipamentos. Para o conseguir, cada operador ferroviário, individualmente, teve de negociar com as entidades reguladoras nacionais de telecomunicações, a reserva desta banda de frequências.

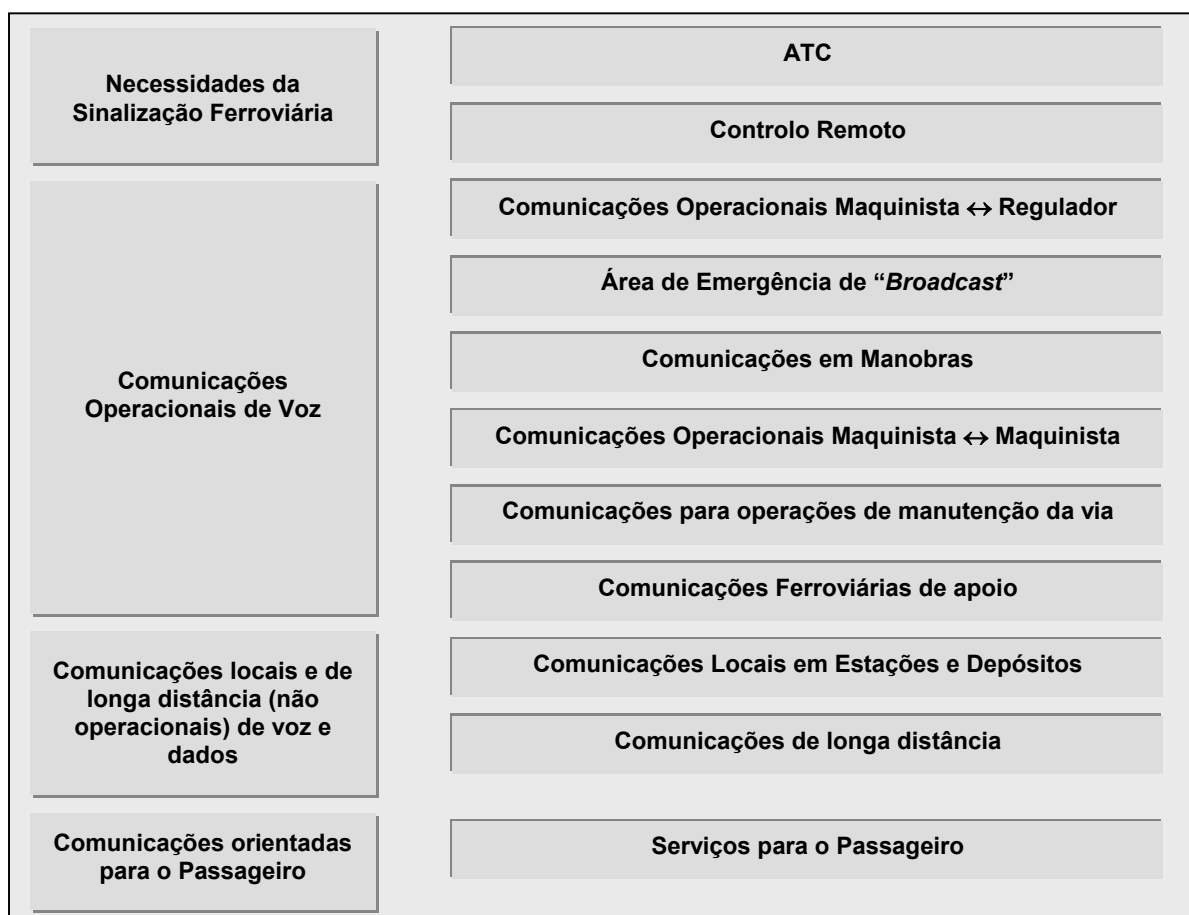


Figura 127 – Aplicações do GSM-R, identificadas pelo EIRENE

Contudo, as bandas de frequências livres para o uso do GSM-R, podem diferir nalguns países, individualmente (especialmente nos países não membros da UIC), devido a regulamentos nacionais (por exemplo, a banda do GSM-R estar ocupada por sistemas de telecomunicações militares, ou de segurança nacional, etc.). Existindo a necessidade das frequências do GSM-R serem coincidentes e devido ao facto anteriormente mencionado, leva à necessidade da existência de realização de acordos. Se as frequências estiverem fora da banda do GSM-R, as aplicações do GSM serão possíveis, mas quando o tráfego se fizer através de uma fronteira terrestre poderá ficar sem funcionar devido a diferentes limites de frequência.

5.3.4 – Aplicações do GSM-R, definidas normalmente pelo EIRENE

As necessidades de comunicação, foram estudadas e identificadas pelos representantes dos operadores ferroviários europeus e com todas as aplicações que permitem uma operação económica das comunicações ferroviárias actualmente e no futuro. Na Figura 127 apresentam-se as aplicações do GSM-R que foram identificadas pelo EIRENE.

5.3.5 – GSM-R: Sistema de comunicações ferroviárias para o presente e para o futuro

5.3.5.1 – A rede de GSM-R e a sua estrutura

Devido ao facto, de o GSM-R ser baseada nas recomendações da fase 2 e 2+ do GSM, todas as principais configurações e descrições de interface não serão descritas aqui. A informação da funcionalidade do GSM convencional, é suposta como a que foi especificada na ETSI SMG, para a fase 2 e 2+, mas será completada de acordo com as necessidades surgidas. A estrutura básica da arquitectura de uma rede PLMN – *Public Land Mobile Network* (GSM) *standard* com as suas interfaces, é mostrado na Figura 128.

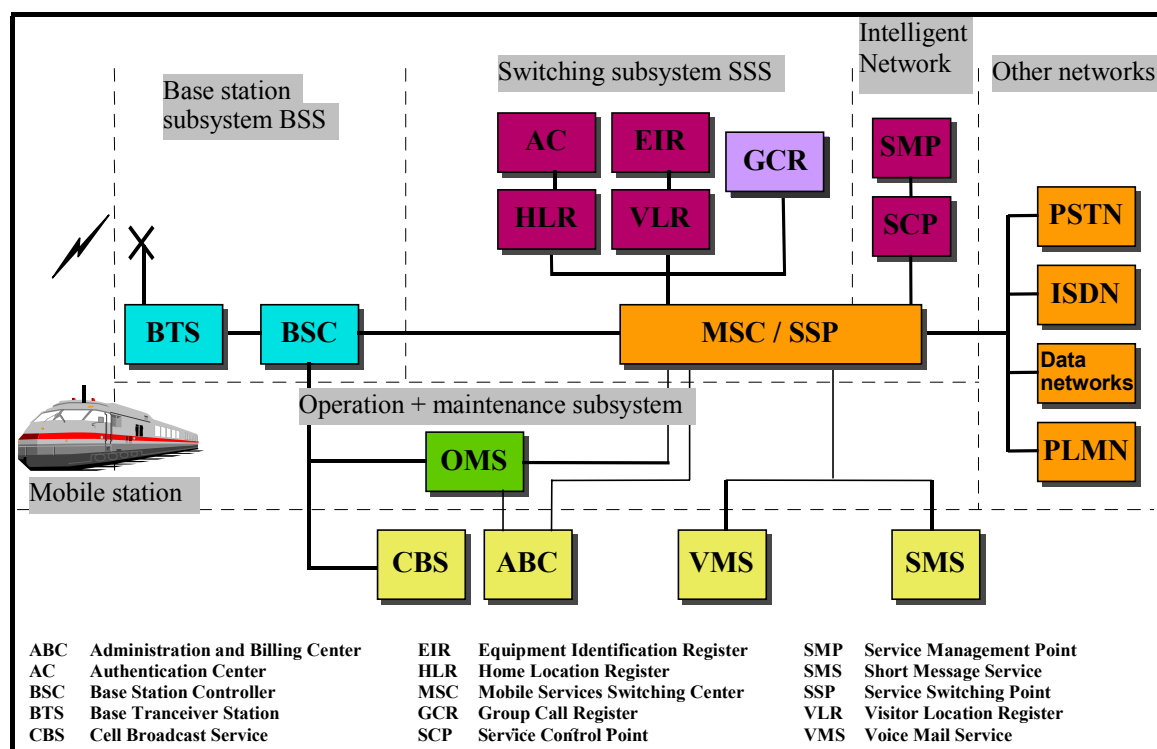


Figura 128 – Arquitectura completa do sistema GSM

O SSS (*Switching SubSystem*) é baseado no sistema de comutação digital com mais sucesso mundialmente: EWSD (*Elektronisches WahlSystem Digital – Digital Switching System*). Todas as funções de registo, como o VLR, HLR, EIR e GCR são realizadas como implementações de algoritmos na plataforma EWSD. Isto dá aos operadores a oportunidade de seleccionar flexivelmente a estrutura do nó do GSM, dependendo do crescimento da rede e da estrutura organizacional. Na maior parte dos casos o MSC, o VLR, o EIR e o GCR serão instalados num único elemento da rede e o HLR e o AC num segundo elemento. Claro que num sistema ferroviário, poderá seleccionar-se a instalação dos MSC/VLR/EIR/GCR/SSP/HLR/AC combinados e fraccionar elementos da rede dedicada, com o futuro crescimento da rede. Isto inclui um bom custo efectivo e uma simpática manutenção da rede à saída. Usando elementos das redes públicas de comunicação móvel, garante-se um sistema de alta rentabilidade porque a redundância de *hardware* e as funções algorítmicas, para o tratamento de erros de *hardware* e de programação, estão já incluídos. Também estes elementos, estão largamente difundidos e tecnologicamente comprovados através do seu uso nas redes públicas ao longo de vários anos. Organizações de manutenção e canais de distribuição estão disponíveis e não serão necessários serem estabelecidos para as necessidades ferroviárias actuais. Isto é manifestamente uma redução do esforço de operação e de manutenção, para o operador.

A estrutura de uma rede típica de GSM/GSM-R, baseada para a rede ferroviária, basicamente, não difere muito de uma rede PLMN normal e das suas extensões, em termos de elementos da rede, interfaces normalizadas e ligações. O modelo optimizado de frequências reutilizáveis para aumentar a capacidade da rede, as microcélulas em áreas com elevada densidade (como em estações ferroviárias) e as soluções de cobertura com *handover* sensível às velocidades, estão na base da introdução do GSM público e assim, poderá só ser ligeiramente modificado para o uso ferroviário específico. Existem diferenças na forma e no projecto da rede, devido às necessidades especiais, das redes ferroviárias. As necessidades especiais das redes de GSM-R, são devido às seguintes exigências das aplicações, usando o GSM-R:

- Comunicações sem falhas para velocidades até aos 500 Km/h.
- Uso eficiente de um número limitado de frequências (20).
- C/I (*Carrier to Interference ratio*) de 12 dB mínimo (o EIRENE exige 15 dB).
- 95% de cobertura para 95% do tempo numa cobertura da rede específica, com um nível superior a -90 dBm.
- Uma relação do sucesso do *handover*, superior a 99,5%, mesmo entre redes GSM-R.
- Disponibilidade da utilização elevada, de ambos os caminhos de transmissão e equipamento de rede dependente das aplicações em uso.
- Cobertura dentro dos túneis.
- Melhoria da cobertura nas estações ferroviárias e nas zonas/áreas de manobras.
- Tempo de estabelecimento da chamada, como os abaixo indicados, em 95% de todos os casos, ficando 5% em menos do que 1,5 vezes o período de tempo descrito (Tabela 13).

Classe	Tipo de Chamada	Tempo de Estabelecimento da Chamada
Classe I	Chamada de Emergência Ferroviária	≤ 1s
Classe Ia	Chamada de Grupo urgente de Móvel para Móvel	≤ 2s
Classe II	Todas as operacionais cobertas pelas acima mencionadas	< 5s
Classe III	Todas as chamadas de baixa prioridade	< 10 s

Tabela 13 – Tempos de estabelecimento de chamadas definidos pelo EIRENE

Estas exigências são mais ou menos aplicáveis para os diferentes tipos de aplicação do GSM-R.

Tipicamente, a rede de GSM-R é projectada com várias células elípticas, ao longo da via, com antenas direccionais, orientada na direcção da via. Dentro das estações ferroviárias, é exigido um aumento do tráfego (“pontos quentes”), enquanto que as necessidades em termos de velocidade, são reduzidas. Por isso, tipicamente, em estações ferroviárias maiores, teremos células sectorizadas. Em áreas menos populacionais, com vias de baixa velocidade e ligações de autocarro, apenas se necessita, em média, de uma ligação de voz. Estas células podem radiar, como células omnidireccionais (áreas rurais sem o ETCS).

Para garantir a cobertura, a possibilidade de utilização e o acesso necessário, pelo menos para o ATC, o rádio-comboio e o grupo de comunicações, para as principais vias ferroviárias, uma rede especial de rádio, com cobertura de rádio optimizada para cada célula terá que ser realizada ao longo das vias.

A linhas ferroviárias regionais e autocarros de serviço ferroviário podem, ou usar o GSM público ou deverão ser incluídas dentro da rede do GSM-R, passo-a-passo, para manter o investimento em níveis razoáveis. Por este motivo, a planificação das frequências terá de ser cuidadosamente ajustada, para permitir uma cobertura optimizada em ambos os casos, para o tráfego de longo curso, assim como, redução da cobertura para as linhas ferroviárias regionais, evitando assim a interferência intercelular.

Estrutura típica de um rede de GSM-R

Como resultado do critério, anteriormente mencionado, a arquitectura típica de uma rede de GSM-R, em ambos os sistemas SSS e BSS (*Base Station Subsystem*) usam redundâncias dadas como disponíveis, da tecnologia do GSM existente. Posteriormente, alguns conceitos adicionais serão implementados, como se demonstra de seguida. A Figura 129 e a Figura 130 mostram estruturas realizadas com a tecnologia existente e comum às redes públicas e na Figura 131 mostra-se uma proposta de estrutura com medidas de segurança muito elevadas, que se encontra em desenvolvimento.

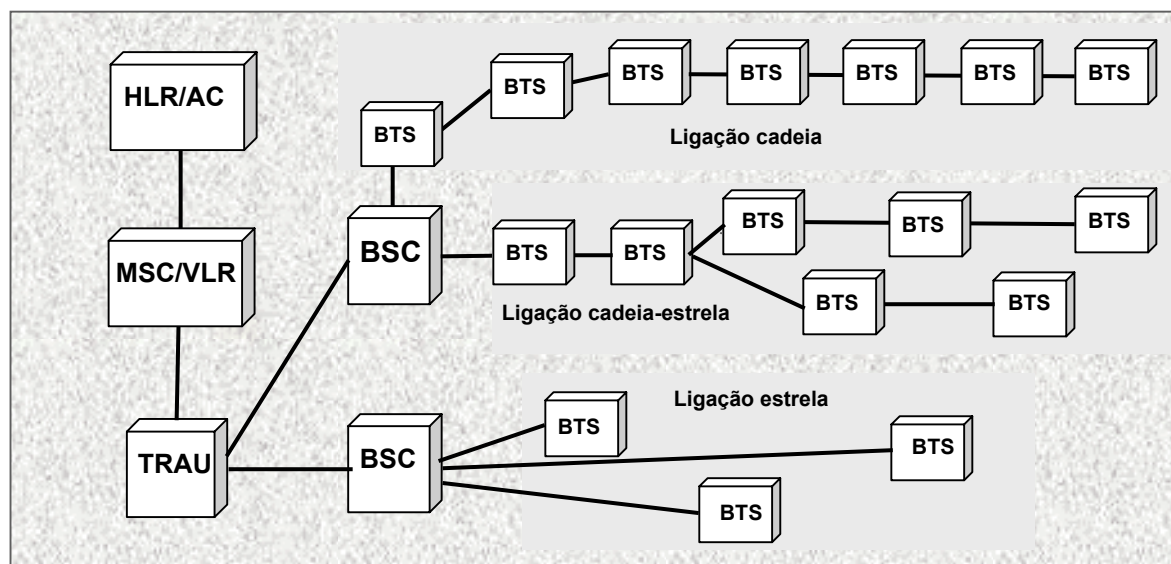


Figura 129 – Arquitectura do GSM-R, para vias de baixa velocidade e áreas rurais

Ligação em estrela: As BTS estão ligadas ao BSC, numa ligação em estrela. Este tipo de ligação aplica-se especialmente para BTS sectorizadas com diversas portadoras.

Ligação em cadeia: As BTS estão ligadas ao BSC, sequencialmente, numa ligação em cadeia. Sempre que uma BTS falhe ou a ligação A_{bis} (interface entre o BSC e a BTS) esteja com problemas, um comutador de relés, através do PCM30, liga-se à próxima BTS. O comutador de ligação será comutado, sem falhas para a ligação.

Ligação em cadeia-estrela: As BTS estão ligadas ao BSC, numa ligação em cadeia-estrela, sequencialmente. As primeiras duas BTS estão ligadas em cadeia; depois da segunda BTS, existem várias cadeias ligadas em estrela. A vantagem está numa melhor utilização dos cabos de comunicação ferroviária, existentes. Finalmente, em caso de falha da BTS, ou da ligação, é igual ao primeiro tipo de ligação descrito.

Para os casos anteriormente descritos, o caminho crítico é sempre o cabo de ligação das BTS. Uma vez que, a segurança quer do fio de cobre, quer do cabo de fibra óptica, em combinação com a necessária terminação da linha (quer seja NTPM (*Network Termination Point Module*), Modem-HDSL (*High speed Digital Subscriber Line*) ou *Drop-in-Drop out-multiplexer*), não é necessariamente tão alta como numa BTS e num BSC, e mesmo que, exista uma segurança da BTS muito alta, não iria aumentar o prazo de utilização do sistema.

Por isso, em aplicações ferroviárias, com exigências elevadas de segurança, far-se-á uso de uma arquitectura em *loop* multi-sequencial. Além disso, a interligação das BTS em dois *loops* diferentes diminuirá as consequências de uma simples falha, de uma BTS ou de um BSC.

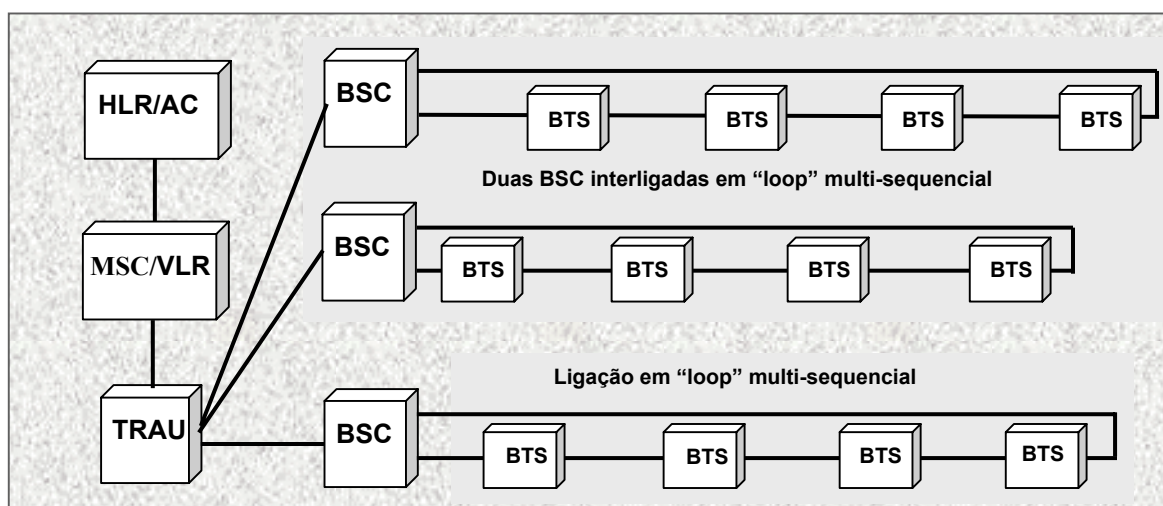


Figura 130 – Arquitectura do GSM-R, para vias equipadas com o ETCS

Ligação em *loop* multi-sequencial: As BTS estão ligadas num *loop* multi-sequencial. Fisicamente, poderão ser ligadas dessa maneira num *loop*, até 7 BTS. Por razões de segurança, só 4 BTS estão ligadas. Se agora a ligação da frente falhar, a BTS irá comutar, sem falhas, para a ligação da retaguarda. Isto significa que as chamadas em linha não cairão, pela perda de uma ligação na transmissão.

No caso prescrito, o risco do cabo, como sendo o caminho crítico, é reduzido. O operador pode agora escolher entre ligar dois cabos dedicados, mesmo que separados por um cabo blindado (solução de segurança), ou usando, ligações lógicas no anel da fibra óptica PDH (*Plesiochronous Digital Hierarchy*)/SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) (solução económica).

Dois BSC interligadas em *loop* multi-sequencial: As BTS estão ligadas a dois BSC diferentes em *loop* multi-sequencial, interligando-se uma a uma, entre si.

No caso prescrito, ambos os riscos de falha do cabo e falha da BTS ou do BSC são reduzidos. Com um adequado planeamento da rede, estas células interligadas, podem ser planeadas quer como uma rede de *overlay/underlay*, usando a HCS (*Hierarchical Cell Structure*), com características comprovadas, ou como células vizinhas.

Todos os casos acima descritos, são tipos de ligações não modificadas, possíveis com o GSM da fase 2. Para receber, regularmente, com uma segurança elevada sem um único ponto de falha, no interior do GSM-R, a seguinte arquitectura deverá ser seguida, ou seja, uma estrutura de rede totalmente duplicada.

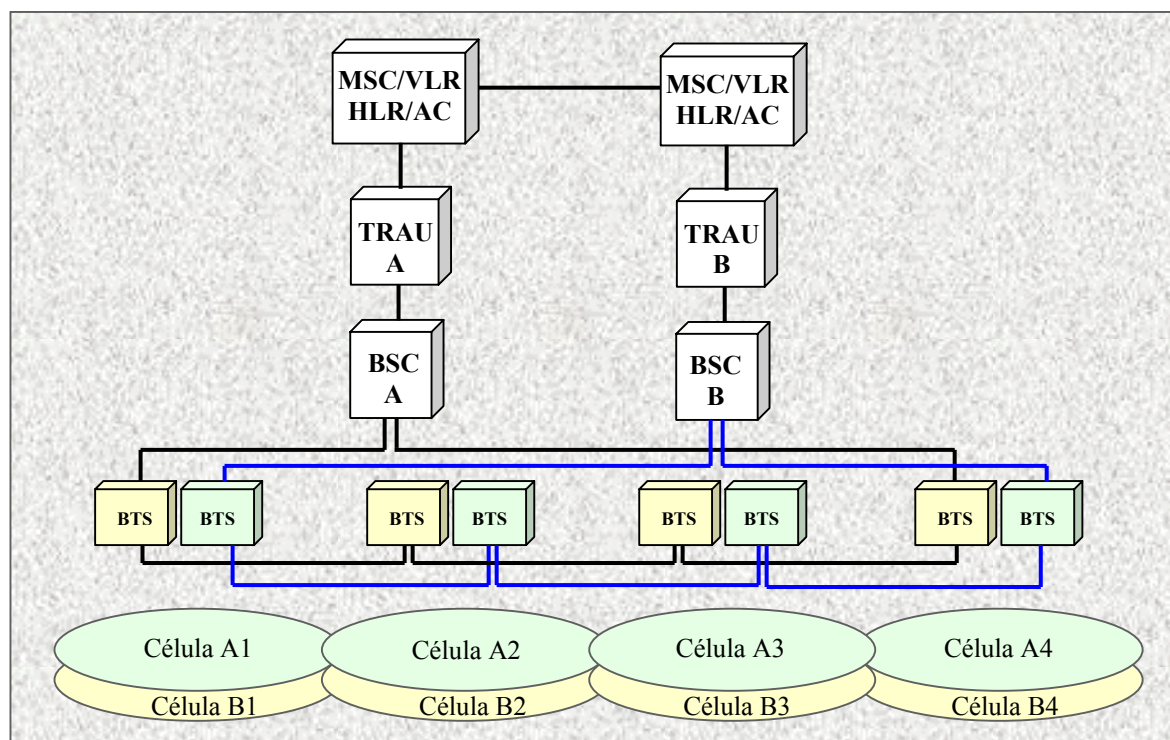


Figura 131 – Estrutura de rede totalmente duplicada, com células de rádio *overlay*

O caso sugerido e mostrado na Figura 131, opera com uma estrutura de rede totalmente duplicada, quer com células de rádio seguidas ou alternadas. Estes dois “níveis” de rede, permitem a existência de redundância, devido a necessidades de segurança. No entanto terá de ser definido os seguintes parâmetros, com o cliente/operador respectivo.

