



Luis Carlos
Oliveira
Carvalho

Sistemas de Recepção de Imagens de
Satélite: Implementação e Aplicações.



**Luis Carlos
Oliveira
Carvalho**

Sistemas de Recepção de Imagens de Satélite: Implementação e Aplicações.

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Física Aplicada, realizada sob a orientação científica da Dr.^a Maria de los Dolores J. Manso Orgaz, Professora Associada do Departamento de Física da Universidade de Aveiro

o júri / the jury

presidente / president

ABC

Professor Catedrático da Universidade de Aveiro (por delegação da Reitora da Universidade de Aveiro)

vogais / examiners committee

Professora Doutora Maria de los Dolores J. Manso Orgaz

Professora Associada da Universidade de Aveiro (orientadora)

Professor Doutor João de Lemos Pinto

Professor Catedrático no Departamento de Física da Universidade de Aveiro

KLM

Professor Catedrático da Universidade N

agradecimentos / acknowledgements

Apesar de pensadas e escritas por um, estas páginas devem muito do que nelas fica expresso a muitos. De entre esses, a quem justamente são devidos os agradecimentos e o meu sincero reconhecimento, serão especialmente de referir o Dr. Yoshihiro Yamazaki, para com quem a dívida de gratidão contraída fica muito aquém da amizade. Visionário da implementação de estações de recepção de informação de satélites no Departamento de Física da Universidade de Aveiro, foi, em virtude da sua inquestionável experiência no ramo, um verdadeiro ponto de referência, não só pelo apoio, pelas discussões científicas e pelas valiosas sugestões, mas também pelas críticas sempre interessadas e pertinentes, que, indubitavelmente, em muito contribuíram para levar este trabalho a bom porto.

Por outro lado, gostaria igualmente de agradecer à Professora Doutora Maria Dolores Orgaz, pela responsabilidade assumida na orientação deste trabalho, bem como pela disponibilidade e interesse com que acompanhou esta investigação.

À Professora Doutora Maria Paula Carvalho, coordenadora da Área Científica de Ciências da Natureza da Escola Superior de Educação de Viseu, agradeço pelo interesse dedicado a este trabalho, pela premência dos seus comentários e por todo o apoio prestado.

Manifesto ainda os meus agradecimentos à minha companheira Verónica, pelo amor, carinho, paciência e compreensão, bem como pela sua constante presença desde os piores aos melhores momentos deste trabalho, num incessante encorajamento. De igual modo, é oportuno um agradecimento à minha família, por todo o apoio, inquestionavelmente disponibilizado.

Não poderia terminar sem exprimir os meus agradecimentos ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), nomeadamente ao Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), pela oportunidade de participação no III Curso de Satélites Meteorológicos para os Países de Língua Portuguesa.

Finalmente, esta lista não ficaria completa sem agradecer aos amigos, colegas e todas as pessoas cujo auxílio, de uma maneira ou outra, tornou possível esta caminhada.

Palavras-chave

física, satélite, METEOSAT, NOAA, detecção remota, fogos florestais, ensino das ciências, MM5.

Resumo

A presente dissertação pretende focalizar-se sobre algumas aplicações da detecção remota por satélite. Assim, será exposto neste trabalho o resultado do desenvolvimento de sistemas de recepção de imagens obtidas por satélites de órbita polar e geostacionária, assim como um conjunto de três aplicações implementadas: a detecção de focos de incêndio em Portugal com dados do MSG-1, o desenvolvimento de um conjunto de actividades de exploração da Detecção Remota no contexto do 1º Ciclo do Ensino Básico e a validação dos resultados de previsão do modelo de mesoescala MM5 com imagens de satélite. A análise destas imagens desempenha um papel crucial, por exemplo nos estudos sobre tempo e clima. É por essa razão que tanto os Estados Unidos como outros países têm vindo a desenvolver um esforço contínuo para que possam ser lançados novos satélites que permitam uma constante aquisição de conhecimentos sobre os fenómenos meteorológicos. Deste modo, a implementação de sistemas de recepção que possibilitem transformar as medidas disponibilizadas por instrumentos a bordo de um satélite em informação constitui um empreendimento de extrema utilidade para as mais diversas áreas do saber (como as Geociências ou a Meteorologia), revestindo-se de inúmeras aplicações de interesse para a Sociedade, nomeadamente nos sectores agrícola, energético, dos transportes e da conservação do meio ambiente.