- Prioridade da célula A1 ou B1.
- Utilização de outros parâmetros hierárquicos de células.
- Administração de subscritores.
- Distribuição de potência.

5.3.5.2 – Exigências de qualidade do GSM-R

As exigências de qualidade do GSM-R são baseadas nas recomendações de QoS (*Quality of Services*), dos parâmetros do GSM. Uma vez que, estes não estão definidos com muito detalhe e aplicações ferroviárias diferentes, necessitam de diferentes QoS, a definição da QoS no meio ferroviário é um processo em estudo, em ambas as organizações do EIRENE e MORANE, assim como, entre os operadores ferroviários e fornecedores. As exigências de QoS, mencionadas na

Tabela 14, para um ETCS mais rígido, estão em parte aprovadas pelo MORANE e submetidas para validação. As exigências da QoS para outras aplicações ferroviárias, estão abaixo destes valores.

Parâmetros de Qualidade	Valor Pedido	Probabilidade
Tempo de estabelecimento da chamada	6 s	95 %
Probabilidade de falha no estabelecimento da ligação	1 %	100 %
Falhas de transmissão	10^{-4} /h	100 %
Atraso na transferência de dados	450 ms	100 %
Duração das falhas de transmissão	1 s	100 %
Tempo de recuperação (sem distorção)	7 s	100 %
Coefficiente de erro	10^{-3} /h	100 %

Tabela 14 – Parâmetros de QoS para o GSM-R (ETCS)

5.3.5.3 – Exigências de planeamento da rede de GSM-R

O planeamento da rede de comunicações para redes ferroviárias, tem de ter em conta, especialmente, os seguintes critérios.

Aplicações de GSM-R e modelos de tráfego resultante: Os modelos do tráfego, das redes ferroviárias, diferem dos da rede móvel pública. Os subscritores terão uma maior BHCA (*Busy Hour Call Attempt*), SCI (*Subscriber Controller Input*) e ainda um tempo de conversação mais longo. Aplicações, como o ETCS, ainda necessitarão de um canal de tráfego durante a viagem completa do comboio. Por seu turno, o número de subscritores é bastante baixo, em comparação com a PLMN. Características como o ASCI (*Advanced Speech Call Item*), o VGCS (*Voice Group Call Service*) ou o VBS (*Voice Broadcast Service*) terão algum impacto para o modelo de tráfego.

Requisitos para a possibilidade de utilização: Como já foi mencionado, a disponibilidade de utilização do canal rádio é um dos critérios chave para o GSM-R, especialmente se o ETCS for considerado. Por isso, estruturas de rede redundante, têm que ser construídas, onde quer que sejam realmente necessárias.

Topologia ferroviária: Uma típica topologia ferroviária inclui terreno plano e montanhoso. As tradicionais vias ferroviárias têm diversas curvas, mas com a construção de novos troços, está-se a tentar evitar as curvas.

Velocidade do comboio: Dependendo da máxima velocidade prevista para o comboio, o comprimento das zonas de *handover* necessitam de ser planeadas com muito cuidado.

Facilidades da transmissão e de sites: Em muitos casos, os operadores ferroviários, já têm facilidades de transmissão e *sites* das tradicionais redes analógicas, anteriormente construídas. Para reutilizar esses *sites*, um conceito de migração necessitará de ser estabelecido.

Zonas de handover: As zonas de *handover* não deverão ter uma área elevada ou atingir uma posição do RBC (*Radio Block Center*). Dentro das estações ferroviárias deverão ser reduzidas ao mínimo.

Cobertura rádio

O planeamento da rede de rádio, depende principalmente dos dados geográficos e morfológicos do terreno. Assim, uma cobertura básica, poderá ser sempre calculada com modelos existentes, usando mapas digitais, da respectiva área. Estes modelos necessitam de ser ajustados para o sector ferroviário e chegar às elevadas probabilidades de localização.

Um mapa típico de cobertura para a ferrovia, poderá ser visto na Figura 132. A área a negro mostra o nível de -85 dBm (cobertura do comboio), mas mesmo as áreas vizinhas, mais brilhantes, são suficientes para uma cobertura normal de um portátil.

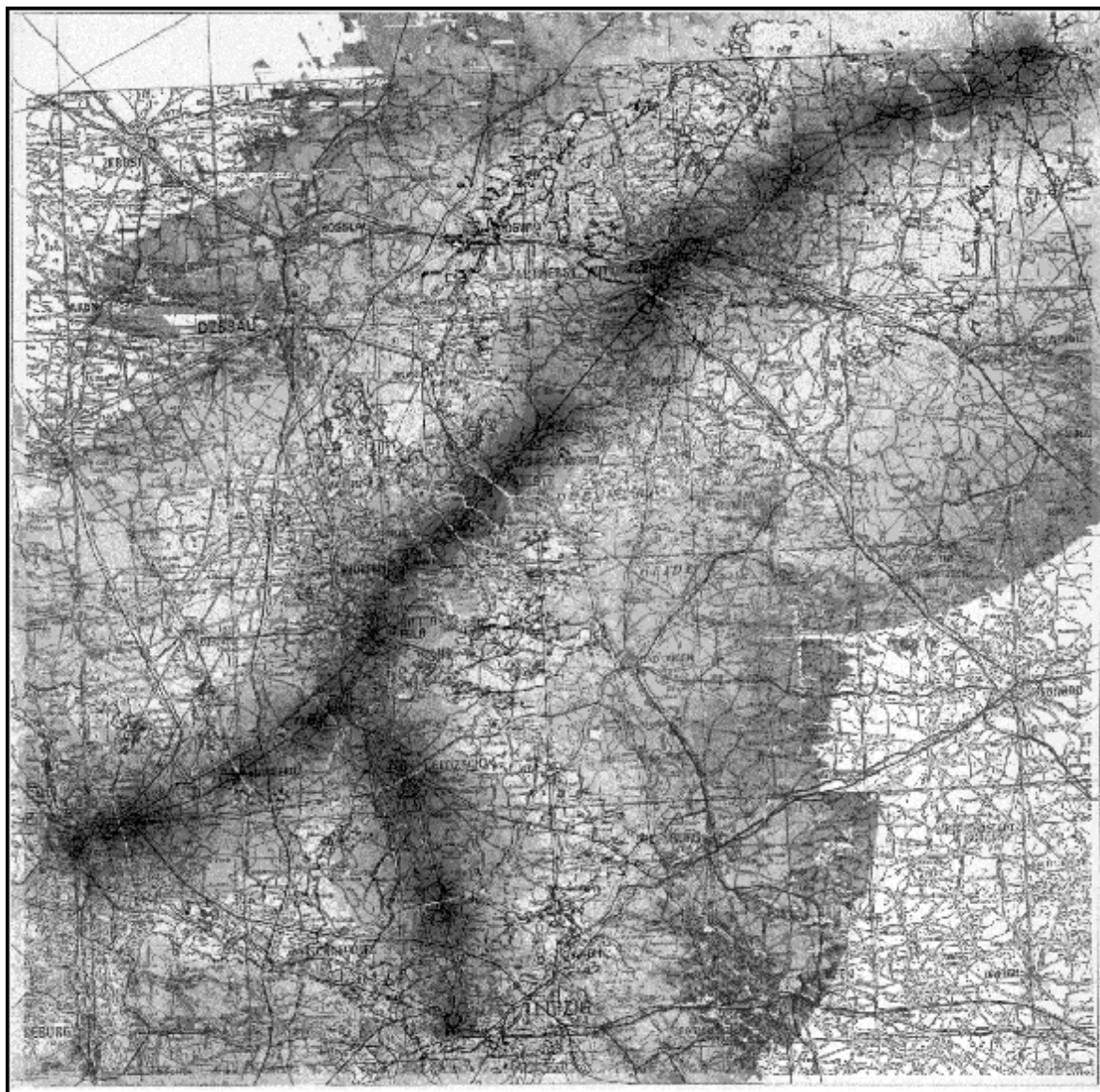


Figura 132 – Mapa de um planeamento típico de uma rede de rádio

Cuidados terão que se ter com zonas não cobertas e com interferências (co-canal e canal adjacente). Zonas não cobertas poderão ser suprimidas quer com localizações optimizadas para BTS e/ou antenas. Onde isto não resolva o problema, repetidores adicionais poderão ser usados.

5.3.5.4 – Redes de ensaio com o GSM-R

As redes de ensaio (DIBMOF-Valid na Alemanha e MORANE em França, Alemanha e Itália) já foram completamente montadas (DIBMOF-Valid) ou estão em funcionamento desde 1997 (MORANE), como se pode ver na Tabela 15. Como já foi dito, anteriormente, o objectivo destes projectos é de testar e validar a cobertura (especialmente em túneis e em terrenos difíceis), das aplicações definidas pelo EIRENE/MORANE, assim como, as condições de funcionamento da alta velocidade, para ambas as transmissões de voz e dados.

País	Operador Ferroviário	Origem / Destino	Elementos da Rede	Estado
França	SNCF	Gare de Chessy (direcção Lion) – Roissy PRCI (Paris) – Monchi CAI (direcção Lille)	1 MSC/VLR/HLR/AC, 1 TRAU, 1 BSC, 3 BTS	Ensaio MORANE desde 1997
Alemanha	DBAG / Mannesmann ARCOR	Estugarda – Mannheim	1 MSC/VLR/HLR/AC, 1 TRAU, 1 BSC, 11 BTS	DIBM válido desde 1995. Ensaio MORANE desde 1997
Itália	FS	Prato – Firenze SMN – PJ Arezzo	1 MSC/VLR/HLR/AC, 1 TRAU, 1 BSC, 19 BTS	Ensaio MORANE desde 1997

Tabela 15 – Redes de ensaio MORANE

5.3.6 – Características e aplicações

5.3.6.1 – Características fornecidas pelo GSM normalizado

A maior parte dos agentes ferroviário, já estão equipadas com móveis de GSM normalizado, de diferentes operadores de PLMN. Assim, os serviços do GSM fase 2, já estão disponíveis para eles, dependendo quais os serviços é que foram subscritos. Até agora o principal uso, é para aplicações de voz, tais como, comunicações solo-comboio. Este uso do GSM para trabalhadores ferroviários, não é muito satisfatório.

- O tempo que está em linha terá de ser pago a um operador de PLMN, aumentando assim, o custo para comunicações da organização ferroviária e o serviço é pobre e não é seguro devido à fraca cobertura da via ferroviária.
- Por outro lado, o principal uso é para comunicações de voz puras, o que não aumenta, nem satisfaz a aplicação desse tipo de comunicação nas organizações ferroviárias. Para além disso, o GSM oferece teleserviços poderosos, serviços de apoio e serviços suplementares, que estão normalmente desactivados.

Mesmo sem a introdução do GSM-R, os operadores ferroviários podem já ter benefícios do GSM. Várias aplicações, podem facilmente ser baseadas no GSM fase 2, quer na banda de frequências do GSM público ou na banda de frequências do GSM-R (ou mesmo, numa mistura de ambos). Quando introduzido, o GSM-R manterá disponíveis as características de fundo para os operadores ferroviários e terá características e funções adicionais, como especificado pelo EIRENE/MORANE.

5.3.6.2 – Conjunto de características adicionais e aplicações GSM-R

Adicionalmente às características do corrente GSM, o EIRENE/MORANE definiu características e funcionalidades que serão descritas seguidamente:

Função	Característica	Aplicação	Implementado em:
Banda de Frequências do GSM-R	Deslocamento na frequência	Banda de frequências do EIRENE para tráfego internacional	BTS
	Numeração do canal de acordo com o GSM - Fase 2+	Operação na banda de frequências do EIRENE e banda de frequências do GSM padronizado	BSC
Equalizador desenvolvido para o GSM-R	Equalizador para alta velocidade	Funcionalidades do GSM para móveis com velocidades máximas de 500 Km/h	BTS
Endereçamento dependente da localização	Encaminhamento orientado por células para números de marcação rápida	Encaminhamento das chamadas originadas no comboio, dependendo da localização do mesmo	MSC/VLR e HLR/AC, planeado para uma IN
Endereçamento funcional	De seguimento (Follow Me)	Números funcionais para cada função do comboio, de acordo com o plano de numeração da EIRENE	MSC/VLR e HLR/AC, planeado para uma IN
Visualização de números funcionais	UUS.1, MOC e MTC	Visualização do número funcional, em vez do MSISDN, transporte de informação adicional	MSC/VLR
Chamada de Voz de Broadcast	Sistema de Chamada de Voz de Broadcast ASCII de acordo com o GSM – Fase 2+	Comunicação típica de trunked rádio, ponto para multiponto, 1 emissor (MOC ou MTC), vários receptores. Será usada principalmente para chamadas de emergência ferroviária	MSC/VLR, HLR/AC, BSC e BTS, novo algoritmo de registo GCR no MSC
Chamada de Voz de Grupo	Sistema de Chamada de Voz de Grupo ASCII de acordo com o GSM – Fase 2+	Comunicação típica de trunked rádio, ponto para multiponto, vários expedidores (MOC ou MTC), vários receptores, emissor seguinte. Será usado para: - Chamadas ferroviárias de emergência - Comunicações entre a equipa de manobreadores - Operações de manutenção da via	MSC/VLR, HLR/AC, BSC e BTS, novo algoritmo de registo GCR no MSC
Estabelecimento Rápido de Chamada	Estabelecimento rápido de chamada dependendo da prioridade	Estabelecimento da chamada inferior a 1 segundo, conforme especificado pelo EIRENE, para chamadas ferroviárias de emergência	MSC/VLR, HLR/AC
Serviços Prioritários	eMLPP de acordo com o GSM - Fase 2+	Gestão dos níveis de prioridade de acordo com o EIRENE, isto é, pré-reserva de canais de tráfego de baixa prioridade para o ETCS e chamadas ferroviárias de emergência no caso de todos os canais de tráfego estarem ocupados	MSC/VLR, HLR/AC, BSC e BTS, novo elemento de rede GCR
	MLPP como especificado para a ISDN	Mapeamento do eMLPP do GSM para diferentes equipamentos como PABX, telefones e terminais ISDN	Workstation do Regulador, PABX
Centro de confirmação	Desenvolvido pelo ICN VD	Confirmação da VBS e VGCS de subscritores individuais dedicados aquela chamada através de uma identificação do utilizador	PABX, ISDN-PC
TK-Box	Desenvolvido pela Siemens Transportation Systems	Para distribuir chamadas GSM-R no comboio para diferentes utilizadores (aumenta a eficiência do canal)	

Tabela 16 – Características adicionais para o GSM-R

A – Controlo Automático de Comboios

O novo sistema internacional interoperativo de controlo automático de comboios é uma iniciativa europeia, nascida a partir do objectivo de definir e introduzir um tráfego inter-europeu e um sistema de comando/controlo do comboio. As organizações encarregadas para tal, são as que se encontram na Figura 133.

O ETCS será implementado como padrão dentro do ERTMS. É um sistema ATP/ATC modular harmonizado, que usa o GSM-R como sistema de transmissão. Uma portadora padrão, será usada para transmitir dados entre os computadores móveis e fixos do ATC. Esta ligação de transmissão é, olhando para um critério de segurança, um canal “cinzento”, porque quer dizer que o equipamento ETCS (de “segurança”) usa o GSM, como uma camada de transporte (“sem segurança”).

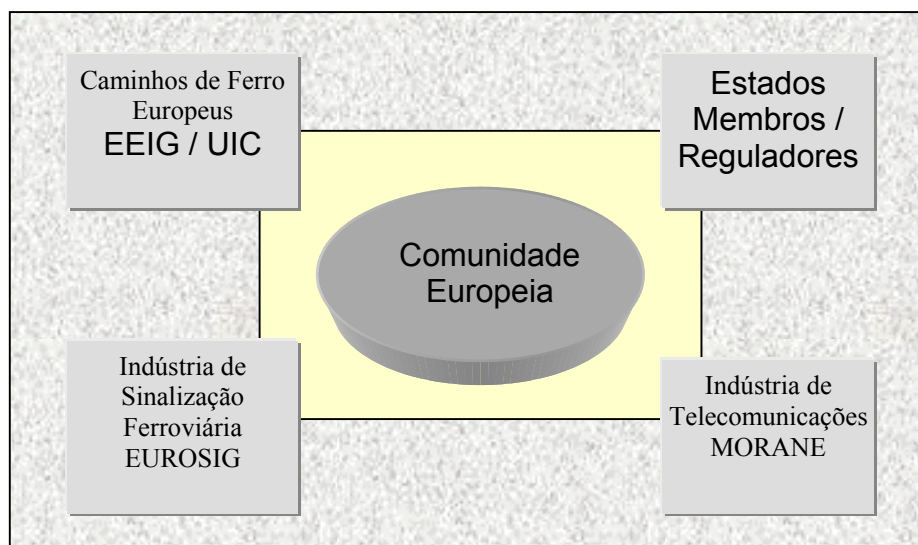


Figura 133 – Participação das diversas organizações, no ERTMS

No entanto esta camada de transporte (“sem segurança”) usa princípios de lógica redundante e protege a informação do ETCS, de erros aleatórios e sistemáticos. Assim o GSM-R, não necessita de *hardware* seguro. Protecção contra ataques maliciosos, são possíveis através do uso de mensagens cifradas, mas depende da decisão do operador ferroviário.

A segurança dos dados é realizada e controlada pela aplicação de algoritmos nos computadores do ATC, com um algoritmo MAC (*Message Authentication Code*) de 64 bits. Protecção contra a perda de dados é realizada, utilizando o protocolo HDLC (*High Level Data Link Control protocol*) entre os computadores fixos e móveis, do ATC. Dados tipo *burst* não recebidos correctamente serão reconhecidos pelo HDLC e repetidos novamente.

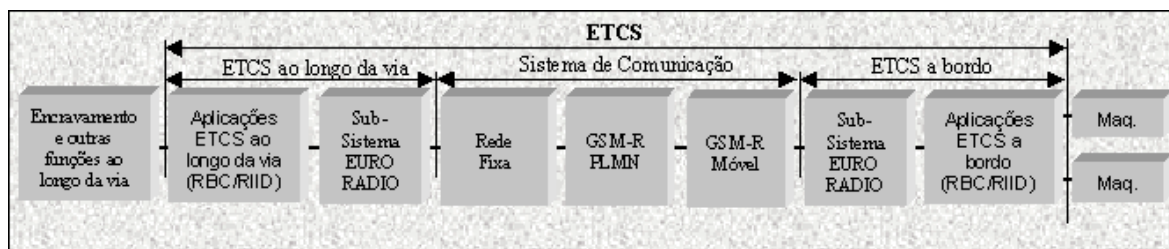


Figura 134 – Estrutura global do Sistema ETCS

Todos os dados relevantes do ETCS são geralmente, transmitidos entre o ETCS do lado da via e a aplicação ETCS a bordo do comboio (Figura 134). No seu estado final, o ERTMS/ETCS

deverá substituir os sistemas de sinalização existentes e os de controlo do comboio. Em geral, informação como os valores limites de velocidade, condições do comboio e dados da via, são transferidos entre as aplicações da via e as que estão a bordo do comboio.

A posição do comboio, a velocidade, o número de veículos e outras informações julgadas relevantes, serão transmitidas para o RBC (Figura 135). O *handover* entre RBC pode ser executado quer pela existência de dois móveis de GSM-R, disponíveis no comboio para o ETCS, com cada um ligado a um RBC, ou quer guardando recursos de rede, com procedimentos de *handover* nas ligações da WAN (*Wide Area Network*) aos RBC. A rede de RBC compara os dados de tráfego, de todos os comboios, na sua respectiva área e transmite os valores de velocidade limite para cada comboio individualmente.

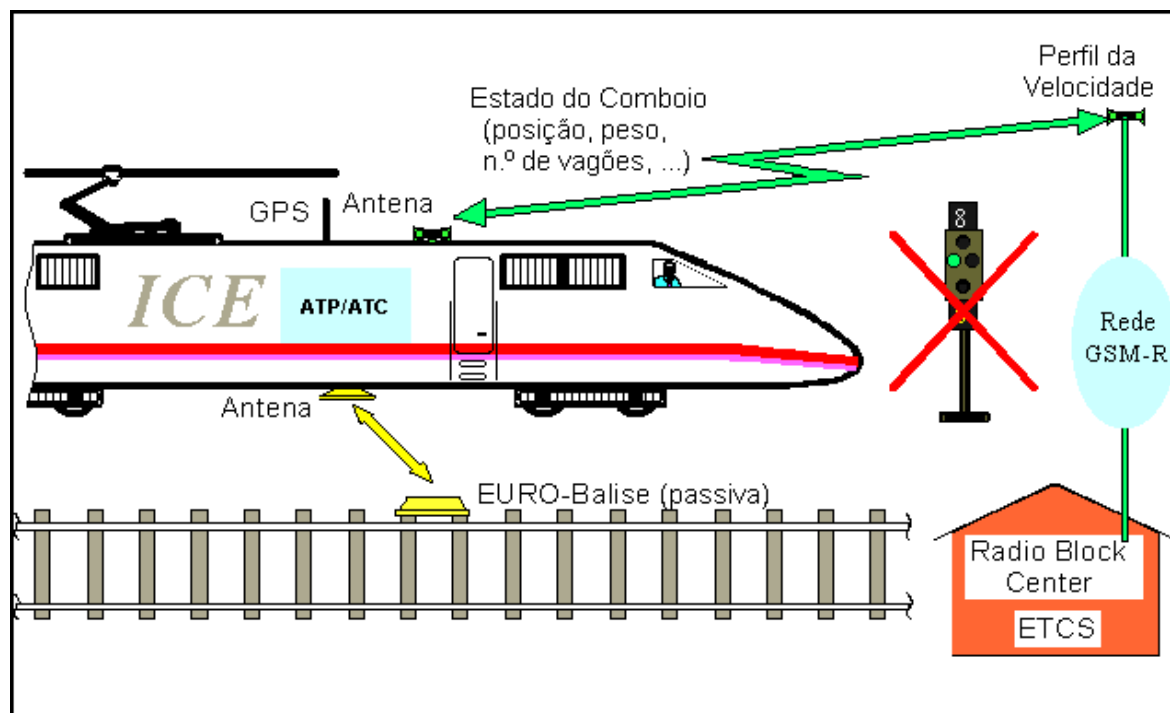


Figura 135 – Diagrama funcional do ETCS

Os níveis 2/3 do ETCS têm dois objectivos principais: proporcionar interoperacionalidade internacional e otimizar o uso da via férrea. O segundo objectivo é obtido pelo uso de um sistema de rádio, como o GSM-R, para troca de informação de sinalização. Só é possível, uma estrutura de cantão móvel, para a operação de comboios, sem sinais fixos instalados. Com uma estrutura de cantão móvel, as distâncias entre comboios podem sempre ser mantidas numa distância de segurança necessária.

Do ponto de vista do GSM-R, todas as funcionalidades necessárias para o canal “cinzento” do ETCS, estão actualmente disponíveis. A transmissão de dados será feita via BS 24 (2400 Kbps), e o RBC será ligado, via ISDN, a um interface S_{2M}. Mais detalhes sobre as necessidades da QoS e dos aspectos de planeamento da rede, encontram-se noutros capítulos deste trabalho.

B – Comunicações operacionais de voz

Comunicações operacionais de voz para os caminhos de ferro podem, principalmente, ser realizados com o GSM *standard* com serviços suplementares e teleserviços actualmente disponíveis. A Figura 136 deverá dar uma ideia sobre quais os serviços necessários e que funcionalidades adicionais deverão ser adicionadas quer à fase 2+ do GSM e/ou do EIRENE.

A especificação para comunicações de manobras, está ainda em estudo dentro do EIRENE, não estando ainda claro como será assegurada a ligação do sinal a ser implantado.

B1 – Endereçamento funcional

Muitas organizações têm os seus funcionários deslocados e com tarefas diariamente alteradas. Não só estes subscritores, mas também outras aplicações são endereçadas por números de telefone e por números/nomes funcionais. Actualmente, estas tabelas de números de telefone e números/nomes funcionais têm de ser cruzados manualmente para permitirem a identificação e a obtenção da pessoa ou da aplicação que tem a subscrição a um número permanente.

Comunicações Operacionais entre Regulador ↔ Maquinista	Endereçamento Funcional, Endereçamento Dependente da Localização, eMLPP
Área de Emergência de “Broadcast”	eMLPP com rápido estabelecimento da chamada, VGCS
Comunicações em Manobras	eMLPP, VGCS, Transmissão do Sinal assegurada
Comunicações Operacionais entre Maquinista ↔ Maquinista	Serviço de Multi-Chamada, Grupo fechado de utilizadores, Instrumentação e Cablagem a bordo ou Sistema de Endereçamento DECT, Endereçamento Dependente da Localização, eMLPP (Regulador ↔ Maquinista)
Comunicações para Operações de Manutenção da Via	Endereçamento Funcional, Endereçamento Dependente da Localização, Grupo fechado de utilizadores
Comunicações Ferroviárias de Apoio	Endereçamento Funcional, Endereçamento Dependente da Localização, eMLPP em Comunicações Operacionais Regulador ↔ Maquinista

Figura 136 – Comunicações operacionais de voz e funções requeridas do GSM-R

O endereçamento funcional, permite a definição de números funcionais quer no HLR (como já foi avaliado pelo MORANE), quer na IN (*Intelligent Network*), dependendo da solução escolhida. Estes números funcionais representam-se, por exemplo, pelos números da marcha do comboio mais o código da função.

No início da viagem ou do trabalho do maquinista, ou de outros agentes, estes registam o seu número móvel (MSISDN – *Mobile Station ISDN Number*) no número funcional (FN – *Functional Number*) do comboio (Figura 137). A partir de agora, até à anulação do registo, uma chamada para o número funcional dos maquinistas, será sempre reencaminhada para obter o MSISDN dos maquinistas respectivos. Desde que, a possibilidade de interpelação internacional esteja disponível, a chamada para um número funcional será processado em qualquer das redes

ferroviárias participantes. No final da viagem ou do trabalho, o agente deverá anular o seu registo. Isto aplica-se também para a alteração da direcção do comboio. Se necessário, também o operador da rede pode anular o registo de um subscritor. O endereçamento funcional será para ser usado para comunicações solo-comboio.

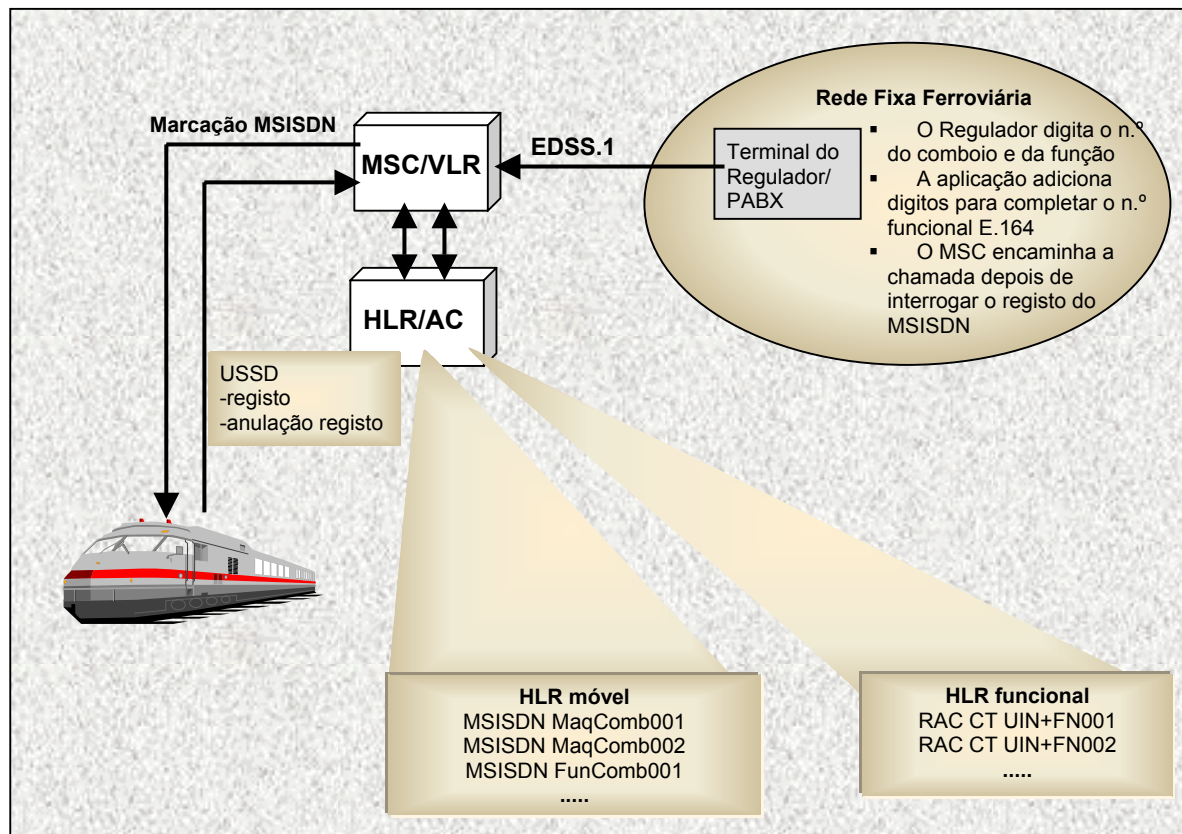


Figura 137 – Endereçamento funcional (principais encaminhamentos)

B1.1 – HLR baseado em endereçamento funcional

A funcionalidade é realizada com a característica *FollowMe* e os serviços de GSM de *Subaddressing*, de USSD (*Unstructured Supplementary Services Data*) e do UUS.1 (*User to User Signalling 1*). Com o *FollowMe*, o HLR contém um registo adicional (HLR_{funcional}). Números funcionais poderão ser introduzidos dentro deste registo com o seguinte formato:

RAC	CT	UIN	FN
-----	----	-----	----

Desde que, o regulador do comboio marque só o número funcional (número de comboio mais código da função), a aplicação (por exemplo, PABX – *Private Automatic Branch eXchange*) é adicionada à parte restante do número E.164, que foi marcado.

Registo: Um maquinista ou outro agente, aquando do registo do comboio no respectivo número funcional, estabelece diálogo duma USSD, via MSC/VLR, com o HLR, onde o seu MSISDN está guardado (HLR_{mobile}). Este HLR estabelece um diálogo com o HLR_{funcional} verificando o chamamento do MSISDN. O HLR_{funcional}, por sua vez, estabelece o reencaminhamento da chamada, do número funcional, para o MSISDN. Depois de completar o registo do subscritor, é conseguido uma confirmação do registo.

Só um MSISDN pode registar-se sob um número funcional. Utilizadores que tentem registar-se num número funcional já em uso, serão rejeitados. Do mesmo modo, um número funcional é único dentro do HLR_{funcional} e não pode ser duplicado.

Inicialização da chamada: Na inicialização da chamada o MSC/VLR, ligado ao regulador do comboio (GSMC), executa uma análise dos dígitos e detecta o número funcional. Através da interrogação do HLR (quer nacional, quer internacional), o reencaminhamento para o número e a localização (VMSC – *Visited MSC*) é detectado e a chamada para o MSISDN é estabelecida.

Apresentação da identidade funcional: Com os serviços suplementares do GSM, tais como o CLIP/CLIR (*Calling Line Identification Presentation/Calling Line Identification Restriction*) e COLP/COLR (*COnnected Line Identification Presentation/COnnected Line Identification Restriction*), os números reais de telefone serão apresentados no utilizador chamado e no inicializador da chamada. Com o UUS.1 a identidade funcional de ambos os utilizadores, chamado e inicializador, serão inseridos na chamada e apresentados nos seus móveis/terminais.

Anulação do registo: O MSISDN registado para um número funcional, será anulado o seu registo pelo o utilizador, estabelecendo um diálogo entre o USSD, através do MSC/VLR, para o HLR, onde o seu MSISDN é guardado (HLR_{mobile}). Neste HLR é estabelecido um diálogo para o HLR_{funcional}, após verificação do MSISDN chamado. O HLR_{funcional}, por sua vez, cancela o reencaminhamento da chamada do número funcional requerido, para o MSISDN. Após completada a anulação do registo o subscritor recebe uma confirmação dessa anulação. A anulação do registo é também possível para o administrador da rede e pode ser possível, em certas circunstâncias, para utilizadores especiais.

B2 – Endereçamento dependente da localização

O endereçamento dependente da localização (Figura 138) providencia um encaminhamento automático das MOC (*Mobile Originated Call*) para os destinos pré-definidos, relativos à área geográfica, onde os subscritores estão localizados.

Toda a rede ferroviária é dividida em diferentes tipos de áreas de serviço (monitorização de comboios, controlo de comboios, sistemas de alimentação, subestações de energia).

Um comboio numa viagem, por exemplo de Paris para Viena, passa através destas áreas (por exemplo, áreas de controlo de comboios). A ligação entre um maquinista e o regulador da área respectiva deverá ser fácil de estabelecer. O maquinista não deverá ter necessidade de digitar números longos, depois de ele ter decidido em que área está.

Por isso, o maquinista só digitará *short numbers*, como definido no planeamento da numeração da EIRENE. Estes *short numbers* serão automaticamente convertidos, nos correspondentes números longos dos controladores de comboios, responsáveis pela área onde o comboio se encontra em viagem. Se o comboio está a passar numa área controlada por dois controladores, a ligação será efectuada para ambos os controladores.

Estão em implementação ambas as versões de endereçamento dependente da localização, baseada no MSC e já avaliada pelo MORANE ou baseada na IN. Ambas as funcionalidades são interoperáveis como exigido pelo EIRENE/MORANE.

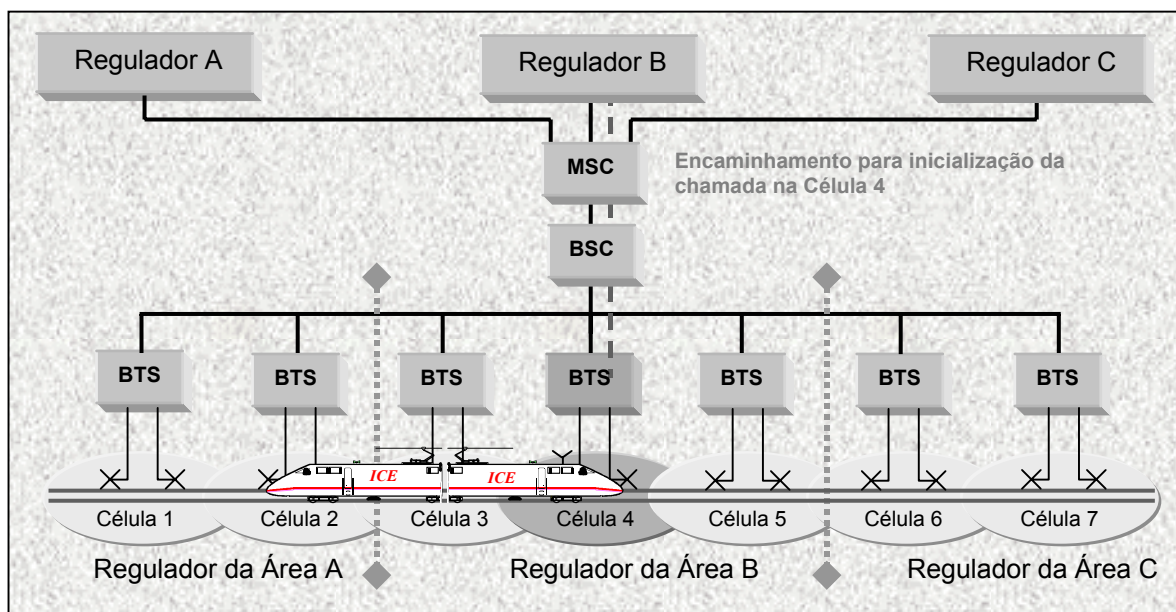


Figura 138 – Endereçamento dependente da localização (I)

B2.1 – Endereçamento dependente da localização, baseado no MSC

A funcionalidade é realizada com o serviço de encaminhamento específico da célula, do GSM e fornecido pela Siemens, como característica de venda da *Cell Oriented Routing of Short Numbers*. Esta funcionalidade está disponível também em muitas redes móveis públicas e usam, por exemplo, serviços de informação local do tráfego rodoviário.

Com o endereçamento dependente da localização, baseado no MSC, será determinado com a possibilidade de exactidão da célula, desde que nenhuma outra informação de localização esteja disponível. Isto implica uma falha de exactidão, dentro de algumas centenas de metros, desde que as células vizinhas estejam sobrepostas.

As células são identificadas, por meio do LAC (*Location Area Code*) e do CI (*Cell Identifier*). Para cada *short number*, será memorizado numa tabela (Tabela 17), contendo as células relevantes e os números de destino.

LAC	CI	Shortnumber	Destino	Definição
1	1	211	089-13xx-4711	Regulador da Estação A
1	1	212	089-13xx-4713	Revisão do Material da Estação A
2	4	211	069-13xx-4711	Regulador da Estação B

Tabela 17 – Exemplo de entradas para a base de dados, para o LDA

Se uma chamada for inicializada com um *short number*, o MSC reconhece a marcação abreviada, avalia o LAC/CI e selecciona o número correcto de destino. Depois a ligação será automaticamente estabelecida. Se um comboio estiver a passar entre duas áreas de serviço/controlado a ligação será estabelecida para ambos os controladores.

B2.2 – Endereçamento dependente da localização, baseado na IN

Alguns operadores ferroviários encontram dificuldades para gerir os direitos de acesso ao MSC, simplesmente para alterar entradas da base de dados, acima mencionadas. Eles também

preferem que grupos de utilizadores não tenham acesso à base de dados operacional. Por isso, está em desenvolvimento uma LDA (*Location Dependent Addressing*), baseada na IN.

A funcionalidade é como a que foi acima referida. O serviço característico descrito, é um exemplo e um reflexo das necessidades correntes dos projectos existentes, descritos pelo EIRENE, providenciando facilidade de utilização, boa relação económica e sinergia, entre os meios de telecomunicações. Isto constitui uma solução, que os caminhos de ferro podem facilmente implementar.

Na rede de GSM-R, os ficheiros de encaminhamento da IN estão guardados para direccionar todas as chamadas, com a marcação de *short numbers* (que deverão ser carregados, via IN), para o sistema com uma IN. É providenciado o ID da célula, como a informação da localização. Esta informação será guardada na base de dados da IN, no conjunto dos dados dos números de marcha. O sistema com uma IN então, entregará a informação de encaminhamento com um número E.164, para a rede do GSM-R. A rede do GSM-R estabelecerá então, a chamada para o regulador responsável (Figura 139).

Alguns operadores ferroviários requerem uma maior exactidão na precisão da informação de localização, do que só o ID da célula, para evitar a previsível falta de precisão nas fronteiras das células. Estes operadores ferroviários podem definir um interface e o formato dos dados de localização, retirados de outras funções do comboio. Com a solução IN, estes dados podem ser usados como informação de localização, providenciando assim, uma solução específica para o cliente que pretende uma elevada exactidão, na localização. Estas soluções feitas por medida não podem ser providenciadas sem a IN.

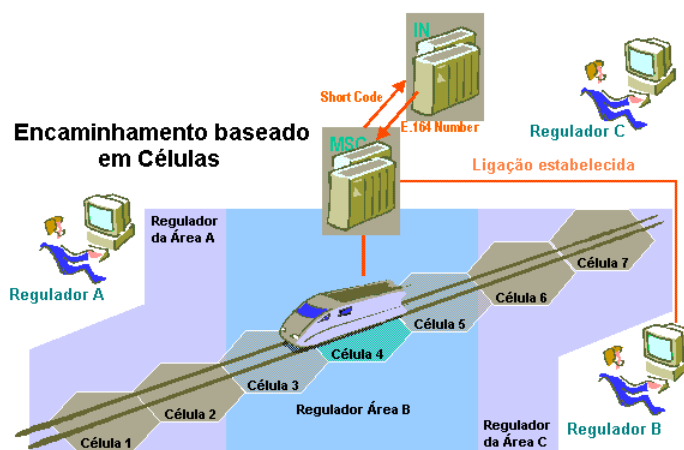


Figura 139 – Endereçamento dependente da localização (II)

B3 – eMLPP (enhanced MultiLevel Precedence and Preemption)

As organizações ferroviárias têm necessidades de desempenho elevado nalguns tipos de comunicação, especialmente para o canal de rádio e para o estabelecimento muito rápido de chamadas.

A aplicação ERTMS/ETCS tem a necessidade de uma ligação de dados contínuo. Se o *handover* para células vizinhas é mal sucedido devido à congestão no canal de rádio, um serviço de pré reserva é necessário para permitir um acesso imediato ao canal de tráfego, ocupado por uma aplicação de baixa prioridade.

As chamadas ferroviárias de emergência necessitam de um imediato estabelecimento de chamada, na sua respectiva área, não importando se existem canais de rádio disponíveis. O serviço de pré reserva irá libertar os pedidos de chamadas de baixa prioridade, para libertar os canais de tráfego, para o estabelecimento de chamadas de emergência. Assim, estas chamadas deverão ser estabelecidas em 1 segundo ou menos, devido à necessidade de um estabelecimento rápido de uma chamada.

As comunicações de manobras e comunicações de suporte a comboios, necessitam de diferentes prioridades do que outros tipos de comunicação. Por isso, são requeridos adicionais níveis de prioridade.

Actualmente, as redes de GSM fornecem apenas acesso limitado a certas classes como as estáticas, e em filas de espera e prioritárias às chamadas que possuem a função de estabelecimento de chamada prioritária. Estas funções são muito limitadas, uma vez que, a prioridade só pode ser dada por estação base (acesso de classe estática) ou por subscritor e não pode variar, dependendo por isso, da situação da rede e da necessidade de prioridade.

Para além disso, se todos os canais de tráfego estiverem em uso ou se existir já congestão, não existe nenhuma oportunidade de ser atendido, restando-lhe esperar com uma prioridade elevada numa fila de espera, até que o canal de tráfego possa estar disponível. Para introduzir as funcionalidades acima mencionadas, dentro do GSM, a chamada ASCII eMLPP, foi especificada na fase 2+ do GSM.

B3.1 – Rápido estabelecimento de chamadas

Actualmente, nas redes de GSM, com projectos otimizados da rede, permitem tempos de estabelecimentos de chamadas à volta de 3,5 a 10 segundos, dependendo da estrutura da rede e da interacção entre a estação móvel e a rede.

O rápido estabelecimento de chamadas (por exemplo, chamadas de emergência directas, outras chamadas de grupo ou radiodifusão de voz), tem o objectivo de encurtar o tempo de estabelecimento da chamada o mais possível. O rápido estabelecimento de chamadas é basicamente dependente do tempo de processamento da chamada no HLR/AC e no MSC/VLR, que têm de ser o mais curtos possíveis. Adicionalmente, autenticação e mensagens cifradas serão desactivadas para estas chamadas.

B3.2 – Precedência e pré-reserva

Para introduzir uma classificação de prioridades, foram introduzidas até 7 níveis diferentes de prioridade do eMLPP (2 níveis de rede e 5 níveis de subscritor). Um ou mais níveis de prioridade podem ser atribuídas a subscritores móveis. De acordo com o MORANE, o nível 1 da rede é reservado para chamadas ferroviárias de emergência e o nível 2 de rede para o ETCS.

A prioridade por defeito e a prioridade máxima será guardada no HLR, com os dados relacionados do subscritor. Quando uma chamada de prioridade eMLPP é iniciada, o MSC/VLR irá inserir a prioridade dentro da mensagem de inicialização da chamada para o BSC.

O BSC irá avaliar a prioridade e dar acesso ao canal apropriado para cada estabelecimento de chamada ou de *handover*. As chamadas de alta prioridade podem ter acesso a recursos normalmente a serem usados por chamadas de baixa prioridade, como aqueles que utilizadores de baixa prioridade ocupam correntemente, em conversação, serão pré reservados. Isto é particularmente importante em aplicações de segurança crítica, onde os utilizadores devem ser notificados imediatamente e não podem esperar numa fila de espera por um canal de rádio livre.

A prioridade e a pré reserva são aplicáveis para o VGCS, VBS e para serviços públicos gerais.

As estações móveis compatíveis com a fase 2+ (eMLPP), podem executar a funcionalidade automática de “chamadas em espera”, sem qualquer interacção do utilizador para as chamadas de eMLPP de alta prioridade, que chegam durante a ocupação por outras chamadas de baixa prioridade. A chamada de mais baixa prioridade será posta em espera, enquanto que a chamada eMLPP de alta prioridade será estabelecida. Isto melhora a facilidade de manuseamento e a taxa de sucesso da chamada, para chamadas de alta prioridade.

Para o uso desta característica, com chamadas *point-to-point*, o subscritor (chamador/chamado), deverá ter uma subscrição de eMLPP no HLR, para uso com as prioridades do eMLPP no VGS ou no VBS, que são associadas com o grupo e por isso guardado no GCR.

B4 – Voice Broadcast Service

Actualmente as redes de GSM são desenhadas para as ligações *point-to-point*. Os utilizadores ferroviários e outros utilizadores profissionais necessitam da funcionalidade chave de chamadas *point-to-multipoint*, como as que estão disponíveis dos conhecidos PMR (*Private Mobile Radio*) ou PAMR (*Public Access Mobile Radio*).