Keywords

physics, satellite, METEOSAT, NOAA, forest fires, remote sensing, science education, MM5.

Abstract

The present dissertation intends to focus itself on some applications of satellite remote sensing. Thus, the result of the integral development of polar and geostationary satellite image reception systems will be displayed in this work, as well as a set of three implemented applications: the detection and monitoring of forest fires in Portugal with MSG-1 data, the development of some Remote Sensing activities for exploration in the portuguese primary school and the validation of MM5 mesoscale model forecast results with satellite images. The analysis of these images plays a crucial role, for example in studies on weather and climate. That's why United States, as well as other countries, have come to develop a continuous effort so that new satellites can be launched, allowing a constant acquisition of knowledge on meteorological phenomena. This way, the implementation of reception systems, making possible to transform the measures given by onboard instruments into information, constitutes an enterprise of extreme utility for the most diverse areas of knowledge (like Earth Sciences or Meteorology), arming itself with innumerable applications of interest for Society, namely in sectors like agriculture, energy, transports and environmental conservation.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Considerações Gerais sobre o Tema	1
1.2	Objectivos Gerais do Trabalho	3
1.3	Justificação do Trabalho	4
1.4	Organização da Tese	4
2	Fundamentação Teórica	7
2.1	A Física das Órbitas dos Satélites	7
2.1.1	As Leis de Kepler e o Movimento do Satélite	7
2.1.2	Energia associada às órbitas elípticas	13
2.1.3	Os elementos orbitais	14
2.1.4	O movimento real do satélite	16
2.1.5	As órbitas geoestacionárias	20
2.1.6	As órbitas heliosíncronas	21
2.2	A Física do Sinal medido por Satélite	23
2.2.1	A radiação electromagnética	25
2.2.2	O Espectro Electromagnético	26
2.2.3	Grandezas Radiométricas e unidades de medida	27
2.2.4	Radiação do Corpo Negro	30
2.2.5	Interacção da Radiação com a Matéria	33
2.3	Breve História dos Satélites Meteorológicos	36
2.3.1	Os Satélites NOAA	36
2.3.2	Os Satélites Meteosat	42
2.4	Física e Tecnologia dos Sensores a Bordo de Satélites	49
2.4.1	Caracterização dos sensores	49
2.4.2	Resolução dos Sensores	51
2.4.3	Instrumentos a bordo dos Satélites NOAA	52
2.4.4	Instrumentos a bordo dos Satélites METEOSAT (MSG)	59
2.5	Tecnologia de aquisição da informação medida por satélite	64
2.5.1	O modo APT - <i>Automatic Picture Transmission</i>	64
2.5.2	O modo HRPT - <i>High Resolution Picture Transmission</i>	65
2.5.3	O modo DSB - <i>Direct Sounder Broadcasting</i>	67
2.5.4	Transmissão e retransmissão de dados dos satélites Meteosat	68