Como introdução às funcionalidades acima mencionadas dentro do GSM, o chamado teleserviço ASCII TS 92, o VBS foi especificado na fase 2+ do GSM. O VBS é caracterizado pelos seguintes pontos chave:

- Um número de chamada de *broadcast* combina todos os membros de um certo grupo e tem a estrutura mostrada na Figura 140.
- Para cada chamada de *broadcast* uma área de serviço formada, independentemente do número das células, é atribuída.
- Marcando o número da chamada de *broadcast*, inicializa as ligações de inicialização paralela dentro de todas as células, da área de serviço atribuída. Todos os membros deste grupo que estejam na área de serviço, serão chamados para receber uma notificação de uma chamada de voz de *broadcast*, que virá de seguida.
- Dependendo do ID da chamada, alguns membros prioritários do grupo chamado, podem decidir juntar-se à chamada.

Se o número da chamada de *broadcast* for marcado, o MSC reconhece este número como pertencendo a um grupo de *broadcast*. O MSC vai buscar toda a informação necessária do GCR chamado. Este GCR guarda tabelas com:

- O ID do grupo (1 a 7 dígitos, dependendo do ID da área do grupo chamado).
- O ID da área do grupo chamado (MCC + MNC + LAC + CI).
- A referência do grupo chamado (um campo codificado com 27 bits binários, contendo o ID do grupo e o ID da área do grupo).
- A lista de células, correspondendo à área do grupo chamado (no máximo 50 células).
- A lista de *dispatcher*, correspondendo às referências do grupo chamado (até 6 *dispatchers*).
- Referência a uma informação sobre se a chamada está activa ou não, por grupo chamado.
- Uma informação sobre os codecs.
- Informação de segurança.
- Adicionalmente, cada membro de um grupo chamado, tem de ter uma subscrição no HLR, para este teleserviço.

O MSC liga ao *dispatcher* com uma ligação *duplex* – não importando se ele é originado num móvel ou numa rede fixa – e inicializa o *setup* das ligações *half-duplex* dentro de cada célula da área do grupo chamado requisitado. Os membros do grupo actualmente nesta área, serão chamados e ligados através de um canal comum de *downlink*, que quer dizer, que eles podem só ouvir a chamada .

Se um membro do grupo entrar na célula depois do início do *broadcast* de voz, ele irá juntar-se ao *broadcast* de voz, em curso, na altura da sua entrada. Se um membro do grupo deixa a área de *broadcast* de voz, ele será desligado. A inicialização do VBS é possível com o eMLPP ou como uma chamada normal sem prioridade e pré reserva. A Figura 140 mostra um típico *broadcast* de voz.

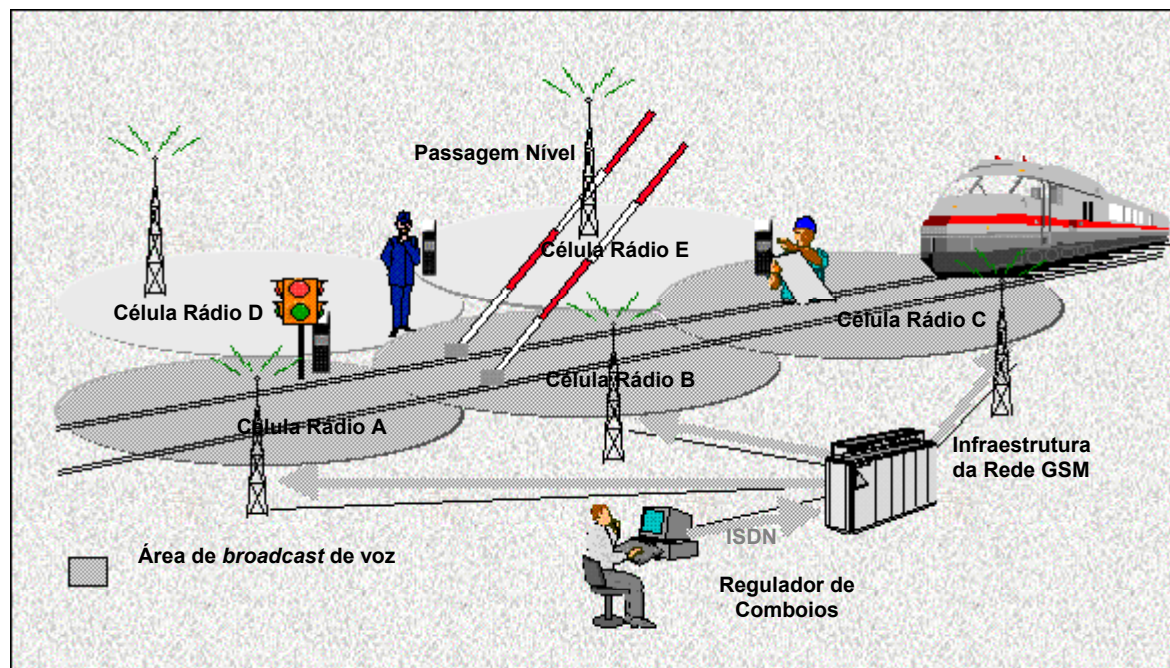


Figura 140 – Típico *broadcast* de voz para uma área de serviço dedicada

B5 – Voice Group Call Service

Tal como o VBS, o VGCS será introduzido no GSM no chamado tele-serviço ASCI TS 91, como especificado na fase 2+ do GSM. Adicionalmente às funcionalidades prescritas no VBS, o VGCS é caracterizado pelo ponto chave que o emissor actual pode variar, durante a chamada.

Os membros do grupo, só ouvem normalmente o VGC, em curso. Assim que o emissor inicial do VGCS parar de falar, ele indica que libertou o *uplink*. Todos os membros do grupo serão notificados que podem agora requisitar um *uplink* para ser o próximo emissor através do uso da sua função *push to talk* (PTT).

Um canal *duplex* dedicado será alocado na célula respectiva. A inicialização de um canal *duplex* para o próximo e/ou qualquer emissor subsequente é da seguinte forma:

- O emissor inicial liberta o *uplink* (e altera o *downlink* comum nesta célula, se ele é um subscritor móvel).
- Um possível novo emissor envia um pedido de *uplink*.
- O BSC que serve esta área selecciona o primeiro *UPLINK_REQUEST* e apresenta-o ao MSC.
- O MSC serve o primeiro *UPLINK_REQUEST* de todas os BSC na área do grupo chamado.
- O novo emissor confirma o seu pedido de *uplink*.
- O outro membro do grupo consegue a notificação de *uplink* aceite ou rejeitado.
- O canal de *duplex* para o novo emissor é ligado.

Se o último emissor libertar a chamada de grupo e um novo pedido será definido e o MSC libertará o VGCS, depois de um período de tempo administrável. Uma aplicação típica do VGCS, da chamada ferroviária de emergência, é mostrada na Figura 141.

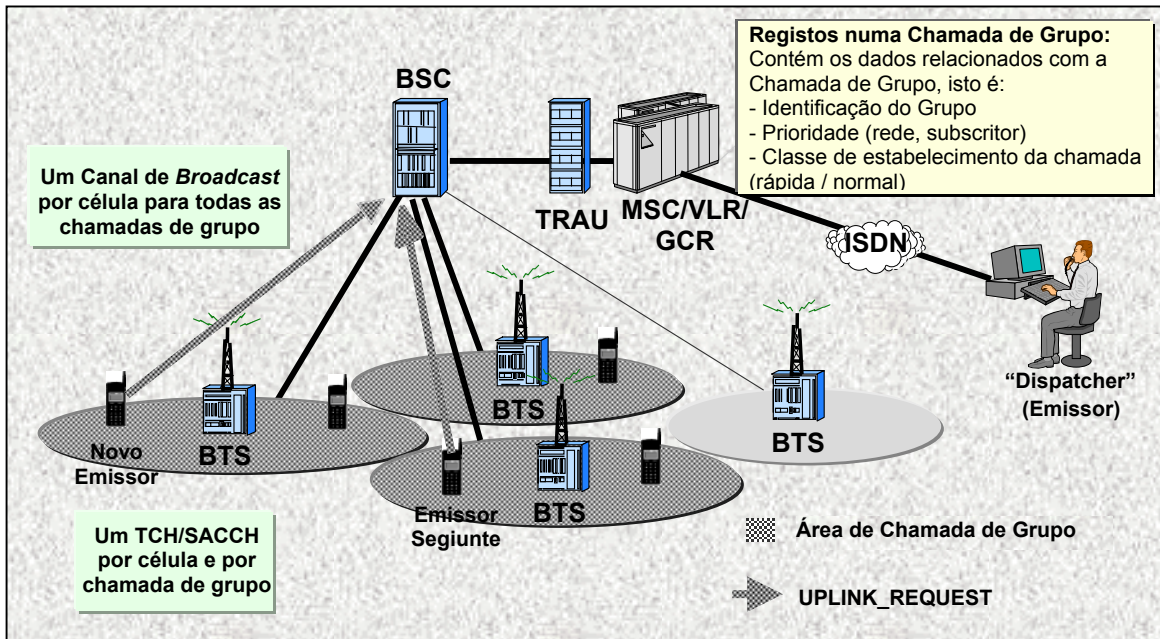


Figura 141 – Chamada ferroviária de emergência

5.4 – ERTMS/ETCS

5.4.1 – O Sistema actual de Controlo de Automático de Comboios

O código de sinalização do ATP contido no circuito de via é transmitido para o comboio. Estes são detectados e captados pelas antenas montadas nos veículos extremos do comboio, por debaixo da cabine de condução. Estes dados são passados para um decodificador a bordo e serão alvo de um processamento seguro. A velocidade permitida é verificada e comparada com a actual velocidade e, se a velocidade permitida for excedida é iniciada uma aplicação do freio. Nos sistemas mais modernos os dados da distância a percorrer até ao próximo ponto de informação são também transmitidos para o comboio. Os dados são também enviados para uma *display* na cabine que permite ao maquinista através de uma condução normal, responder e conduzir o comboio dentro da gama de velocidades permitida.

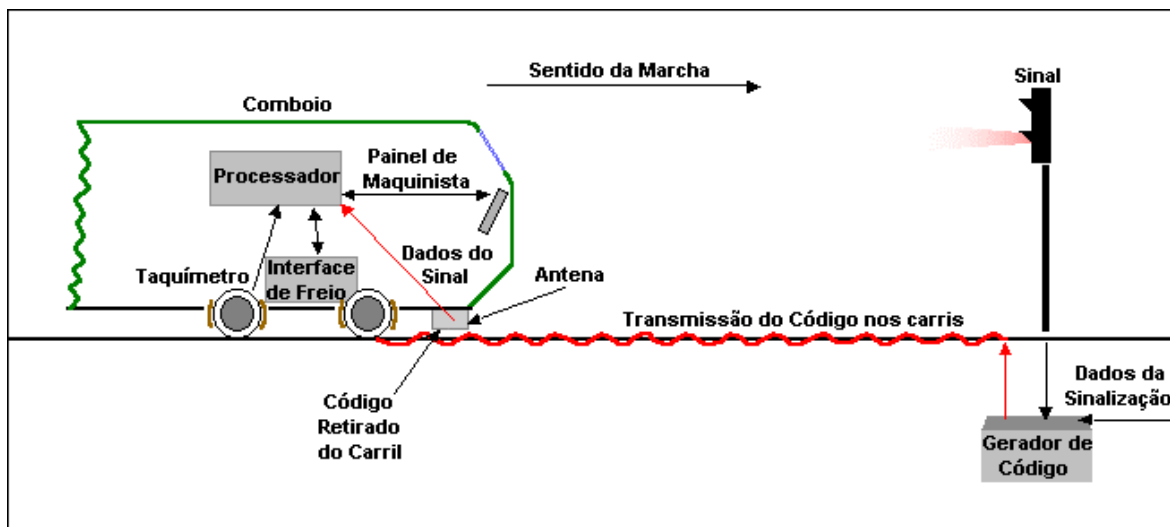


Figura 142 – Transmissão contínua do código para o sistema ATP

Ao longo da via, o aspecto do sinal (informação luminosa) das secções posteriores são monitorizados e passados para um gerador de códigos para cada cantão (distância física mínima, entre comboios). O gerador de códigos envia o código apropriado para o circuito de via, sendo este detectado pela a antena do comboio e passado para o computador de bordo. Como já foi referido, o computador irá verificar a velocidade actual do comboio com a velocidade permitida pelo código recebido e irá provocar uma aplicação do freio se a velocidade do comboio for excessiva.

5.4.2 – Transmissão por balizas

No exemplo da Figura 142, os dados do ATP da via para o comboio são transmitidos através do uso de circuitos de via codificados, passando a informação através do carril a percorrer. Este é conhecido como um sistema de transmissão contínuo, porque os dados são passados para o comboio sem qualquer tipo de interrupção.

Porém, este método tem limitações, nomeadamente perdas de transmissão em cantões longos, pelo que, o comprimento efectivo de um circuito de via é reduzido a cerca de 350 metros. O equipamento é também caro e vulnerável às condições de meteorologia adversas, a interferências electrónicas, a estragos, a vandalismos e a roubos. Para ultrapassar algumas destas desvantagens introduziu-se uma solução com transmissão intermitente de dados, através de balizas electrónicas colocadas em intervalos espaçados ao longo da via.

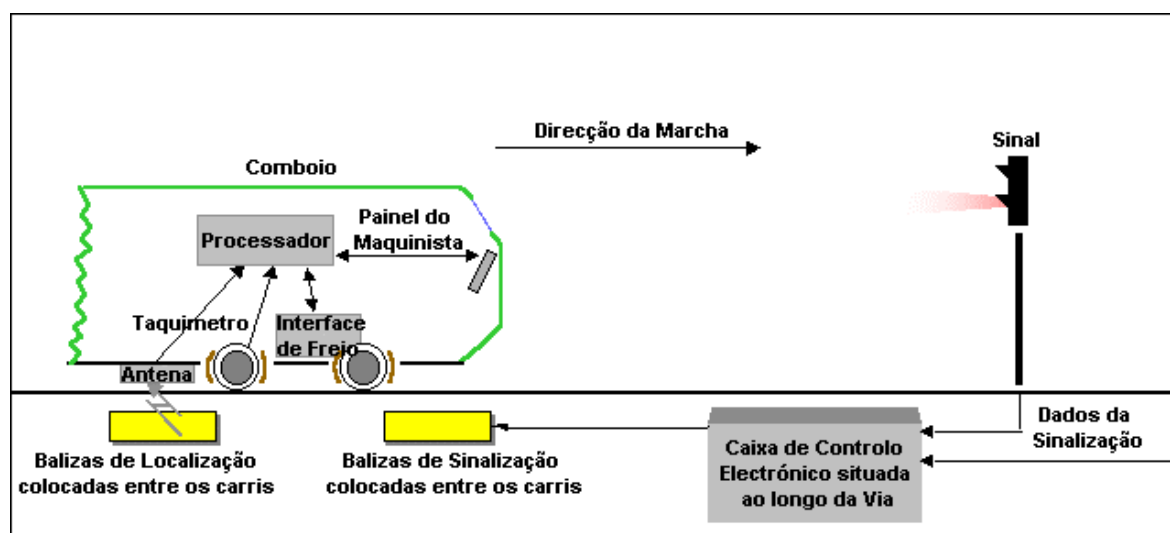


Figura 143 – Balizas de Transmissão de código para o sistema ATP

Normalmente são usadas duas balizas (Figura 143 e Figura 144), sendo uma de localização para informar o comboio onde se encontra e outra baliza de sinalização para transmitir o estado das secções de via a percorrer. O processamento de dados e outras funções do ATP são similares ao sistema de transmissão contínuo.

5.4.2.1 – Funcionamento do ATP com Balizas

O sistema ATP com balizas funciona como se mostra no diagrama simplificado da Figura 145. A baliza para o sinal A2 encarnado está localizada antes do sinal A1, para dar ao comboio que se aproxima a distância de



Figura 144 – Par de Balizas

paragem. O comboio 2, irá captar o seu comando de paragem neste ponto, para que possa parar antes do alcance da baliza para o sinal A3.



Figura 145 – Localização das Balizas ao longo da Via

Na Figura 146, o comboio parou a seguir ao sinal A2 e este irá esperar até o comboio 1 deixar o cantão A2, para alterar o aspecto do sinal para verde. Na realidade o comboio 2 não se irá colocar em marcha uma vez que ele necessita que o maquinista faça o *reset* ao sistema para permitir que o ATP do comboio seja inicializado. Por esta razão, este tipo de ATP é normalmente usado em sistemas de condução manual.

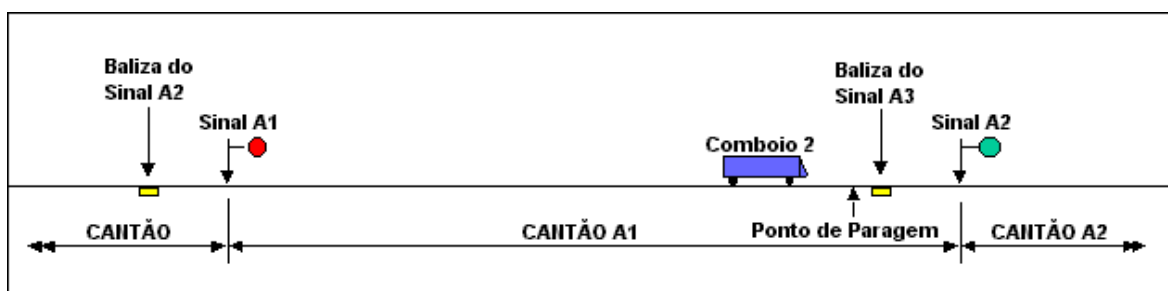


Figura 146 – Paragem ao Sinal usando o sistema ATP Intermitente

5.4.2.2 – Evolução para um Sistema Intermitente

A desvantagem do sistema de balizas é a de que uma vez que o comboio tenha recebido a mensagem de indicação de velocidade ou de paragem, ele irá reter essa mensagem até passar por outra baliza ou ter parado. Isto quer dizer que se o cantão imediatamente à frente estiver desimpedido antes do comboio 2 atingir o seu ponto de paragem e o aspecto do sinal tenha passado a verde, o comboio continuará a ter a mensagem de paragem e irá parar mesmo que já não tenha necessidade de o fazer.

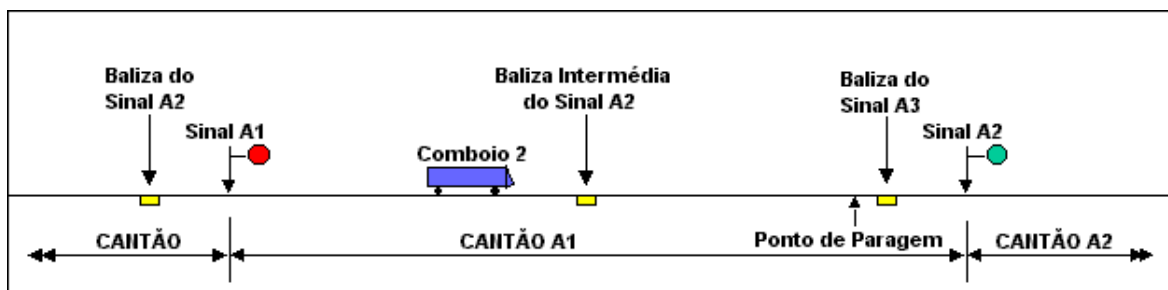


Figura 147 – Introdução de uma Baliza intermédia para actualização do Sistema ATP a bordo

Para evitar a situação de uma paragem desnecessária, pode ser colocada uma baliza intermédia (Figura 147). Desta forma actualizará a informação do comboio aquando da

aproximação ao ponto de paragem e será permitido ignorar o comando de paragem se o sinal já estiver verde. Mais do que uma baliza intermédia poderá ser providenciada, se necessário.

5.4.3 – Cantão Móvel

Com o desenvolvimento da tecnologia de sinalização, têm existido vários refinamentos no sistema de cantões, mas nos anos mais recentes a ênfase tem sido colocada na tentativa de conseguir-se trabalhar com cantões variáveis e fixos conjuntamente. Conseguindo-se isto temos a vantagem de poder variar as distâncias entre comboios de acordo com a sua velocidade actual e com as velocidades relativamente uns aos outros. É como a aplicação das regras de distanciamento na estrada, onde não é necessário manter a total distância de paragem ao carro da frente, porque ele não irá parar instantaneamente. Se dois veículos se movem à mesma velocidade, o veículo que vai atrás poderá viajar imediatamente atrás do da frente porque quando este travar, o detrás irá também travar. Se o segundo veículo deixar alguns metros de intervalo para o tempo de reacção do seu sistema de travagem, assim como, para variações da sua eficiência de travagem, tudo irá funcionar perfeitamente. No mais regulado mundo ferroviário, porém não poderá ainda ser aplicada esta teoria, sem a garantia de uma distância de paragem total segura entre comboios.

No diagrama da Figura 148, as distâncias entre comboios que estão viajando à mesma velocidade do comboio da frente e tendo todos as mesmas capacidades de frenagem podem, teoricamente, circular com distâncias entre eles de poucos metros. Apenas para permitir uma margem para o tempo de reacção e para erros menores, os comboios podem circular com distâncias mínimas de 50 metros entre eles e a uma velocidade inferior a 50Km/h. Porém, isto está correcto na teoria, mas na prática é um assunto delicado, porque até agora ainda nenhum operador adoptou o sistema de cantão variável e está-se com algum cepticismo para fazê-lo num futuro próximo.

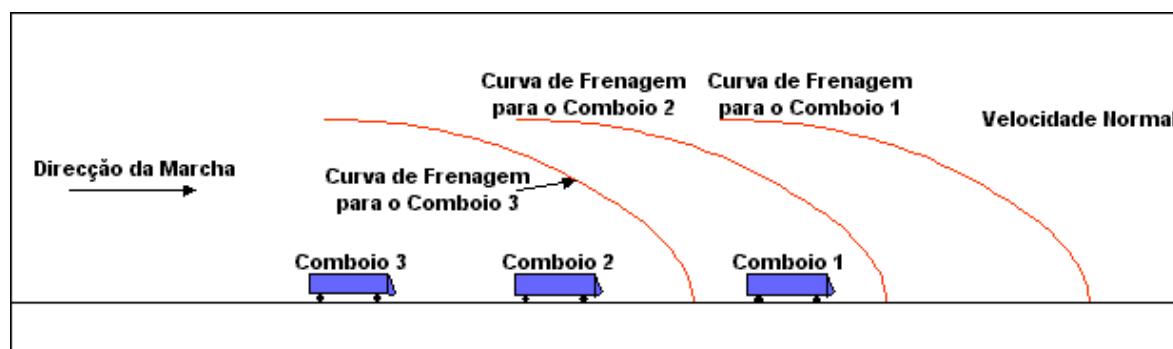


Figura 148 – Sinalização de Cantão Móvel – Princípio Teórico do Sistema

Considera-se que é essencial manter sempre uma distância de paragem segura entre comboios. O que é digno de se fazer, é tornar consistente a localização e o comprimento dos cantões com a velocidade e localização do comboio. Esta flexibilidade necessita de uma transmissão rádio designada por CTBC (*Communications Based Train Control*) ou TBS (*Transmission Based Signalling*) que melhor do que uma transmissão do circuito de via para detectar a localização, a velocidade e a direcção dos comboios é dizer-lhes qual é a sua velocidade de circulação permitida.

5.4.3.1 – Cantão Móvel e Transmissão Rádio

Numa linha ferroviária equipada com cantão móvel, esta é normalmente dividida em áreas ou regiões, estando cada uma sob o controlo de um computador e cada uma com o seu sistema de transmissão rádio (Figura 149). Cada comboio transmite a sua identificação, localização, direcção e velocidade para o computador da área, que efectuará os cálculos necessários para uma separação segura dos comboios e transmite esses dados para o comboio seguinte.

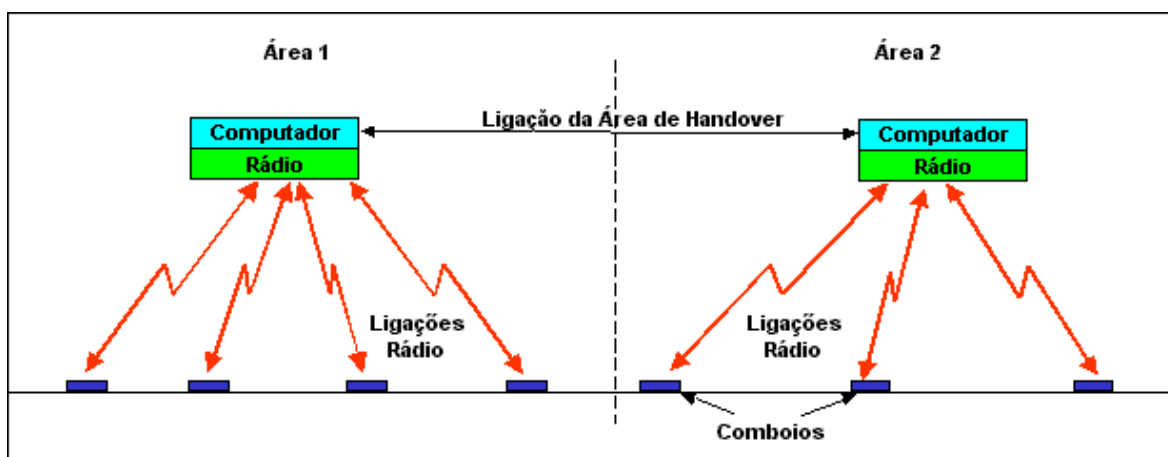


Figura 149 – Transmissão Rádio para o sistema de Cantão Móvel

A ligação rádio entre cada comboio e o computador da área é contínua e por isso o computador sabe sempre a localização de todos os comboios na sua área. Ele transmite para cada comboio, a localização do comboio que segue à sua frente e fornece-lhe a curva de frenagem que permite ao comboio parar antes de atingir o comboio da frente. Efectivamente é um sistema dinâmico de distâncias a percorrer, sendo um sistema CTBC.

Uma característica do cantão fixo tem de ser mantida, ou seja, as necessidades de uma distância entre comboios que permita uma paragem total a qualquer velocidade. Desta forma, assegura-se que se a ligação rádio for perdida, o último dado guardado a bordo do comboio seguinte, irá provocar a sua paragem antes de atingir o comboio precedente.

5.4.3.2 – Cantão Móvel – Actualização da Localização

Como já se referiu, os comboios que circularem num sistema de cantão móvel, reportam a sua posição continuamente para o computador da área, por meios a bordo do comboio para a estação rádio localizada ao longo da via. Cada comboio confirma também a sua própria posição através das balizas colocadas ao longo da via, em determinados intervalos que confirmam a posição do comboio com a que tem a bordo, no mapa computadorizado da linha.

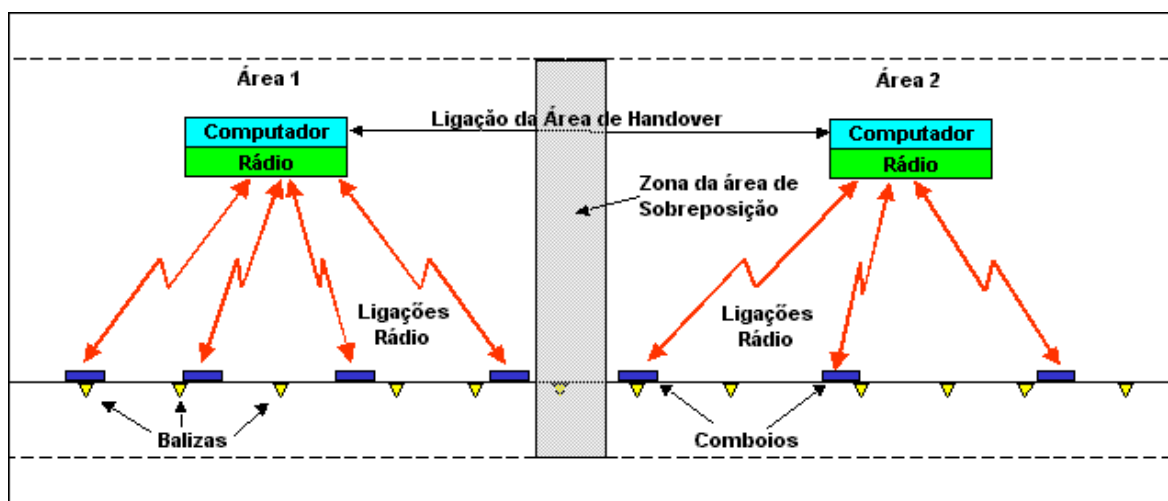


Figura 150 – Uso de áreas no CTBC e dos procedimentos de *Handover* entre elas

A passagem de um comboio de uma área para outra é feita através de uma transferência exterior usando as ligações rádio e, adicionalmente uma ligação física entre dois computadores de

áreas adjacentes (Figura 150). Nas áreas de sobreposição quando um primeiro comboio atinge a fronteira de uma nova área, o computador da área antiga contacta o computador da área nova e alerta-o para supervisionar o sinal de um novo comboio. Informa também o comboio para alterar o seu código de rádio de modo a sincronizar-se com a sua nova área de circulação.

Quando a nova área de circulação assegura a identificação do comboio, garante-se a transição e a transferência ficará assim completa.

Outra versão do sistema de cantão móvel tem os computadores de localização a bordo do comboio. Cada comboio sabe onde se encontra, relativamente a todos os outros comboios e irá estabelecer a sua velocidade de segurança, usando estes dados. Neste caso, tem-se a vantagem de necessitar de menos equipamento ao longo da via do que o sistema anteriormente descrito, mas a quantidade de transmissão será muito maior.

5.4.3.3 – Um primeiro sistema de Cantão Móvel

O primeiro sistema de cantão móvel chama-se SELTRAC (*Speed Enforcement System Track*) e é usado no Canadá e em Londres. Este sistema (Figura 151) já contempla a transmissão móvel de dados, mas a transmissão normal é através de montagem ao longo da via de ciclos de indução que estão colocados entre os carris e que cruzam-se em cada 25 metros para permitir ao comboio verificar a sua posição. Os dados são passados pelos VOBC (*Vehicle On-Board Computer*) e pelos VCC (*Vehicle Control Centre*) através de ciclos. O VCC controla a velocidade do comboio 2, através da verificação da posição do comboio 1 e do cálculo da sua curva de frenagem segura.

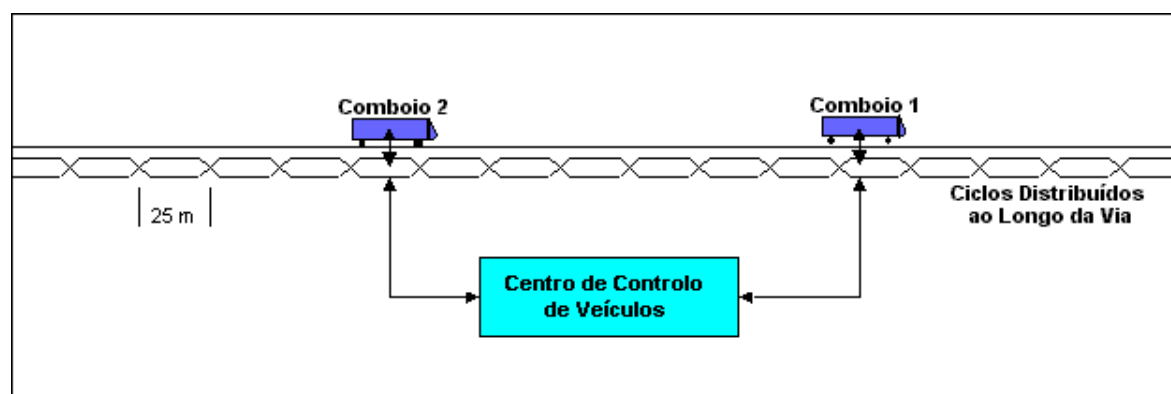


Figura 151 – Sistema SELTRAC da Alcatel

O sistema SELTRAC não necessita de maquinista e é totalmente automático. Em caso de falha do sistema onde o comboio terá de ser conduzido manualmente, existem contadores de eixos para verificar a sua posição e não será sob o controlo dos ciclos. Talvez a sua maior desvantagem será a necessidade de cabos contínuos colocados ao longo da via, com uma colocação dispendiosa e com possibilidade de danificação durante a manutenção da via.

A principal diferença entre este sistema e os mais modernos está na transmissão electromagnética de dados, que o SELTRAC utiliza, necessitando de cabos ao longo da via, enquanto que os outros sistemas são baseados em rádio necessitando apenas do ar como meio de transmissão. O sistema SELTRAC está a ser modernizado de forma a permitir o uso de transmissão, baseada em rádio.

5.4.4 – Conclusões

A sinalização ferroviária tem tradicionalmente necessidade de uma quantidade enorme de *hardware* dispendioso para ser distribuído ao longo da via e desta forma exposto a condições climáticas variáveis, vandalismo, roubo e uso pesado. Devido à grande distribuição no espaço, a

manutenção é dispendiosa e por vezes restrita a períodos de tempo de ausência de circulação. As falhas são difíceis de localizar e também de difícil acesso.

Por estas razões, os operadores ferroviários têm vindo a tentar reduzir o equipamento de sinalização ao longo da via e em consequência reduzir custos de manutenção. A redução de equipamento ao longo da via poderá levar também à redução dos custos de instalação. O cantão móvel requer menor equipamento ao longo da via do que os sistemas de cantão fixo.

Existe ainda outro objectivo muito mais importante para os operadores que é a maior capacidade. A norma para a maior parte das linhas de metro é de 30 comboios por hora ou de 2 em 2 minutos de intervalo. Está em discussão, se este melhoramento em sistemas de alta capacidade é possível, uma vez que as maiores perdas da capacidade da linha ocorrem devido às paragens nas estações e nas manobras nos terminais. Isto determina o intervalo entre comboios para dois minutos ou mais, dependendo do sistema de sinalização usado. Problemas similares existem em terminais onde o tempo disponível para cruzamentos são críticos. Os sistemas de sinalização de cantão móvel neste aspecto não podem providenciar muita melhoria. Menores intervalos entre comboios podem, contudo, ser conseguidos em sistemas onde os comboios são menores, com velocidades menores e com níveis de passageiros baixos.

Porém, para linhas subterrâneas, modernos sistemas de controlo de ventilação e de fumo, requerem uma separação que permita a circulação do ar em horas críticas. Se um sistema de sinalização de cantão móvel permitir uma separação de 50 metros, alguns arranjos adicionais na ventilação, poderão ser necessários, encarecendo o sistema. Isto pode reduzir os benefícios do sistema de cantão móvel.

O preço real que verdadeiramente poderá ser ganho por qualquer operador usando um sistema de cantão móvel está na redução de equipamento ao longo da via e a redução dos custos de manutenção. Melhor rentabilidade e uma localização de falhas mais rápida pode ser também possível com a tecnologia associada ao cantão móvel. Se a transmissão baseada em rádio está incluída, pode ser conseguida uma melhoria total. Um outro factor, é que muitos operadores ao especificarem a tecnologia de cantão móvel podem questionar-se sobre o destino dos circuitos de via de cantão fixo que lhes poderá servir de retaguarda, assim como, detecção de carril partido.

Por isso e no âmbito das novas tecnologias, em especial as que utilizam transmissão por rádio, e com o intuito de as uniformizar no espaço europeu, surgiu o sistema ERTMS. O ERTMS está estruturado em três níveis, de modo a acomodar toda a diversidade quer funcional, quer operacional, pretendida para uma dada instalação, em termos de segurança de circulação e aumento de capacidade da linha.

Depois de uma década passada, os gigantes industriais e os governos europeus tiveram de se esforçar para conseguir uma interoperacionalidade, de modo a que os comboios possam atravessar fronteiras sem qualquer tipo de paragem. De modo a ultrapassar estas incompatibilidades o projecto do ERTMS tem vindo a ser iniciado para criar um único padrão de sinalização através da Europa.

5.4.5 – O que é o ERTMS

O ETCS é o novo sistema de controlo e comando da circulação, enquanto que o GSM-R é o novo sistema de rádio para comunicação de voz e dados. O ERTMS pode ser considerado da seguinte forma:

$$\mathbf{ERTMS = ETCS + GSM-R}$$

Juntos, o ETCS e GSM-R eles formam o ERTMS, ou seja, o novo sistema de sinalização e de gestão do tráfego ferroviário para a Europa, possibilitando a interoperacionalidade através da rede ferroviária europeia.

5.4.5.1 – História do ERTMS

Actualmente os comboios europeus são equipados com mais de seis sistemas diferentes de navegação (Figura 152). Cada um é extremamente caro e ocupa espaço na cabine de condução. Um comboio que passe de um país europeu para outro deverá seleccionar o sistema de operação respectivo assim que atravessar a fronteira. Tudo isto aumenta o tempo de viagem e custos de manutenção e de operacionalidade.

Com tendência para as privatizações, os governos actuais reclamam pela responsabilização do sector, agora mais do que nunca e os operadores deverão ser competitivos. Os operadores ferroviários necessitam de oferecer velocidade e comodidade, não só para comboios de alta velocidade, mas também para todos os comboios das linhas principais e igualdade para operações com mercadorias.

Segundo a decisão tomada pelo Ministro dos Transportes Europeu, em Dezembro de 1999, a União Europeia decidiu fazer um projecto para análise dos problemas relacionados com a sinalização e controlo do tráfego ferroviário. No final de 1990, a ERRI (*European Rail Research Institute*) criou um grupo de peritos ferroviários (A200) para desenvolver as necessidades do ETCS. Em Junho de 1991, a indústria (Eurosig) e os operadores ferroviários (UIC, ERRI e A200) chegou a acordo no principio da firme co-operação com o objectivo de considerar as especificações exigidas, como base para o desenvolvimento industrial. Todo este projecto inclui um novo equipamento a bordo, baseado numa arquitectura computacional aberta (EUROCAB), um novo sistema descontínuo para transmissão de dados (EUROBALISE) e um novo sistema de transmissão contínuo (EURORADIO). No final de 1993, o Conselho da União Europeia emitiu uma directiva de interoperacionalidade e foi tomada a decisão de criar uma estrutura para definir uma especificação técnica para a interoperacionalidade.

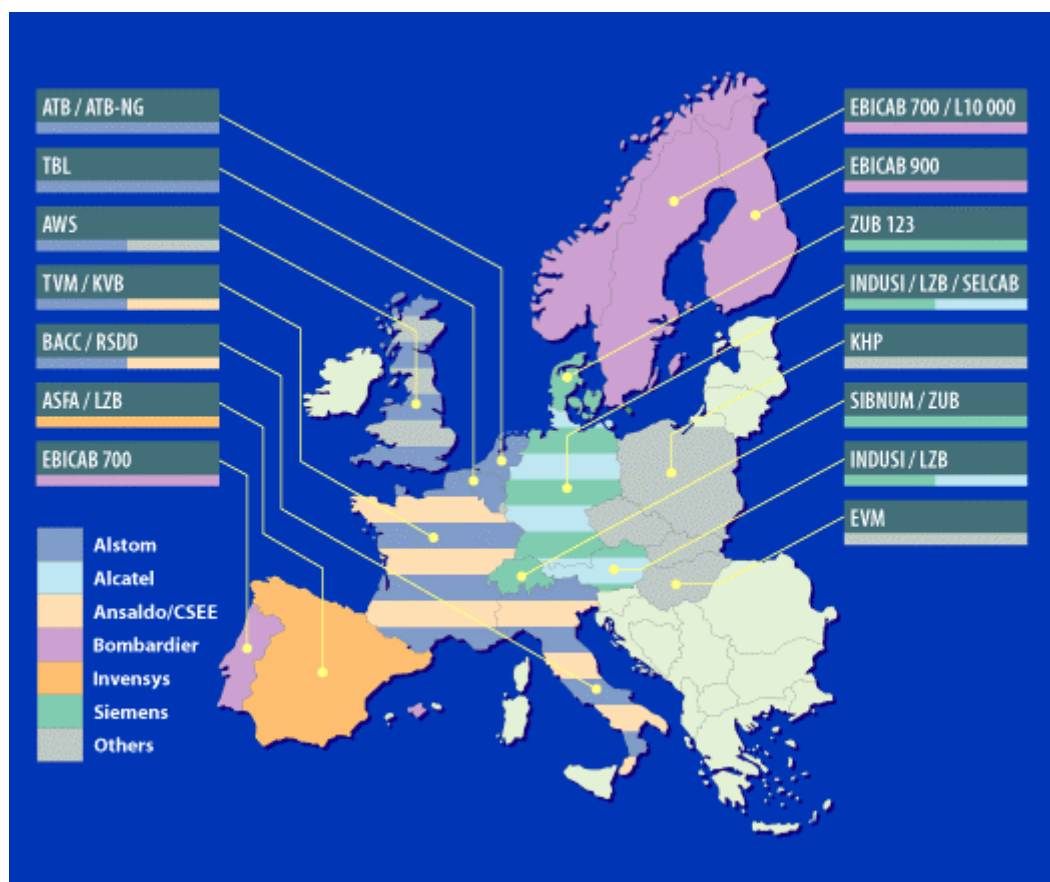


Figura 152 – No futuro todos estes sistemas serão substituídos pelo ERTMS/ETCS

Em 1995, a Comunidade Europeia definiu uma estratégia global para o avanço do desenvolvimento do ERTMS, com o objectivo de preparar a sua futura implementação na rede ferroviária europeia. A estratégia global, inclui fases de desenvolvimento e de validação. O objectivo da fase de validação é o de fazer testes em larga escala em pontos localizados, em diferentes países. No verão de 1998, a UNISIG que inclui as companhias europeias de sinalização, foram informadas para finalizar as especificações e foram entregues em 1999. Com o final das especificações do ERTMS em Abril de 2000, o ERTMS chegou finalmente ao ponto de providenciar, substancialmente maiores níveis de desempenho para os caminhos de ferro.

Um maior sucesso tem vindo a ser conseguido nos testes de interoperacionalidade em Madrid-Sevilha e em Viena-Budapeste. Os testes de via em Itália foram efectuados em 2001. A revisão das especificações foram aprovadas em Fevereiro de 2002 e estão agora a caminho de serem introduzidas nas especificações técnicas para a interoperacionalidade. Existe um número de projectos comerciais em vários estados de desenvolvimento como os da *West Coast Main Line* no Reino Unido, de Roma-Nápoles em Itália, na Suíça, de Berlim-Halle-Leipzig na Alemanha, de Atenas na Grécia e de Madrid-Lleida em Espanha, que têm sido determinados e financiados parcialmente pela Comunidade Europeia.

Os países da União Europeia estão agora a passar à formulação das leis necessárias que irão fazer o uso do ERTMS baseado nas soluções de sinalização obrigatórias, não só em todas as novas linhas de alta velocidade, mas também em todas as instalações de sinalização. Como resultado de todas as actuações indicadas para conseguir a interoperacionalidade através dos Países Europeus, é de esperar a geração de importantes benefícios tanto para a sociedade em geral como para o sector ferroviário, tais como:

- a) Incremento do mercado ferroviário dado que um tráfego sem fronteiras suporá uma redução no tempo de viagem para os passageiros assim como para mercadorias e uma melhor coordenação tanto operativa como dos sistemas de sinalização.
- b) Incremento do uso comercial dos caminhos de ferro ao facilitar os procedimentos de gestão logística entre os mesmos.
- c) Redução nos custos devido à: optimização da frota de material móvel dos operadores, operações conjuntas entre diferentes operadores, simplificação das operações de manutenção e abertura do mercado aos novos operadores.
- d) Aumento dos níveis de segurança devido à harmonização dos sistemas de mando e controlo.
- e) Redução do custo dos equipamentos ao aplicar-se conceitos de padronização e modularidade.
- f) Abertura de subministradores e ofertas competitivas.
- g) Projectos conjuntos de desenvolvimento.
- h) Nova oportunidade de postos de trabalho nos caminhos de ferro e na industria e melhoria das condições de trabalho do pessoal ferroviário devido a um melhor entendimento dos regulamentos de circulação, de comunicações e de sinalização.
- i) Melhoria das condições de trabalho do pessoal ferroviário devido a uma melhor coordenação e entendimento dos regulamentos de circulação, das comunicações e da sinalização.

5.4.5.2 – Principais equipamentos que constituem o ERTMS/ETCS

A – Computador de Bordo Central

O Computador de Bordo Central também é conhecido por EVC (*European Vital Computer*), e irá processar toda a informação recebida pelo comboio através das EUROBALISE, GSM-R, etc..

B – Antena do comboio

A Antena do comboio irá excitar as EUROBALISE e receber a informação vinda das mesmas (Figura 153).

C – JRU

O JRU (*Juridical Recorder Unit*), grava a informação originada na viagem do comboio e é similar às funções de uma caixa preta nos aviões.



Figura 153 – Antena

D – Specific Transmission Modules

O funcionamento dos três níveis do ERTMS, vistos mais adiante, complementam-se de forma muito importante com o modo STM (*Specific Transmission Modules*). Este equipamento torna possível a leitura dos sistemas já existentes e instalados, pelos comboios equipados com o ERTMS/ETCS. Deste modo permite-se uma natural migração desde os diferentes sistemas nacionais de ATP para o sistema ERTMS e é o ponto chave para a implementação de uma forma natural do sistema ERTMS em linhas já existentes, formando parte essencial da estratégia de migração dos sistemas nacionais ao ERTMS/ETCS e da extensão deste sistema às linhas convencionais.

Definiu-se este interface como padrão para a interoperacionalidade, já que desta forma permitirá a circulação de comboios através dos diferentes países com diferentes módulos STM circulando não só por linhas equipadas com ERTMS/ETCS mas também através de linhas convencionais onde se mantenha por razões práticas e operacionais o sistema nacional.

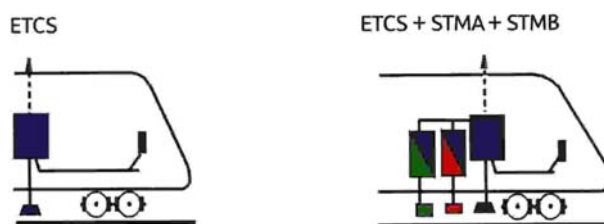


Figura 154 – STM

Na Figura 154 representou-se conceitualmente a forma da situação actual do equipamento e conexão dos STM a um equipamento EUROCRAB e indicam esquematicamente a forma de funcionar dos comboios preparados para circular por redes nacionais e por linhas internacionais ou nacionais equipadas com sistema ERTMS.

E – MMI

No MMI (Figura 155) será recebida toda a informação vinda através das EUROBALISE, GSM-R, etc. e que é processada pelo computador central a bordo da unidade, sendo a informação relevante mostrada ao maquinista através do écran do MMI, no painel de condução. Irá mostrar informação, tal como, a velocidade permitida, a actual regulação de tráfego e a distância ao objectivo determinado pelo regulador.