3	Sistemas de Recepção Implementados	72
3.1	Estação de Baixa Resolução NOAA	72
3.1.1	Antena de Recepção	73
3.1.2	O Pré-Amplificador	75
3.1.3	Receptor de sinal	76
3.1.4	Sistema de Processamento de Sinal	81
3.2	Estação de Recepção MSG-1	82
3.2.1	Receptor de sinal	84
3.2.2	Antena de Recepção	85
3.2.3	Sistema de Processamento de Sinal	86
4	Deteção de focos de incêndio em Portugal com dados do MSG-1	89
4.1	Introdução	89
4.1.1	O contributo da Deteção Remota	91
4.1.2	Descrição geral dos algoritmos de deteção de incêndio	91
4.1.3	Os fogos florestais em Portugal	94
4.2	O Algoritmo de deteção de incêndios implementado	97
4.2.1	Descrição do algoritmo	97
4.2.2	Rotina de Navegação	102
4.2.3	Procedimento de automatização	103
4.3	Metodologia	105
4.4	Apresentação e discussão dos resultados obtidos	106
5	Aplicações ao Ensino	121
5.1	Introdução	121
5.2	O ensino das ciências em Portugal	124
5.3	Organização Curricular e Programas do Ensino Básico.	128
5.3.1	Programas da Área Curricular de Estudo do Meio e contextualização das actividades propostas	131
5.4	Sugestões Metodológicas	133
5.5	Algumas sugestões de actividades a desenvolver	134
5.5.1	Os satélites: o que são? Onde estão? O que podem fazer por nós?	134
5.5.2	O que vê e como vê um satélite?	137
5.5.3	Onde estamos?	140
5.5.4	Como é constituída uma imagem de satélite? Como se obtém uma imagem de satélite?	140
5.5.5	As nuvens	144
5.6	Resultados Preliminares	147
6	Validação do modelo numérico MM5 com imagens de satélite	153
6.1	Introdução	153
6.2	Breve Descrição do Modelo de Mesoescala MM5.	154
6.3	Breve abordagem à interpretação de imagens de satélite.	158

6.3.1	Identificação de nuvens baixas	162
6.3.2	Identificação de nuvens médias	163
6.3.3	Identificação de nuvens altas	164
6.3.4	Identificação de sistemas de alta e baixa pressão	165
6.4	Metodologia	168
6.5	Análise e discussão dos resultados obtidos	169
6.5.1	Dia 20 de Julho	169
6.5.2	Dia 21 de Julho	174
6.5.3	Dia 22 de Julho	178
7	Conclusões	182
7.1	Revisão global dos resultados do estudo	182
7.2	Perspectivas para estudos futuros	187
A	Programa de navegação das imagens obtidas pelo MSG-1	188
	Referências Bibliográficas	200

Lista de Figuras

2.1	Vector posição no problema dos dois corpos	8
2.2	A órbita do satélite vista do plano orbital. O ponto O designa o centro da Terra.	11
2.3	O sistema de coordenadas equatorial geocêntrico. Créditos da imagem: NASA	14
2.4	Significado dos blocos de um conjunto de elementos keplerianos em formato TLE.	18
2.5	Posição do satélite geostacionário Meteosat 8 (MSG-1), obtida através de <i>software</i> de posicionamento e acompanhamento de satélites.	21
2.6	Primeira imagem obtida na Estação de Recepção METEOSAT da Universidade de Aveiro do satélite geostacionário Meteosat 8 (MSG-1), tornando possível observar a área de cobertura do satélite.	22
2.7	Posição do satélite de órbita polar NOAA-17, obtida através de <i>software</i> de posicionamento e acompanhamento de satélites.	23
2.8	Representação de uma onda electromagnética.	26
2.9	O espectro electromagnético, evidenciando algumas bandas espectrais importantes	27
2.10	Esquema ilustrativo do conceito de radiância.	29
2.11	Projecção de um elemento de área dA em função das coordenadas. Note-se que $dA = R \sin \theta d\phi \times R d\theta$	30
2.12	Emitância espectral radiante para um corpo negro a diferentes temperaturas. O rectângulo inserido no gráfico ilustra a amplitude da região espectral visível e a linha a tracejado ilustra os máximos de emitância.	31
2.13	Curvas espectrais de diferentes alvos. Adaptado de (Moreira, 2005)	36
2.14	Fotografia do satélite TIROS-1. Créditos da imagem: NASA.	37
2.15	Primeira fotografia da Terra obtida pelo TIROS-1. Créditos da imagem: NASA.	38
2.16	O satélite ESSA-1. Créditos da imagem: NOAA.	39
2.17	Imagem nocturna dos Estados Unidos da América obtida a partir do satélite ITOS-1. Créditos da imagem: NASA.	39
2.18	Um satélite da série ITOS em fase de preparação para lançamento. Créditos da imagem: NOAA.	40
2.19	Visão artística do satélite NOAA 17. Créditos da imagem: NOAA.	41

2.20	Resumo histórico da série de satélites TIROS-N/NOAA. Créditos da imagem: NOAA.	42
2.21	O satélite METEOSAT-1. Créditos da imagem: ESA.	43
2.22	A primeira imagem de cobertura global obtida pelo satélite METEOSAT-1, a 9 de Dezembro de 1977. Créditos da imagem: ESA.	44
2.23	Exemplo do tipo de imagens obtidas pelo satélite METEOSAT-3. Créditos da imagem: ESA.	45
2.24	O satélite METEOSAT-5, ainda em fase de testes. Créditos da imagem: ESA.	46
2.25	O satélite METEOSAT-7. Créditos da imagem: ESA.	47
2.26	O satélite MSG-1 momentos antes de ser transportando para a base de lançamento. Créditos da imagem: EUMETSAT.	48
2.27	Tipos de sensores, segundo JARS (1996).	49
2.28	Tipos de sensores, segundo (Rao, 1990)	50
2.29	Instrumentos a bordo dos satélites NOAA. Crédito da imagem: NOAA	52
2.30	O sensor AVHRR. Crédito da imagem: NASA	53
2.31	Esquema básico de constituição do sensor AVHRR. Crédito da imagem: NASA	53
2.32	O HIRS/3. Crédito da imagem:NOAA	55
2.33	As AMSU. Crédito da imagem:NOAA	56
2.34	O SBUV. Crédito da imagem:NOAA	57
2.35	O SEM. Crédito da imagem:NOAA	58
2.36	O SEVIRI. Créditos da imagem: Eumetsat.	60
2.37	O esquema óptico do SEVIRI. Créditos da imagem:ESA	61
2.38	O MCP. Créditos da imagem:Alcatel France	62
2.39	O GERB. Crédito da imagem:GERB Consortium.	63
2.40	Esquema de uma imagem em formato APT. Crédito da imagem: NOAA	65
2.41	Imagem APT obtida do satélite NOAA 17, no dia 2005-03-31, na estação de recepção de satélite do Departamento de Física da Universidade de Aveiro.	66
2.42	Imagem HRPT obtida do satélite NOAA 12,no dia 2005-06-11, na estação de recepção de satélite da Universidade de Dundee. Crédito da imagem: NERC Satellite Receiving Station, Dundee University, Scotland	67
2.43	Diagrama explicativo das transmissões e retransmissões dos satélites MSG da Meteosat. Créditos da imagem: EUMETSAT.	69
2.44	Constituição típica dos ficheiros HRIT/LRIT. Adaptado de CGMS	70
2.45	Estrutura dos cabeçalhos dos ficheiros HRIT/LRIT. Adaptado de CGMS	70
3.1	Diagrama elucidativo da constituição da estação de recepção de imagens de baixa resolução.	73
3.2	Diagrama esquemático de um dipolo cruzado.	74
3.3	Esquematização geral da antena utilizada	74
3.4	Visão do interior da antena utilizada.	74
3.5	O pré-amplificador utilizado.	75
3.6	Esquema electrónico do pré-amplificador.	75
3.7	A antena de recepção (à direita)e respectivo pré-amplificador (à esquerda).	76