F – EUROBALISE

A EUROBALISE transmite o perfil de velocidade, o gradiente da linha e a informação da localização para os comboios. No nível 1 do ERTMS/ETCS a regulação do tráfego é dada pela EUROBALISE. Existem EUROBALISE fixas ou variáveis. O sistema EUROBALISE tem uma potência emitida da antena para a baliza a 27,095 MHz e a transmissão dos dados da baliza para o veículo a 4 MHz / 500 Kbps (Figura 156).

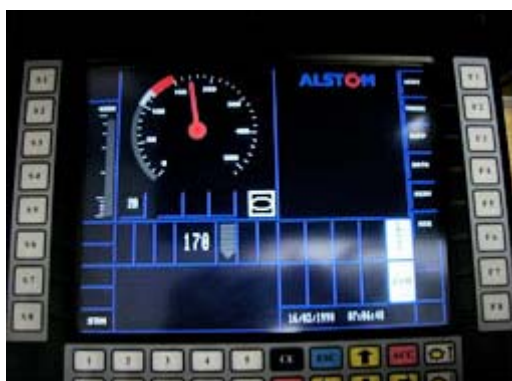


Figura 155 – MMI



Figura 156 – EUROBALISE

5.4.5.3 – Níveis do ERTMS/ETCS

O sistema ERTMS tem como objectivo principal de funcionalidade nos seguintes dois aspectos:

- ▶ **Comunicações Ferroviárias** – Assegurar uma segura operação dos comboios na sua rede.
- ▶ **Gestão de Tráfego** – Negociar com a gestão de tráfego e da infra-estrutura, de modo a assegurar a possível optimização da capacidade das linhas e a utilização do efectivo do material circulante.

O sistema ERTMS define três níveis de funcionamento. Cada nível é compatível com os níveis inferiores. Um comboio equipado com o nível 3 deve poder circular em vias com o nível 2 ou nível 1 sem nenhuma outra intervenção. Pelo contrario um comboio equipado com um nível 1 logicamente não é capaz de funcionar em linhas equipadas com níveis 2 ou 3. Este sistema tem as seguintes características:

- ▶ Interoperacionalidade.
- ▶ Velocidades superiores a 500 Km/h.
- ▶ ATP.
- ▶ Menores intervalos entre dois comboios consecutivos.
- ▶ Operações com cantões móveis (Nível 3).

5.4.5.4 – Nível 1 do ERTMS/ETCS

O nível 1 do ERTMS/ETCS visa melhorar a segurança de circulação, fornecendo indicações aos comboios, através da transmissão pontual e discreta das informações do sistema de via instalado, repetindo deste modo as informações fornecidas pela sinalização lateral existente. Neste nível existem EUROBALISE com e sem permissão da libertação da ordem de frenagem. Nos sistemas com EUROBALISE sem permissão da libertação da ordem de frenagem existirá (Figura 157):

- ▶ Sobreposição aos sistemas de sinalização actuais.
- ▶ Regulação do tráfego através das EUROBALISE.
- ▶ Integridade e localização do comboio assegurada por circuitos de via.

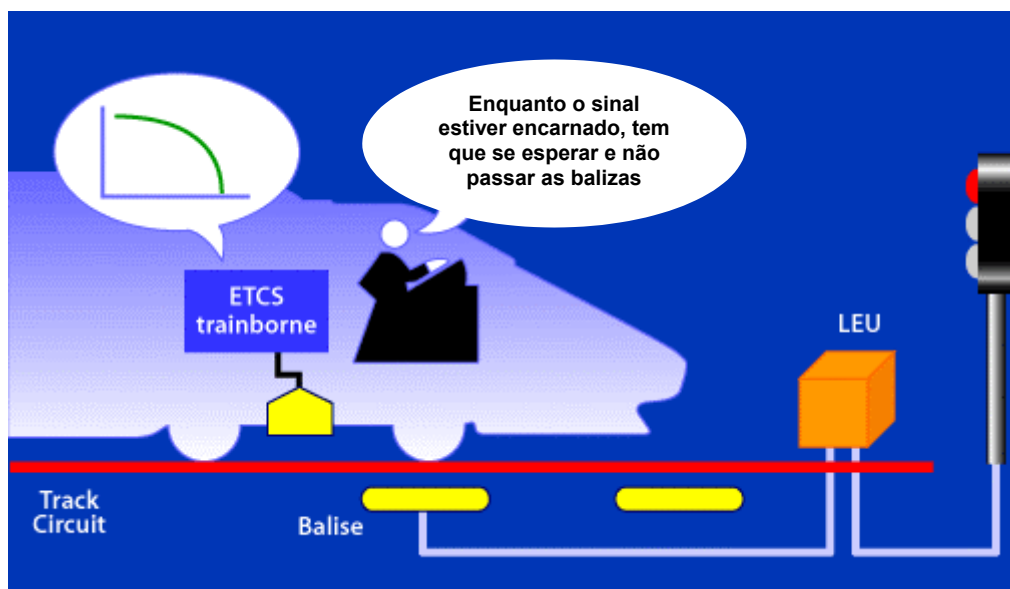


Figura 157 – Nível 1 com EUROBALISE sem permissão da libertação da ordem de frenagem

Caso o sistema seja montado com EUROBALISE com permissão da libertação da ordem de frenagem temos (Figura 158):

- ▶ Sobreposição aos sistemas de sinalização actuais.
- ▶ Regulação do tráfego através das EUROBALISE.



Figura 158 – Nível 1 com EUROBALISE com permissão da libertação da ordem de frenagem

5.4.5.5 – Nível 2 do ERTMS/ETCS

O nível 2 do ERTMS/ETCS permite a circulação sem sinalização lateral, utilizando as capacidades de detecção do sistema de via instalado e permitindo o controlo da velocidade do comboio, através da utilização de um sistema de transmissão rádio, de funcionamento semi-contínuo ou contínuo (Figura 159).

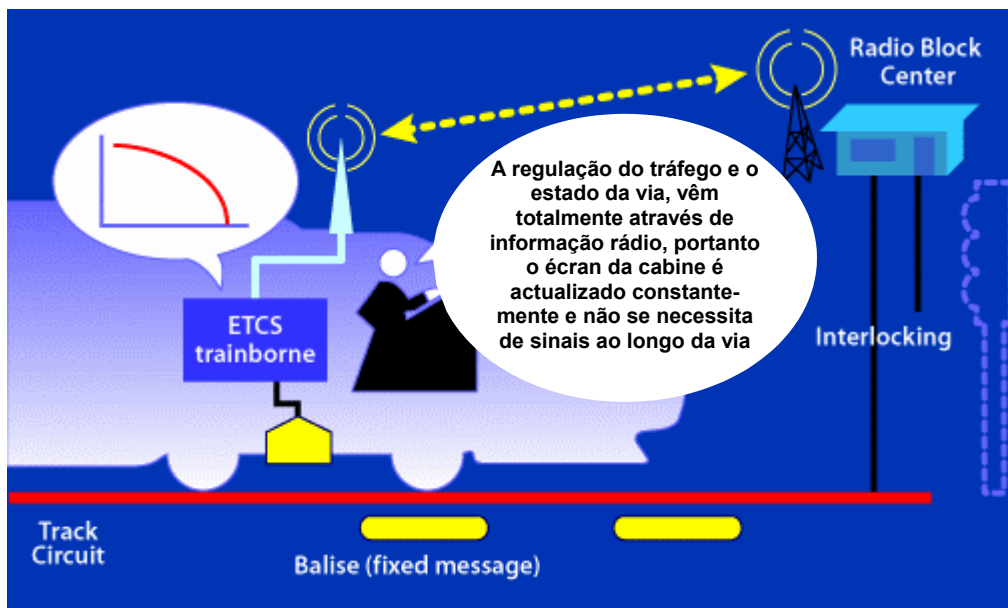


Figura 159 – Nível 2 do ERTMS/ETCS

Resumidamente, temos:

- ▶ Não são necessários sinais ao longo da via.
- ▶ Regulação do tráfego através do GSM-R.
- ▶ Posicionamento do comboio através da EUROBALISE.

5.4.5.6 – Nível 3 do ERTMS/ETCS

O nível 3 do ERTMS/ETCS permite a implementação do cantão móvel, através da utilização de um sistema de transmissão rádio de funcionamento semi-contínuo ou contínuo, o qual permite a detecção da posição do comboio e a supressão da sinalização lateral (Figura 160).

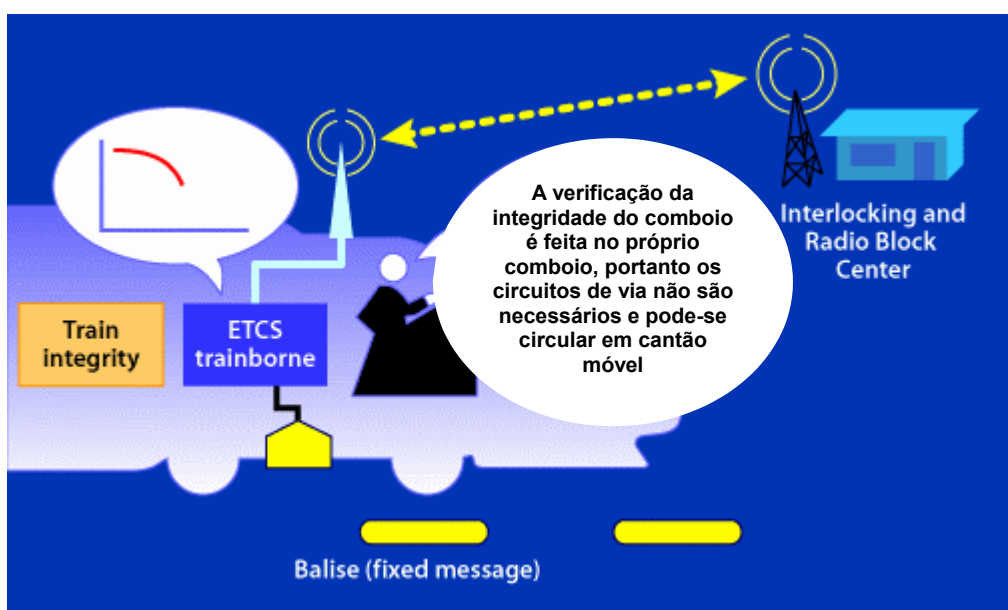


Figura 160 – Nível 3 do ERTMS/ETCS

Em resumo, temos:

- ▶ Regulação do tráfego através do GSM-R.
- ▶ Localização do comboio através das EUROBALISE.
- ▶ Integridade do comboio verificada a bordo do mesmo.
- ▶ Cantões móveis.

5.4.5.7 – Estrutura Geral do ERTMS/ETCS

A implementação deste sistema requer componentes normalizados. O sistema ERTMS foi desenvolvido baseando-nos numa série de componentes normalizados cujo funcionamento e especificações se recolhem nas TSI (*Technical Specifications for Interoperability*) e que juntamente com as suas especificações de provas formarão parte das normas CENELEC (*Commite Européen de Normalisation Electrotechnique*).

Ao longo da via ferroviária os principais elementos constituintes do sistema ERTMS são:

- ▶ EUROBALISE nas suas duas variantes, ou seja, de dados varáveis ou fixos.
- ▶ Equipamento de ligação ao encravamento LEU (*Line side Electronic Unit*).
- ▶ RBC.

Estes, estão interligados da forma que se mostra na Figura 161.

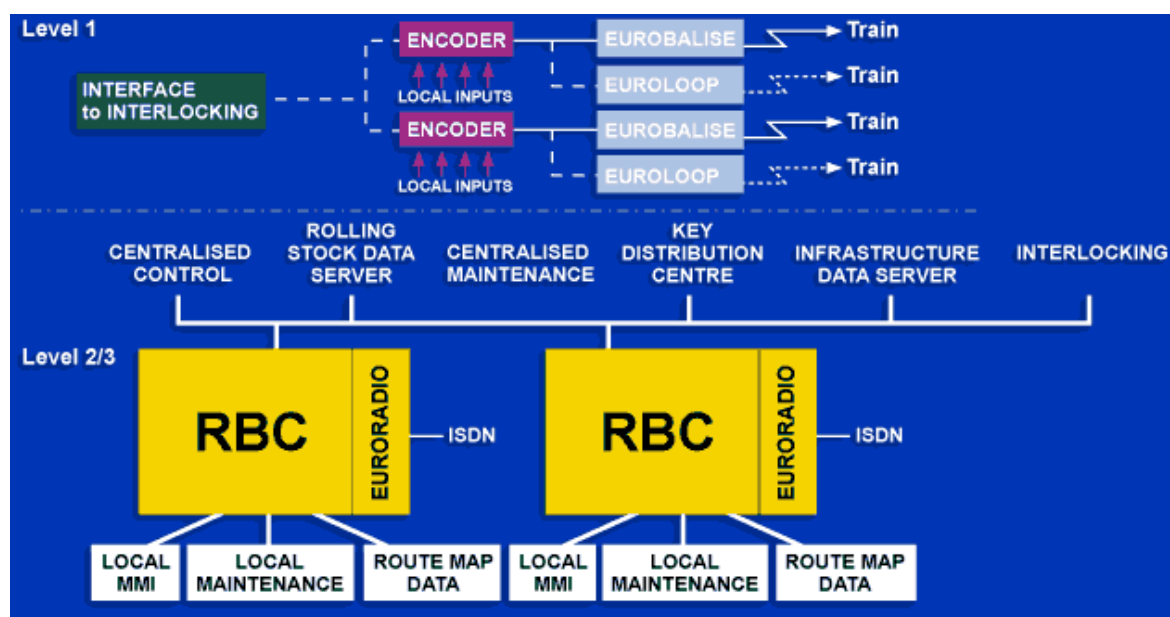


Figura 161 – Arquitectura do Equipamento de Via

Ao nível do equipamento de bordo, temos:

- ▶ A futura cabina com o MMI.
- ▶ O interface STM.

São estes os elementos funcionais básicos, que constituem o equipamento do ERTMS, numa cabina de condução. A futura arquitetura de ligação está ilustrada na Figura 162.

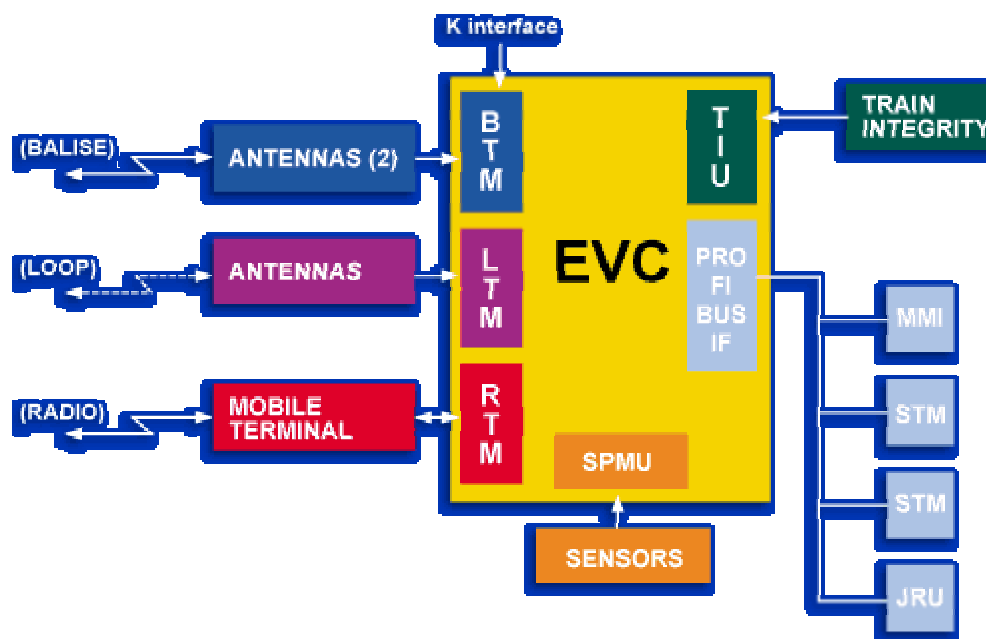


Figura 162 – Arquitectura do Equipamento a Bordo

Formando parte do sistema e como vínculo de enlace entre os elementos em via e os elementos a bordo, definiu-se o módulo de comunicações EURORÁDIO, sobre o sistema de rádio GSM-R.

5.4.5.8 – Situação Actual

Actualmente existem várias linhas piloto nomeadamente em França, Reino Unido, Itália, Alemanha e Espanha em fase de iniciar as provas de funcionamento e validação, assim como, um primeiro troço experimental de nível 2 na Suíça posto ao serviço e que actualmente se encontra em provas. Além destas linhas piloto, existem contratos comerciais no Reino Unido, Holanda, Itália, Espanha e em países do leste europeu como Hungria e Roménia.

5.4.6 – ATLAS

O ATLAS é uma solução da Alstom e fornece todas as soluções necessárias para gerir uma rede ferroviária a partir de um Centro de gestão da rede, para um ATP, encravamentos e produtos de sinalização tradicionais. O ATLAS é uma solução modular com três níveis de funções diferentes: o ATLAS 100, o ATLAS 200 e o ATLAS 300.

5.4.6.1 – ATLAS 100

O ATLAS 100 (Figura 163) é um equipamento de transmissão baseado no sistema de controlo de comboios a ser usado como sobreposição ao sistema de sinalização usados actualmente, com a operação de cantão fixo. Este equipamento incorpora um centro de controlo, encravamentos e produtos tradicionais de sinalização.

No ATLAS 100 a regulação do tráfego é gerada ao longo da via e transmitida para o comboio através das EUROBALISE. A detecção do comboio e a supervisão da sua integridade são realizadas pelo equipamento que se encontra ao longo da via. O Euroloop pode providenciar uma permissão da libertação da ordem de frenagem, de um modo semi-contínuo. Assim, existe um melhor desempenho, semelhante a uma autoridade, podendo receber a informação para passar o sinal antes de se atingir o fim mencionado pelo regulador de tráfego.



Figura 163 – ATLAS 100

Os benefícios deste equipamento são:

- ▶ Interoperacionalidade.
- ▶ Velocidades superiores a 500 Km/h.
- ▶ ATP.
- ▶ Evolução para o ATLAS 200 e ATLAS 300.

As principais funções a bordo são:

- ▶ Recepção da regulação de tráfego e características da via.
- ▶ Perfis de velocidade estáticas e distâncias relatadas pela transmissão das EUROBALISE.
- ▶ Selecção do valor mais restritivo das diferentes velocidades permitidas em cada localização, onde irá ser feita a circulação.
- ▶ Cálculo do perfil de velocidade dinâmica, tendo em conta, as características de circulação do comboio, que são conhecidas a bordo.
- ▶ Comparação da velocidade actual do comboio com a velocidade permitida e considerar a aplicação do freio, se necessário.
- ▶ Sinalização da cabine para o maquinista.

As principais funções ao longo da via são:

- ▶ Determinar a regulação do tráfego de acordo com o sistema de sinalização.
- ▶ Transmitir a regulação do tráfego e os dados da infra-estrutura ao comboio.
- ▶ Encravamento para controlo do equipamento ao longo da via como aparelhos de mudança de via e sinais.
- ▶ Centro de controlo para gestão da rede.

5.4.6.2 – ATLAS 200

O ATLAS 200 (Figura 164) é um equipamento rádio baseado num sistema de controlo rádio que pode ser usado como sobreposição ao sistema de sinalização usados actualmente, com a operação de cantão fixo.

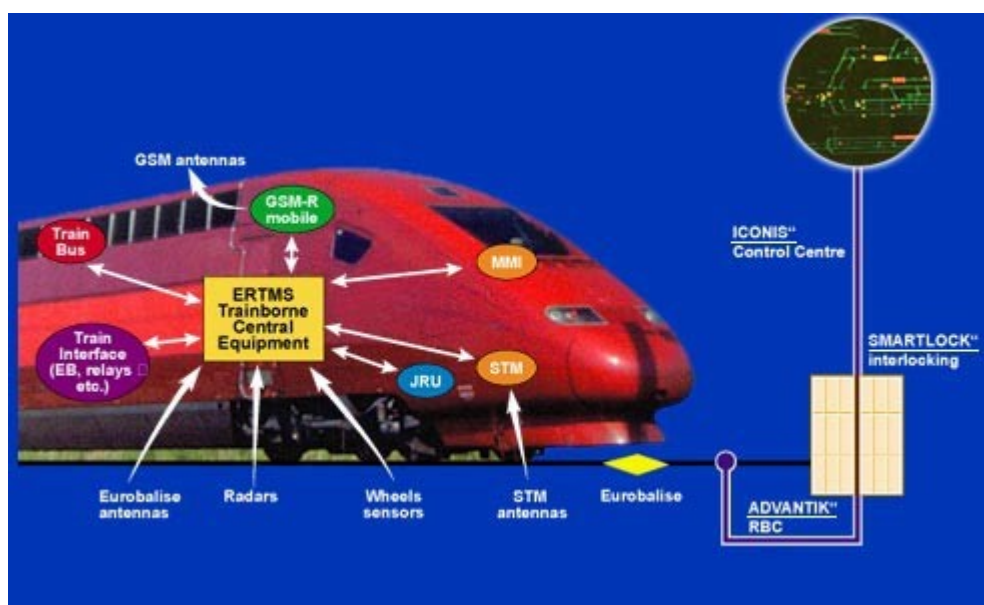


Figura 164 – ATLAS 200

Este equipamento incorpora um centro de controlo, encravamentos e produtos tradicionais de sinalização. A regulação do tráfego é gerada ao longo da via e transmitida para o comboio através do GSM-R. As EUROBALISE são usadas como equipamento de transmissão, principalmente para referência da localização. Os benefícios deste equipamento são:

- ▶ Interoperacionalidade.
- ▶ Velocidades superiores a 500 Km/h.
- ▶ ATP.
- ▶ Evolutivo para o ATLAS 300.
- ▶ Sem sinais ao longo da via, ou então, em número mínimo.
- ▶ Instalação e custos de manutenção mais baratos do que o ATLAS 100.
- ▶ Menor LCC (*Life Cycle Cost*).
- ▶ Transmissão contínua de GSM-R.

As principais funções a bordo são:

- ▶ Cálculo do perfil de velocidade dinâmica, tendo em conta, as características de circulação do comboio, que são conhecidas a bordo.
- ▶ Comparação da velocidade actual do comboio com a velocidade permitida e considerar a aplicação do freio, se necessário.
- ▶ Sinalização da cabine para o maquinista.
- ▶ Selecção do valor mais restritivo das diferentes velocidades permitidas em cada localização, onde irá ser feita a circulação.
- ▶ O comboio lê as EUROBALISE e envia a sua posição relativa às balizas detectadas, para o RBC.
- ▶ O comboio recebe a regulação do tráfego e todas as características da via, perfis de velocidade estática e distâncias a percorrer, através do GSM-R.

As principais funções ao longo da via são:

- ▶ Determinar a regulação do tráfego de acordo com o sistema de sinalização para cada comboio individualmente.
- ▶ Transmitir a regulação do tráfego e os dados da infra-estrutura a cada comboio individualmente.
- ▶ Encravamento para controlo do equipamento ao longo da via como aparelhos de mudança de via e sinais opcionais.
- ▶ Centro de controlo para gestão da rede.
- ▶ Sendo cada comboio equipado com o ERTMS/ETCS e circulando em zonas equipadas, dentro de cada RBC terá uma única identidade.
- ▶ Seguimento da localização de cada comboio equipado dentro da área do RBC.

5.4.6.3 – ATLAS 300

O ATLAS 300 (Figura 165) é um equipamento rádio de supervisão de velocidade baseado em sistemas de controlo de comboios com operação em cantão móvel. É baseado no GSM-R para as comunicações da via para o comboio e as EUROBALISE são usadas como equipamento de transmissão, principalmente para referenciação da localização. O RBC providenciará informação para os comboios e conhece cada comboio através da sua identidade única. A localização do comboio e a supervisão da sua integridade são realizadas ao longo da via pelo RBC em cooperação com o comboio.

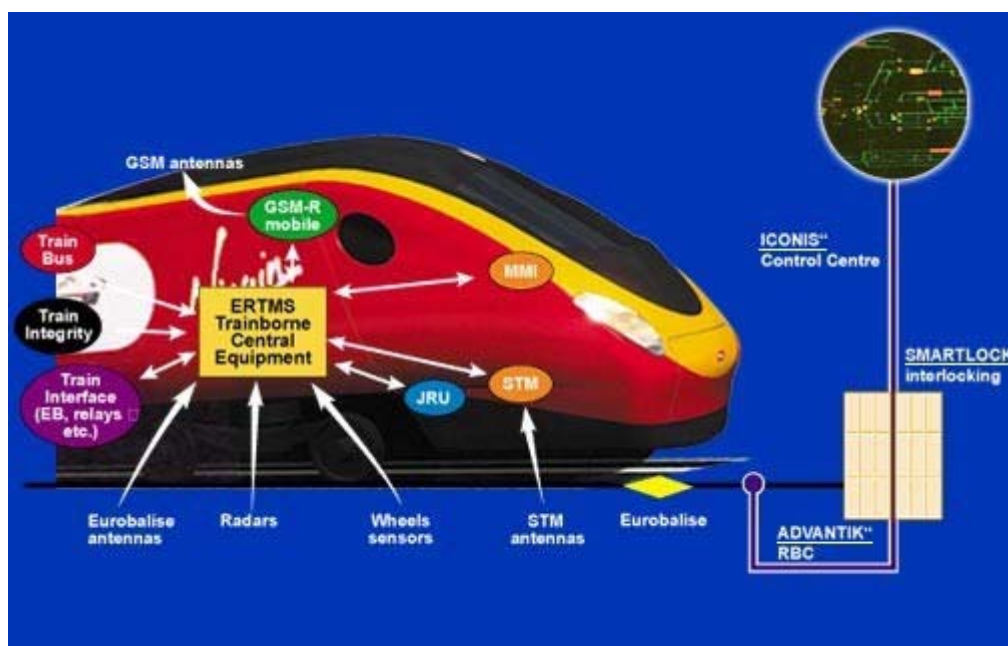


Figura 165 – ATLAS 300

Num sistema de cantão fixo, a via é fixa por diversas secções e geralmente só é permitido um só comboio em cada cantão. Num cantão móvel a área é definida pela distância de frenagem e pelo comprimento do comboio. Deste modo permite-se um melhor uso da via com menores intervalos entre comboios. Os benefícios deste equipamento são:

- ▶ Interoperacionalidade.
- ▶ Velocidades superiores a 500 Km/h.
- ▶ ATP.

- ▶ Instalação e custos de manutenção mais baratos do que o ATLAS 200.
- ▶ Menor LCC.
- ▶ Transmissão contínua de GSM-R.
- ▶ Operação em cantão móvel, para existirem menores distâncias entre comboios.
- ▶ Nenhum sinal ao longo da via.

As principais funções a bordo são:

- ▶ Cálculo do perfil de velocidade dinâmica, tendo em conta, as características de circulação do comboio, que são conhecidas a bordo.
- ▶ Comparação da velocidade actual do comboio com a velocidade permitida e considerar a aplicação do freio, se necessário.
- ▶ Sinalização da cabine para o maquinista.
- ▶ Selecção do valor mais restritivo das diferentes velocidades permitidas em cada localização, onde irá ser feita a circulação.
- ▶ O comboio lê as EUROBALISE e envia a sua posição relativa às balizas detectadas, para o RBC.
- ▶ O comboio recebe a regulação do tráfego e todas as características da via, perfis de velocidade estática e distâncias a percorrer, através do GSM-R.
- ▶ O comboio monitoriza a sua integridade e envia esta informação ao RBC.

As principais funções ao longo da via são:

- ▶ Determinar a regulação do tráfego para cada comboio individualmente.
- ▶ Transmitir a regulação do tráfego e os dados da infra-estrutura a cada comboio individualmente.
- ▶ Encravamento para controlo do equipamento ao longo da via como aparelhos de mudança de via.
- ▶ Centro de controlo para gestão da rede.
- ▶ Sendo cada comboio equipado com o ERTMS/ETCS e circulando em zonas equipadas, dentro de cada RBC terá uma única identidade.
- ▶ Seguimento da localização de cada comboio equipado dentro da área do RBC.
- ▶ Providenciar entradas para encravamentos e libertação de rotas, baseado-se na informação recebida do comboio.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E VISÃO DO FUTURO

6.1 – Conclusões

No início desta dissertação, foi definido como objectivo principal a integração do sistema de localização GPS no sistema de comunicações Rádio Solo Comboio, de modo a permitir efectuar uma monitorização real do comboio sobre uma rede ferroviária. De forma a concretizar este objectivo, o trabalho foi dividido em várias etapas.

Inicialmente, começou-se por estudar os sistemas de localização de comboios actualmente usados, especialmente para vias ferroviárias. Ao verificar-se que estes sistemas só são usados em linhas ferroviárias principais de elevado tráfego, constatou-se que existe uma falha no conhecimento da localização de comboios em vias ferroviárias secundárias de médio e baixo tráfego. Para colmatar esta lacuna, estudou-se o sistema de localização com maior utilização no meio civil, o GPS, com a perspectiva de o integrar num meio de comunicação rádio que permitisse a transmissão dos dados da localização do comboio para um posto regulador de tráfego.

Uma vez que quase todas as Unidades Motoras do Material Circulante se encontram equipadas com o sistema de comunicações Rádio Solo Comboio, e recentemente algumas destas Unidades começaram a ser equipadas com o *up-grade* GSM, integrado no Rádio Solo Comboio, escolheu-se este meio de comunicação para a transmissão dos dados de localização. Para tal, estudou-se o sistema Rádio Solo Comboio básico até à integração do GSM, assim como, um estudo tendo em vista a escolha do receptor GPS que pudesse ser facilmente integrável.

Como se viu na Figura 108, o sistema GPS foi integrado com sucesso no sistema de comunicações Rádio Solo Comboio, permitindo a localização do comboio ao longo da via ferroviária. Este sistema, foi posteriormente apresentado publicamente, em Julho de 2002, aos operadores ferroviários nacionais, numa sessão realizada no Hotel Tivoli Tejo, junto à Gare do Oriente, em Lisboa, através de um protótipo instalado a bordo de um comboio de passageiros, em serviço comercial entre as estações de Lisboa Santa Apolónia e Tomar.

Existem dois problemas principais que carecem de melhoramento. O primeiro, prende-se com a forma da transmissão dos dados do posto móvel para o posto fixo. Como já foi dito, esta

transmissão foi assegurada através do GSM com uma chamada contínua de dados, o que é extremamente oneroso. No entanto, no futuro está previsto o desenvolvimento desta comunicação ser feita através de SMS e/ou por GPRS, aquando da comercialização deste sistema.

A segunda dificuldade constata-se aquando da ausência da cobertura GSM dentro de túneis, assim como, a impossibilidade de aceder nestes locais ao sinal GPS. Para ultrapassar esta segunda questão, foi estudado e proposto no final do Capítulo 4, uma solução economicamente viável, recorrendo-se a um sistema de taquimetria, que equipa todas as Unidades Motoras. Para ultrapassar a ausência de sinal GSM, em túneis (e também em outros locais), os operadores ferroviários terão de assegurar junto de um dos operadores de comunicações móveis, a devida cobertura. Na ausência de sinal GSM, nas linhas equipadas com cobertura do sistema Rádio Solo Comboio, poderemos fazer o envio dos dados de localização GPS, por este meio alternativo.

Uma aplicação real deste sistema de localização, encontra-se a ser já instalado nalgumas Unidades Motoras, o sistema *Train Office*, descrito no início do Capítulo 5, que interligado com o Rádio Solo Comboio com GSM e GPS permitirá para além da localização real do comboio, fazer uma gestão adequada do Material Circulante, do pessoal e das mercadorias transportadas.

6.2 – Visão do Futuro

6.2.1 – Interoperacionalidade nos Sistemas de Localização por Satélite

Durante a fase de definição do sistema Galileo, a Comissão Europeia pretende que exista um elevado grau de interoperacionalidade com os sistemas contemporâneos. Este foi o maior objectivo deste projecto. A gama de sistemas mencionados como candidatos para a interoperacionalidade acima referida, incluem o GPS, GLONASS, EGNOS, SBAS, Loran-C, Eurofix e UMTS (*Universal Mobile Telephone System*).

Porém, o termo interoperacionalidade ainda não está bem definido e tem significados diferentes para muitas das pessoas envolvidas. Para além disso, é também esperada a definição das necessidades para a compatibilização destes sistemas, mas também aqui existem vários significados diferentes. Também se tem falado em integração.

Portanto, tenta-se criar uma estrutura que observe os problemas, de um ponto de vista real, agrupando todos os tópicos necessários, em função da interoperacionalidade. É claro que faz sentido que o sistema Galileo trabalhe harmoniosamente com a maior parte dos sistemas possíveis. A definição da interoperacionalidade dos sistemas de localização por satélite deve consistir nos seguintes pontos:

- Definição de uma metodologia e identificar todas as possibilidades de interoperacionalidade.
- Definição de uma metodologia para estruturar a possibilidade da interoperacionalidade.

Deve-se criar métodos coerentes de análise para a interoperacionalidade do sistema Galileo, pondo o respectivo receptor no coração de um sistema por camadas. Isto é uma razoável aproximação, desde que, o receptor do sistema Galileo seja o primeiro elemento activo, para interagir com o sinal vindo do próprio sistema.

O receptor terá de ter duas funções básicas. Deverá receber e decodificar o sinal de RF e processar os dados residentes no sinal, para calcular a informação da posição, da velocidade e da hora. Estas duas funções básicas do receptor poderão estar numa aplicação isolada ou integrada num sistema de multicamadas, como por exemplo:

- Poderá estar integrado com informação de outros sistemas de navegação, para providenciar uma solução integrada e precisa.

- A solução de navegação pode ser integrada num sistema de navegação e de comunicação.
- O sistema de navegação e de comunicação, pode estar integrado num veículo e todos os sistemas existentes podem ser integrados: posicionamento, comunicação, luzes, etc..

Os próximos níveis podem ser vistos em conjunto, como por exemplo, em sectores de transportes, regiões geográficas, em instituições, etc.. Mas deve-se manter uma análise baseada num conceito de utilização que abrangerá todos os aspectos.

Criando-se uma estrutura lógica de camadas com aplicação integrada, deve-se identificar as possibilidades de interoperacionalidade em cada uma das camadas, definindo níveis de interoperacionalidade que só podem ter lugar num nível adequado. A Figura 166 mostra as possibilidades principais de interoperacionalidade do sistema Galileo em cada camada. Note-se que a camada do receptor está dividida em dois níveis, ou seja, conceptualmente poderá ser possível dividir outras camadas em vários níveis de separação.

A lista dos candidatos à interoperacionalidade em cada nível não é exaustiva e irá acomodar as necessidades emergentes do estudo em progresso. Os níveis de 1 a 5 serão os principais, ao nível técnico. O nível 6 estuda as possíveis necessidades de construção de um conceito aproximado que irá conter níveis técnicos, legais, comerciais e institucionais.

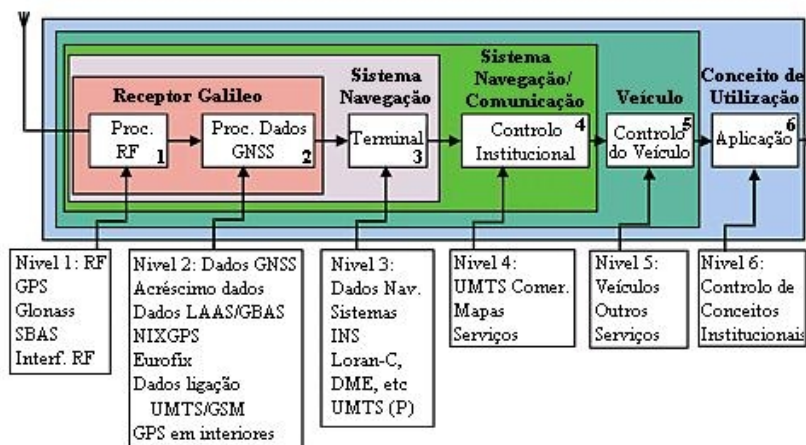


Figura 166 – Possibilidade de interoperacionalidade, em cada camada

A interoperacionalidade com as comunicações móveis da terceira geração, poderá ser um bom exemplo. Neste caso, deverá ser analisada em vários níveis:

1. Para garantir a interoperacionalidade no nível 1, num sistema integrado UMTS/Galileo, os sinais RF do UMTS não deverão interferir nos sinais do sistema Galileo.
2. No nível 2, o UMTS poderá transportar mensagens de integridade ou de diferenciação do sistema Galileo. O UMTS pode também assegurar a cobertura do posicionamento no interior de edifícios, usando o sistema UMTS como transporte dos dados actualizados das órbitas dos satélites.
3. No nível 3, a posição calculada pela triangulação de um sinal UMTS pode ser comparada com a posição derivada do sistema Galileo, através de um filtro de navegação.
4. No nível 4, a ligação ao UMTS pode ser usada para transferir os dados da localização para um mapa ou um cartaz digitalização.
5. No nível 5, a interoperacionalidade provavelmente poderá não ser necessária para o UMTS.
6. Finalmente, no nível 6 existe a questão dos constrangimentos legais ou institucionais, que podem ser envolvidos num conceito de utilização. Ou seja, no nível 6, as questões legais, institucionais, técnicas e comerciais têm de ser estudadas.
7. Os candidatos à implementação de interfaces comerciais comuns, terão de ser identificados.
8. O formato dos dados deverá ser compatível para uma fácil interoperacionalidade.

9. A frequência de trabalho é a essência de um simples ponto técnico. Este deve ser caracterizado por acordos internacionais.
10. A estrutura do sinal deverá ser tão importante como a frequência, visto que, as velocidades de transmissão dos dados dos sinais têm um forte impacto na largura de banda.

6.2.2 – Evolução do GSM

Devido à rotação de equipamento na rede de GSM 900, 1800 e 1900, este manter-se-á altamente competitivo dentro da próxima década. Isto irá garantir o investimento dos fornecedores na investigação e no desenvolvimento, aumentando o desempenho e a funcionalidade do sistema, assim como, a continuação do suporte do GSM padronizado, a curto ou longo prazo.

As redes de GSM-R irão de certeza ser beneficiadas, da evolução forçada vinda do vasto mercado do GSM público. Este capítulo irá concentrar-se naqueles campos particulares, onde a evolução do GSM já está especificada e, nos interesses particulares para os caminhos de ferro, mantendo na ideia que muitos outros melhoramentos também poderão vir a ser aplicáveis.

6.2.3 – Uso de uma IN para o GSM-R

A tendência comum no GSM público é de implementar novos serviços suplementares, não nos elementos da rede do GSM, mas na IN. As vantagens são claras e evidentes:

- Os operadores de rede não necessitam de fazer os vários *up-grades* dos elementos de rede, quando introduzem novos serviços na sua rede.
- Os serviços são baseados nos SIB (*Service Independent building Blocks*), que irão permitir projectos modulares de serviços e reutilização de SIB.
- A introdução de novos serviços é possível em tempo e custo, salvaguardando a base.
- Com a próxima padronização do interface CAMEL (*Customized Applications for Mobile Networks Enhanced Logic*) a IN torna-se interoperável. Assim a introdução de novos serviços numa rede de vários fornecedores, não é mais dependente das características coincidentes, entregues pelos diferentes fornecedores.
- Acesso a um serviço próprio, pode ser possível para grupos de utilizadores, como companhias de transporte de mercadorias, operadores ferroviários regionais e outros, sem permitir o acesso à rede de GSM-R. Assim terminais de apoio a cliente podem ser colocados em qualquer ponto necessário, dentro ou fora das organizações com acesso limitado às funções necessárias.

Como se mostrou atrás, plataformas IN são muito mais flexíveis para operar. Alguns operadores europeus, com redes de comunicação ferroviária, já tiveram de decidir a implementação do endereçamento funcional, em plataformas IN. Para estes clientes, está implementado uma solução IN, baseada neste serviço que é totalmente interoperável com outras redes de GSM-R (baseada no HLR), como proposto pelo EIRENE/MORANE.

Outro exemplo, é o LDA (*Location Dependent Addressing*). A actual implementação do serviço, baseada no MSC, providencia um nível de exactidão limitado pela célula de GSM. Serviços de localização na fase 2+ do GSM, que ainda não estão completamente especificados, irão permitir uma exactidão de 10 a 100 metros. Os operadores ferroviários, continuarão a necessitar de um maior nível de exactidão, dependendo da aplicação. Por isso, foi decidido juntamente com alguns operadores europeus de comunicações ferroviárias implementar o LDA numa plataforma IN. Os dados da posição podem ser fornecidos via protocolo IP (*Internet Protocol*), para a IN, fazendo a fonte de dados muito flexível. O operador de rede ferroviária pode usar qualquer dado de posição, como o GPS, informação de balizas ou outras que ele possa fornecer via IP.

Serviços associados, como uma VPN (*Virtual Privat Network*) ou um NPS (*Number Portability Services*) podem desenvolver a eficiência operacional e diminuir custos de comunicação, na rede ferroviária. Convergência fixa para móvel, pode ser usada para integrar as redes fixas ferroviárias, existentes no GSM-R. Muitas outras aplicações irão caminhar para as necessidades dos caminhos de ferro, num futuro próximo. Assim acredita-se que a introdução de uma plataforma IN na rede de GSM é um investimento seguro a longo prazo, com benefícios na funcionalidade e na operação de rede.

6.2.4 – Evolução dos serviços de dados no GSM

Nas redes do GSM público, este é até à data um sistema centrado na voz. As capacidades de dados do GSM não têm sido muito usadas, apesar do seu avanço nas capacidades de dados. As duas maiores razões para tal, podem ser identificadas como:

- As taxas de transmissão de dados, dos serviços suportados pelo GSM, são muito baixas (9,6 Kbps máxima).
- Aplicações e terminais não estão disponíveis, a tempo da introdução de serviços na rede.

Actualmente, a situação está a mudar rapidamente. Acesso à Internet móvel e serviços telemáticos, estão a um passo do uso do público em geral, como a identificação de veículos, informação de mercadorias e outros serviços usando os serviços de dados do GSM.

Duas necessidades podem ser claramente identificadas pelo mercado. Por um lado, maior largura de banda é necessário. Por outro lado, muitas aplicações, como serviços de telemática ou muitas aplicações ferroviárias têm baixas taxas de transmissão de dados e têm uma típica transmissão *burst*.

- ◆ Começando com uma taxa de transmissão de dados de 14,4 Kbps, esta será aumentada com tecnologia de comutação de circuito de dados. O HSCSD (*High Speed Circuit Switched Data*) irá usar agregação de canais para permitir uma elevada transmissão de dados. Começando com 28,8 Kbps, taxas de transmissão de 64 Kbps, como a da ISDN, são tecnicamente possíveis com o HSCSD. Contudo, serviços de comutação de circuitos como o HSCSD necessitam de dois TCH (*Traffic Channel*), como um mínimo por ligação. Assim, aconselha-se o HSCSD como uma boa escolha para aplicações com constrangimentos de tempo real rígidos e com transferência de dados volumosos.
- ◆ Uma introdução tecnológica no GSM é a introdução do GPRS. Com a implementação do GPRS, as redes do GSM serão alargadas para a transmissão em modo de pacote e com interfuncionamento directo com as rede de IP. Elementos da rede de GPRS são construídos adicionalmente para a implementação da infra-estrutura da rede. O GPRS irá suportar ambas as transferências de dados, tipo volumoso ou tipo *burst*, com a vantagem de os derradeiros recursos da rede dos canais de tráfego (frequências) poderem ser usados economicamente. Uma vez que o GPRS representa a única oportunidade de realçar o GSM-R, seguidamente, descrevem-se as maiores vantagens e os possíveis constrangimentos do GPRS, no envolvimento ferroviário.

6.2.5 – GPRS no envolvimento ferroviário

Um dos principais problemas para o GSM-R é a eficiência espectral. O uso económico de frequências, é de especial importância para as comunicações ferroviárias do operador, visto que, a

banda de frequências da UIC é limitada a 4 MHz (20 canais de rede digital ou, em modo de comutação de circuitos, 150 canais de tráfego).

O GPRS, como um serviço de pacotes de dados, restringe o uso do canal de tráfego ao tempo da transmissão do pacote de dados respectivo. Vários utilizadores (até 8) podem aceder simultaneamente a um PDTCH (*Packet Data Traffic Channel*). Isto faz com que, o GPRS seja excepcionalmente, bastante adequado para qualquer aplicação que necessite de transferência de dados tipo *burst*, numa taxa de transmissão de dados baixa, guardando assim o TCH, para outras aplicações.

Para transmissão volumosa de dados, o GPRS pode oferecer uma velocidade de transmissão até 120 Kbps, usando reservas adiantadas e sistemas de codificação de canais com todos os oito *time-slots* disponíveis, para uma frequência de transmissão. Esta velocidade de transmissão é então, para ser partilhada por todos os utilizadores de GPRS presentes na célula nesse tempo preciso. Para além disso, esta velocidade de transmissão de dados é afectada pela razão Célula/Interferência disponível na chamada de rádio. Outra vantagem do GPRS, deriva da tecnologia de comutação de pacotes. Capacidade de multi-sessões num simples móvel, evita a necessidade de vários móveis (um para cada aplicação).

Numa segunda fase, o GPRS irá também providenciar a transmissão de dados *Point-to-Multipoint*. Em previsão estão a transmissão *Multicast*, *IP Multicast* e chamada de dados em grupo. O único outro tipo de transmissão de dados com capacidades de *broadcast* no GSM, a SMS-CBS, não oferece uma velocidade de transmissão de dados equivalente e não deverá ser usado para aplicações de segurança crítica, devido ao seu comportamento em tempo não real.

6.2.5.1 – Hipóteses de aplicações ferroviárias com o GPRS

Excluindo as aplicações críticas em tempo real, todas as aplicações ferroviárias baseadas na transferência de dados podem ser suportadas pelo GSM-R, como as seguintes:

- Transferência de ficheiros.
- Sistema de correio electrónico.
- *Intranet* ferroviária móvel.
- “Escritório” móvel.
- Informações de *broadcast*.
- Rotas de veículos e de mercadorias.
- Serviços para passageiros, como compra/reserva de bilhetes *on-line*.

O actual nível 1 do ERTMS/ETCS é baseado em ligações de dados de circuitos comutados. Uma vez que esta aplicação requer inicialização de chamada para cada *interlocking* electrónico, a sinalização carregada na rede de GSM-R é altamente considerada, enquanto a transmissão de dados tipo *burst* são bastante curtos. Uma vez que não existem exigências estritas para o comportamento em tempo real, esta aplicação deverá ser baseada no GPRS, depois da sua validação nas redes públicas.