3.8	O receptor Hamtronics R139 nas suas sucessivas etapas. Partindo da esquerda e no sentido do movimento dos ponteiros do relógio: a placa de circuito impresso, o circuito após montagem, o protótipo em fase de testes e o receptor alinhado, testado e em versão funcional.	76
3.9	Esquema electrónico da etapa de entrada, amplificação e mistura do sinal, no receptor implementado.	77
3.10	Esquema electrónico da etapa de mistura e injeção de sinal, no receptor implementado.	78
3.11	Esquema electrónico da etapa de amplificação, detecção e processamento de sinal, no receptor implementado.	79
3.12	Esquema electrónico da etapa de selecção de canais e busca automática, no receptor implementado.	80
3.13	O <i>software Wxtoimg</i> , utilizado para a demodulação de sinal.	82
3.14	Diagrama elucidativo da constituição da estação de recepção MSG-1. . . .	83
3.15	Uma visão da janela de estado do cliente <i>tellicast</i>	83
3.16	A unidade de descriptação dos dados recebidos, bem como o <i>software</i> de cliente <i>tellicast</i> enviados pela EUMETSAT.	83
3.17	A placa DVB SkyStar 2 PCI da TechniSat.	84
3.18	Janela de operação do <i>software</i> SERVER4PC.	84
3.19	Cobertura geográfica do satélite HotBird 6. Créditos da imagem: EUMETSAT	85
3.20	Da esquerda para a direita: Parábola de 1,20 m instalada no terraço do Departamento de Física; visão detalhada no LNB comercial utilizado para a recepção das emissões do satélite HOTBIRD.	86
3.21	Diagrama elucidativo da constituição do sistema de processamento de sinal.	87
3.22	A janela principal de operação do <i>software</i> MSG Data Manager.	88
4.1	Imagem de uma frente do incêndio que ameaçou a cidade de Coimbra, a 22 de Agosto de 2005.	90
4.2	Funções de Planck e a banda onde são observados os máximos, para temperaturas elevadas.	92
4.3	Exemplo de algoritmo de detecção multi-canal, proposto em (Li et al, 2000).	94
4.4	Evolução do número de ocorrência de fogos, desde 1980. Fonte: DGRF. . .	95
4.5	Evolução da área total ardida em Portugal, desde 1980. Fonte: DGRF. . .	96
4.6	Resposta espectral do canal 4 do SEVIRI, para as temperaturas de calibração de 95 K e de 85 K. Fonte dos dados: EUMETSAT.	98
4.7	Curvas da função de Planck para várias temperaturas e respectiva resposta do canal 4 do SEVIRI.	99
4.8	Imagem do canal 3 do SEVIRI, onde não é possível visualizar focos de incêndio	100
4.9	Imagem do canal 4 do SEVIRI, evidenciando claramente focos de incêndio.	100
4.10	Comportamento dos níveis radiométricos medidos em função da coluna da imagem, para uma linha onde foi detectado um foco de incêndio.	101
4.11	Relação entre coordenadas da imagem e coordenadas geográficas.	102
4.12	Um exemplo do <i>output</i> do programa de detecção de incêndios.	104

4.13	Diagrama elucidativo das tarefas de automatização.	104
4.14	Imagem do canal 4 do SEVIRI, obtida às 3:45 do dia 8 de Julho de 2005. .	106
4.15	Localização geográfica do foco de Incêndio com coordenadas de latitude 40,674 N, 8,482 W	107
4.16	Localização geográfica do foco de Incêndio com coordenadas de latitude 41,132 N, -8,435 W	107
4.17	Imagem do canal 4 do SEVIRI, obtida às 18:45 do dia 8 de Julho de 2005.	108
4.18	Localização geográfica do foco de Incêndio com coordenadas de latitude 40,296 N, 8,241 W	108
4.19	Imagem do canal 4 do SEVIRI, obtida às 23:00 do dia 10 de Julho de 2005.	109
4.20	Imagem do canal 4 do SEVIRI, obtida às 23:00 do dia 10 de Julho de 2005.	109
4.21	Imagem do canal 4 do SEVIRI, obtida às 15:00 do dia 19 de Julho de 2005.	110
4.22	Localização geográfica do foco de Incêndio com coordenadas de latitude 40,914 N, 7,989 W	111
4.23	Localização geográfica do foco de Incêndio com coordenadas de latitude 40,288 N, 7,830 W	111
4.24	Imagem do canal 4 do SEVIRI, obtida às 13:45 do dia 19 de Julho de 2005.	112
4.25	Localização do alvo quente detectado nas coordenadas 39,767 N, 8,428 W.	113
4.26	Imagem do canal 4 do SEVIRI, obtida às 19:30 do dia 18 de Agosto de 2005.	114
4.27	Localização do alvo quente detectado nas coordenadas 41,492 N, 7,423 W .	115
4.28	Imagem do canal 4 do SEVIRI, obtida às 10:00 do dia 22 de Agosto de 2005.	116
4.29	Localização do alvo quente detectado nas coordenadas 40,216 N, 8,342 W .	117
4.30	Imagem das 9:00	117
4.31	Imagem das 10:00	117
4.32	Imagem das 11:00	117
4.33	Imagem das 12:00	118
4.34	Imagem das 13:00	118
4.35	Imagem das 14:00	118
4.36	Imagem das 15:00	118
4.37	Imagem das 16:00	118
4.38	Imagem das 17:00	118
4.39	Imagem das 18:00	119
4.40	Imagem das 19:00	119
4.41	Imagem das 20:00	119
4.42	Imagem das 21:00	119
4.43	Imagem das 22:00	119
4.44	Imagem das 23:00	119
4.45	O inferno vivido em Coimbra, na noite de 22 de Agosto	120
4.46	Imagem desoladora do incêndio que devastou Coimbra.	120