Os actuais níveis 2/3 do ERTMS/ETCS, requerem ligações de dados de circuitos comutados, com atrasos de transferência abaixo dos 450 ms e taxas de erro de transmissão de *bits* extremamente baixas. A ligação de segurança crítica é estabelecida ponto-a-ponto através do protocolo HDLC, entre o computador ATP no comboio e o RBC. Actualmente não existe nenhuma evidência clara, se o atraso da transferência abaixo dos 450 ms pode ser atingido com o GPRS, especialmente se a rede estiver em subcarga e se a razão C/I estiver diminuindo. Além disso, o protocolo HDLC, como um protocolo ponto-a-ponto, não pode ser usado com o GPRS. Tomando isto em consideração, o GPRS deverá ser validado num envolvimento carregado, que poderá ser uma via equipada com o ERTMS/ETCS, para garantir que uma situação de carga real, é aquela rede ferroviária. Por outro lado, parceiros industriais do ERTMS/ETCS necessitam de definir um interface de pacote de dados com um protocolo de segurança. Sendo assim, acredita-se que o uso do GPRS para os níveis 2/3 do ERTMS/ETCS irá ser uma solução a longo prazo.

6.2.6 – Possíveis aplicações futuras com o GPS/GSM

Como já foi dito, os futuros sistemas de sinalização ferroviária irão ser instalados em todas as linhas de alta velocidade e nas linhas principais de cada país europeu. Sendo assim, temos as linhas regionais de médio/baixo tráfego nas quais não é financeiramente viável instalar estes futuros sistemas.

Os operadores poderão nesses locais potencializar as possibilidades de utilização dos sistemas GPS/GSM em funcionamento conjunto. A associação destes dois sistemas poderá tornar-se uma ferramenta muito poderosa que permitirá através da localização do comboio, via GPS, accionar transmissão de voz e dados para locais específicos da via, através do sistema GSM. Eis alguns exemplos:

- ▶ Informação de aproximação de um comboio, quer através de som quer através de dados para os apeadeiros, estações e passagens de nível, em linhas regionais. Esta informação sonora também será útil para equipas de manutenção que se encontrem a trabalhar ao longo da via, nomeadamente em locais de difícil resguardo de pessoas e ferramentas, como são os túneis e pontes.
- ▶ Alteração automática dos dados das velocidades máximas permitidas, em balizas de informação variável, como são os casos de afrouxamento, motivados por obras de manutenção da via ou por alterações pontuais das condições da via.
- ▶ Possibilidade de monitorização e controlo da velocidade do comboio, através da velocidade fornecida pelo sistema GPS, em vias não equipadas com o sistema ATP.
- ▶ Sabendo-se a localização do comboio poderemos accionar câmaras de vídeo para monitorização do estado da via à frente do comboio. Isto é particularmente útil, em locais montanhosos onde se verificam regularmente derrocadas de pedras ou aluimento de terras e que posteriormente provocam acidentes com alguns danos físicos e materiais.
- ▶ Através do sistema GSM poderemos transmitir dados de informação sobre um determinado local crítico da circulação na via, para um centro de controlo, tal como, a informação meteorológica em declives acentuados, onde por vezes comboios pesados de mercadorias não conseguem subir devido à forte humidade existente ou então fazem-no muito lentamente, provocando grandes atrasos na circulação. Também o envio de informação de vigilância das cabines de condução ou parques de depósito de comboios, poderá ser bastante útil.

6.2.7 – Evolução para o UMTS

Sistemas de comunicações móveis começaram à cerca de 30 anos atrás com sistemas analógicos, com capacidades de rede limitadas. Estes e também as redes analógicas celulares na gama dos 450 MHz e do 900 MHz são consideradas as de tecnologia da primeira geração.

Sistemas como o GSM devem ser considerados com tecnologia de segunda geração. A estrutura da rede é ainda celular mas a ligação e os serviços são iguais para a ISDN, do lado das redes fixas. Benefícios destas vantagens do GSM-R e o facto, de este sistema já ter alguns anos no mercado comercial, mas ainda em progresso, devido às especificações e aos desenvolvimentos promovidos.

A nova tecnologia da terceira geração, actualmente especificada e em implementação, chamada UMTS irá adicionar largura de banda a pedido dos sistemas de comunicação móveis. Isto é necessário desde que exista uma clara evidência que as aplicações móveis de dados estão num mercado de rápido crescimento. Com o UMTS, aplicações de verdadeira multimédia, com uma velocidade de transmissão de dados muito elevada, em modo de tempo real, será tornado possível. Em contradição, o GPRS com GSM, que abria o mercado para aplicações com elevadas taxas de dados, nunca terá uma velocidade de transmissão comparável ao do UMTS.

Actualmente, não existe uma evidência real que o UMTS poderá ser do interesse para os operadores ferroviários nos próximos anos. Aplicações especificadas pelo EIRENE e outras aplicações previsíveis apenas necessitam das funcionalidades características como as especificadas na fase 2 e fase 2+ do GSM. O GPRS irá ser uma extensão bem vinda das redes de GSM-R, devido ao facto que a transferência de dados tipo *burst* irá nitidamente baixar a transferência volumosa de dados nas redes ferroviárias. Adicionalmente, a comunidade ferroviária irá ter de apelar novamente para o espectro de frequências. Espera-se que o UMTS irá estar no mercado com a sua primeira *release*, nos próximos anos. Para alcançar a estabilidade e as características os operadores ferroviários poderiam aceitar um outro sistema de comunicação, mas deveria ser antecipado de 2 a 3 anos. Para sintetizar, o UMTS está definitivamente atrasado e oferece funcionalidades que actualmente não são necessárias pelos operadores ferroviários. Como as redes de GSM-R existentes irão oferecer ligação ao UMTS, então os conjuntos de características serão equilibrados, acreditando-se que o GSM-R irá beneficiar com as características do UMTS. Se os operadores ferroviários pensarem realmente no UMTS, irá ser principalmente no campo dos serviços para passageiros, como permitir aplicações multimédia nos comboios. Sendo assim, o UMTS poderá ser introduzido no GSM-R, como uma extensão quer pela reutilização da infra-estrutura do GSM, quer pela simples ligação das redes UMTS públicas às redes de GSM-R, sempre que desejado.

6.2.8 – Conclusão

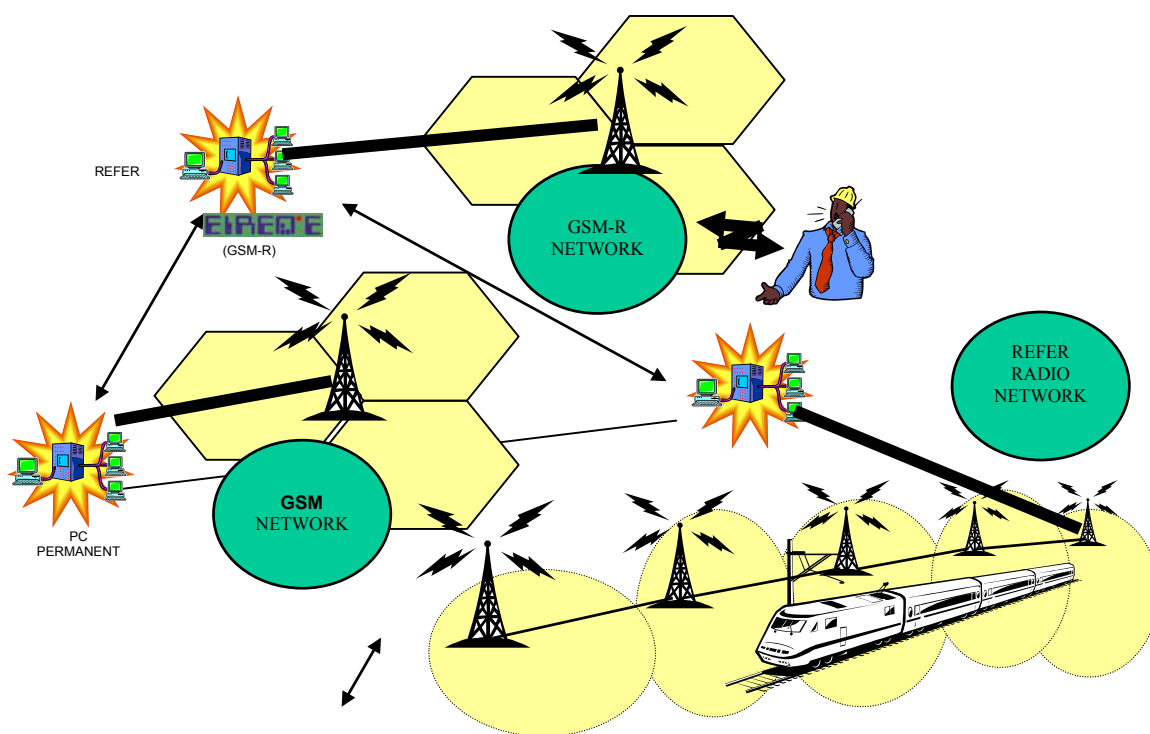


Figura 167 – Futuro das Comunicações Ferroviárias em Portugal

No momento actual e relativamente ao sistemas Rádio Solo Comboio, convém garantir compatibilidade com o GSM-R e ainda a possibilidade de exploração simultânea do futuro sistema digital e do sistema rádio solo comboio CP-N durante a fase de migração. Ou seja, um sistema indiferente ao meio de comunicação rádio utilizado, poderá operar tendo como meio de suporte um sistema rádio analógico (rádio solo comboio CP-N, sistema *trunking* MPT 1327, etc.) ou um sistema rádio digital (TETRA, GSM, GSM-R ou UMTS), bastando para tal usar o módulo e o *driver* respectivo (Figura 167).

ACRÓNIMOS

AC	–	Authentication Center
A.e	–	Ampere.espira
AP	–	Anúncio a Passageiros
ARNS	–	Aeronautical Radio Navigation Service
ASCI	–	Advanced Speech Call Items
ASCII	–	American Standard Code for Information Interchange
ATC	–	Automatic Train Control
ATP	–	Automatic Train Protection
BA	–	Bloco de sintonia
BF	–	Baixa Frequência
BG550	–	MMI do RSC
BHCA	–	Busy Hour Call Attempt
BIOS	–	Basic Input-Output Systems
BOC	–	Binary Offset Carrier
bps	–	bits por segundo
BPSK	–	Binary Phase Shift Keying
BS	–	Base Station
BSC	–	Base Station Controller
BSS	–	Base Station Subsystem
BTM	–	Balise Transmission Module
BTS	–	Base Transceiver Station
C/A	–	Coarse Acquisition ou Clear Acquisition
C/I	–	Carrier to Interference ratio
CA	–	Corrente Alterna
CAMEL	–	Customized Applications for Mobile Networks Enhanced Logic
CARAT	–	Computer And Rádio Aided Train
CAS	–	Controlled Access Service
CBS	–	Cell Broadcast Service
CBTC	–	Communications Based Train Control
CCIR	–	Comité Consultatif International des Radiocommunications
CCITT	–	Committee for International Telegraph & Telecommunications
CDMA	–	Code Division Multiple Access

CdV	–	Circuito de Via
CENELEC	–	Comite Européen de Normalisation Electrotechnique
CI	–	Caixa Indutiva
CI	–	Cell Identifier
CIA	–	Caixa de Impedância, lado emissão (Alimentação)
CIR	–	Caixa de Impedância, lado Recepção
CLIP	–	Calling Line Identification Presentation
CLIR	–	Calling Line Identification Restriction
CMOS	–	Complementary Metal Oxide Semiconductor
COLP	–	COnnected Line identification Presentation
COLR	–	COnnected Line identification Restriction
CP	–	Caminhos de Ferro Portugueses, EP
CP-N	–	Normalização CP
CR	–	Carriage Return
CS	–	Checksum
CT	–	Craft Terminal
CTC	–	Controlo Tráfego Centralizado
dB	–	Decibel
DC ou CC	–	Corrente Contínua
DECT	–	Digital Enhanced Cordless Telecommunication
DGPS	–	Differential GPS
DIPX	–	Diplexer
DME	–	Distance Measurement Equipment
DOD	–	Department Of Defense
DOP	–	Dilution Of Precision
E.164	–	CCITT Recommendation (Numbering plan for the ISDN era)
EB	–	Estação Base
EDSS	–	European Digital Subscriber Signalling System
EFR	–	Enhanced Full Rate
EGNOS	–	European Geostationary Overlay Service
EIA	–	Electronic Industries Association
EIR	–	Equipment Identification Register
EIRENE	–	European Integrated Railway radio Enhanced Network
EMI	–	ElectroMagnetic Interference
eMLPP	–	enhanced Multi-Level Precedence and Pre-emption service
EOTP	–	Enhanced Observed Time Difference
ERRI	–	European Rail Research Institute
ERTMS	–	European Rail Traffic Management System
ESA	–	European Space Agency
ETCS	–	European Train Control System
ETSI	–	European Telecommunications Standards Institute
EUA	–	Estados Unidos da América
EVC	–	European Vital Computer
EWSD	–	Elektronisches WählSystem Digital (Digital Switching System)
FA	–	Futuras Aplicações
FDMA	–	Frequency Division Multiple Access
FFSK	–	Fast Frequency Shift Keying
FM	–	Frequency Modulation
FN	–	Functional Number
FO	–	Fibra Óptica
FR	–	Full Rate
FSK	–	Frequency Shift Keying
GAS	–	Governmental Access Service
GCR	–	Group Call Register
GDOP	–	Geometric Dilution Of Precision
GGA	–	Fix Data
GIS	–	Geographic Information System
GLL	–	Geographic Position Latitude/Longitude

GLONASS	–	GLObal'naya NAvigatsionnaya Sputnikova Sistem
GP	–	GPS
GPRS	–	General Packet Radio Services (in GSM)
GPS	–	Global Positioning System
GSA	–	DOP and Satellites in View
GSM	–	Global System for Mobile Communication
GSM-R	–	Global System for Mobile Communication (for Railway applications)
GSV	–	Satellites in View
HDLC	–	High Level Data Link Control protocol
HDOP	–	Horizontal Dilution Of Precision
HDSL	–	High speed Digital Subscriber Line
HLR	–	Home Location Register
HOW	–	HandOver Word
HSCSD	–	High Speed Circuit Switched Data
Hz	–	Hertz
ICN VD	–	Information and Communication Networks Vertrieb Deutschland
ICP	–	Instituto das Comunicações de Portugal
ID	–	IDentification
ILO	–	Interface de Ligação Óptico
IMEI	–	International Mobile Equipment Identify
IMSI	–	International Mobile Subscriber Identity
IN	–	Intelligent Network
IP	–	Internet Protocol
IR	–	Infra Red
ISDN	–	Integrated Services Digital Network
JES	–	Juntas Eléctricas de Separação
JI	–	Juntas Isolantes
JRU	–	Juridical Recorder Unit
Kg	–	Kilograma
LAC	–	Local Area Code
LAK	–	Interface de Alta Impedância
LAN	–	Local Area Network
LBS	–	Location Based Services
LCC	–	Life Cycle Cost
LEU	–	Line side Electronic Unit
LF	–	Line Feed
LOP	–	Line Of Position
LSB	–	Less Significant Bit
LTM	–	Loop Transmission Module
m	–	metro
MAC	–	Message Authentication Code
MCAR	–	Multiple Carrier Phase Ambiguity Resolution
MCC	–	Mobile Country Code
MLPP	–	Multi-Level Precedence and Pre-emption service
MMI	–	Man Machine Interface
MNC	–	Mobile Network Code
MO	–	Mobile Originated
MOC	–	Mobile Originated Call
MORANE	–	MOBILE RAdio for Railways NETworks in Europe
MoU	–	Memorandum of Understanding
MS	–	Mobile Subscriber ou Mobile Station
MSB	–	Most Significant Bit
MSC	–	Mobile Switching Centre
MSISDN	–	Mobile Station ISDN Number
MT	–	Mobile Terminated
MTC	–	Mobile Terminated Call
NAVSTAR	–	NAVigation System with Time And Ranging
NetBEUI	–	NetBIOS Extended User Interface

NMEA	–	National Marine Electronics Association
NMR	–	Network Measurement Results
NPS	–	Number Portability Services
NTPM	–	Network Termination Point Module
OAS	–	Open Access Service
OEM	–	Original Equipment Manufacturer
OLIVE	–	Overhead Line Inspection by Vehicular Equipment
ORD	–	Unidade Recolha Dados
P	–	Precision
PABX	–	Private Automatic Branch eXchange
PAMR	–	Public Access Mobile Radio
PC	–	Personal Computer.
PCL	–	Posto de Comando Local
PDA	–	Personal Digital Assistant
PDH	–	Plesiochronous Digital Hierarchy
PDOP	–	Position Dilution Of Precision
PDTCH	–	Packed Data Traffic Channel
PF	–	Posto Fixo
PLL	–	Phase Locked Loop
PLMN	–	Public Land Mobile Network
PM	–	Phase Modulation
PM	–	Posto Móvel
PMR	–	Private Mobile Radio
PP	–	Posto Portátil
PPS	–	Precise Positioning Service
PPS	–	Pulse Per Second
PR	–	Posto Regulador
PRN	–	Pseudo Random Noise
PSTN	–	Public Switched Telephone Network
PT	–	Posto Transportável
PTT	–	Push To Talk
QoS	–	Quality of Services
QPSK	–	Quadrature Phase Shift Keying
RAC	–	Railway Access Code
RAM	–	Random Access Memory
RBC	–	Radio Block Center
RDS	–	Radio Data System
REFER	–	REde FERroviária Nacional, EP
RF	–	Radio Frequency
RFI	–	RF Interference
RMC	–	Recommended Minimum Specific GPS/Transit Data
RSC	–	Rádio Solo Comboio
RTCM	–	Rádio Technical Commission for Maritime Services
RTK	–	Real Time Kinematic
RTM	–	Radio Transmission Module
Rx	–	Receptor
SACCH	–	Stand-Alone Control CHannel
SAS	–	Safety of live Access Service
SBAS	–	Satellite Based Augmentation System
SCI	–	Subscriber Controller Input
SCP	–	Service Control Point
SDH	–	Synchronous Digital Hierarchy
SDM	–	Short Data Message
SE550	–	Transceptor do RSC
seg	–	segundo
SELTRAC	–	Speed Enforcement System TRACK
SIB	–	Service Independent building Blocks
SIM	–	Subscriber Identify Module

SIR	–	Sistema de Integração de Reguladores
SMG	–	Special Mobile Group
SMP	–	Service Management Point
SMS	–	Short Message Service
SPMU	–	SPeed Monitoring Unit
SPS	–	Standard Positioning Service
SPS	–	Symbols Per Second
SR	–	Sector de Regulação
SRAM	–	Static RAM
SSI	–	Solid State Interlocking
SSP	–	Service Switching Point
SSS	–	Switching SubSystem
STM	–	Specific Transmission Modules
TA	–	Time Advance
TBS	–	Transmission Based Signalling
TCAR	–	Triple Carrier Phase Ambiguity Resolution
TCH	–	Traffic CHannel
TCP	–	Transmission Control Protocol
TDMA	–	Time Division Multiple Access
TETRA	–	TErrestrial Trunked RAdio
TIU	–	Train Interface Unit
TK	–	Telecommunication
TLM	–	TeLeMetry word
TOA	–	Time Of Arrival
TRAU	–	Transcoding Rate Adaption Unit
TSI	–	Technical Specifications for Interoperability
TTL	–	Transistor Transistor Logic
TTF	–	Time To First Fix
TVA	–	Transformador de alimentação (circuito monocarril)
Tx	–	Transmissor
UCL	–	Unidade de Comando Local
UHF	–	Ultra High Frequency
UIC	–	Union International de Chemin de fer
UIN	–	User Identifier Number
UJT	–	Unipolar Junction Transistor
UMTS	–	Universal Mobile Telephone System
UPS	–	Uninterrupted Power Supply
UR	–	Unidade de Registo
USNO	–	United States Naval Observatory
USSD	–	Unstructured Supplementary Service Data
UTC	–	Universal Time Coordinated
UUS.1	–	User to User Signalling 1
VA	–	Volt.Ampere
VBS	–	Voice Broadcast Service
VCC	–	Vehicle Control Centre
VDOP	–	Vertical Dilution Of Precision
VGCS	–	Voice Group Call Service
VLR	–	Visitor Location Register
VMSC	–	Visited MSC
VOBC	–	Vehicle On-Board Computer
VPN	–	Virtual Privat Network
VSWR	–	Voltage Standing Wave Ratio
VTG	–	Track Made Good and Ground Speed
W	–	Watt
WAN	–	Wide Area Network
WN	–	Week Number
ZDA	–	Time and Date
ZVEI	–	ZentralVerband der Elektrotechnik urd ElektronikIndustrie

REFERÊNCIAS



- [1] Mobile Station (MS) conformance specification. ETS 300 607-1 (GSM 11.10), ETSI recommendation, 1997.
- [2] Michel Mouly. The GSM System for Mobile Communications. Palasieu, France, 1992.
- [3] Tsui, J. Bao-Yen. Fundamentals of global positioning system receivers: A Software Approach, Chapter 2, Wiley series in microwave and optical engineering.
- [4] C. Drane, M. Macnaughtan, C. Scott, "Positioning GSM Telephones," IEEE Communications Magazine, April 1998
- [5] ETSI TC-SMG, 'European digital telecommunicationns system (Phase 2); Radio subsystem synchronization (GSM 05.10)'. ETSI-European Telecommun. Standards Institute, January 1994, Version 4.4.0
- [6] GELB, A., et al.: 'Applied optimal estimation' (The MIT Press, Cambridge Mass., 1974)
- [7] ETSI TC-SMG: 'European digital telecommunications system (Phase 2); Rádio subsystem synchronisation (GSM 05.10)'. ETSI - European Telecommunications Standards Institute, May 1996, 6th edn.

- [8] ETSI STC-SMG1, Nokia Telecommunications: 'Report of location services'. Doc. TDoc SMG1 418/95

- [9] "Method for positioning GSM mobile stations using absolute time delay measurements", Electron. Lett., vol. 33 no. 24, pp. 2019 - 2020, Nov. 1997

- [10] Denaro, R. P. "Simulation and Analysis of Differential GPS", Proceeding of the ION National Meeting, San Diego, January 1984

- [11] GPS Made Easy - Letham, Lawrence - Canadá - 1996

- [12] Kaplan, E. D. "Understanding GPS – Principles and Applications", Artech House Publishers - Boston • London

- [13] Manual de Operação do receptor GPS 25 LP, fabricado pela Garmin

- [14] Manual de Operação do receptor GPS Oncore, fabricado pela Motorola

- [15] Sistema Rádio Solo Comboio, Curso de Manutenção de 1ª Linha, Posto Regulador, NEC Portugal. Edição 2000


- [16] Sistema Rádio Solo Comboio, Curso de Manutenção de 1ª Linha, Posto Fixo, NEC Portugal. Edição 2000

- [17] Sistema Rádio Solo Comboio, Curso de Manutenção de 1ª Linha, Posto Móvel, NEC Portugal. Edição 2000

- [18] Revista FERXXI da Associação para o Desenvolvimento Ferroviário (ADFER)

- [19] Drane, C. "Positioning Systems in Intelligent Transportation Systems", Artech House Publishers - Boston • London

SITES



- [20] www.uic.asso.fr
- [21] www.alcatel.com
- [22] www.ertms.com
- [23] www.eirene-uic.org
- [24] www.etsi.org
- [25] www.invensys.com
- [26] www.alstom.com
- [27] www.transport.bombardier.com
- [28] www.ansaldo.it
- [29] www.railjournal.com
- [30] www.galileosworld.com
- [31] www.siemens.com
- [32] www.trainweb.org