5.1	Desempenho médio em literacia científica: semelhanças e diferenças entre países. A barra horizontal indica a média, e a área a azul indica o I.C. a 95%. Os países com * não pertencem à OCDE. Fonte dos dados: Relatório Internacional PISA - OCDE, 2001.	125
5.2	Tipos principais de órbitas de satélites, bem como utilização dos dois tipos de órbitas para diferentes finalidades.	136
5.3	No sentido dos ponteiros do relógio, e começando no topo superior esquerdo: Fotografia aérea, Imagem obtida a partir de um satélite de órbita polar, imagem obtida a partir de um satélite de órbita geostacionária, fotografia convencional.	138
5.4	Trajectória de um satélite de órbita polar e seu campo de visão.	139
5.5	Trajectória de um satélite geostacionário e respectivo campo de visão.	139
5.6	Imagem obtida pelo satélite NOAA-17 na região do visível, datada de 21 de Julho de 2005, às 11:14.	141
5.7	Imagem de satélite com sobreposição dos limites fronteiriços e localização da cidade de Aveiro.	141
5.8	Fotografia de uma orquídea num soalho de madeira.	142
5.9	Ampliação da fotografia anterior, evidenciando os <i>pixels</i> que constituem a imagem.	142
5.10	Escrita do nome a partir do preenchimento, a negro, de quadrículas num papel.	142
5.11	Codificação binária da imagem anterior.	142
5.12	Exemplo 1	143
5.13	Exemplo 2	143
5.14	Exemplo 3	143
5.15	Escala de 256 níveis de cinzento.	143
5.16	Escala de 256 níveis de cinzento.	145
5.17	Representação da Ana do que é, para si, um satélite.	148
5.18	Representação do Bruno do que é, para si, um satélite.	148
5.19	Representação do Carlos do que é, para si, um satélite.	148
5.20	Distribuição das funções de um satélite, segundo as respostas dos alunos à pergunta: o que é, para ti, um satélite?	149
5.21	Satélite enquanto receptor de informação de outros planetas e de estrelas.	150
5.22	Satélite enquanto ferramenta para monitorização da Terra.	150
5.23	Satélite enquanto transmissor de informação para a Terra.	150
5.24	Satélite enquanto transmissor e receptor de informação de outros planetas e estrelas.	151
5.25	Satélite transmite e recebe informação que permite a previsão do tempo.	151
5.26	Satélite enquanto sonda espacial.	151
5.27	Principais temas sobre os quais os alunos manifestaram o seu interesse.	152
6.1	Ilustração dos domínios do modelo MM5	154

6.2	Esquematização global da constituição do modelo MM5 (adaptação de Dudhia et al., 2005)	155
6.3	Representação esquemática da estrutura vertical do modelo.	157
6.4	Imagem do visível, captada a partir do sinal APT recebido do satélite NOAA-17 às 11:10 do dia 18 de Fevereiro de 2005.	159
6.5	Imagem do infravermelho, captada a partir do sinal APT recebido do satélite NOAA-17 às 10:32 do dia 1 de Julho de 2005.	160
6.6	Nuvens de tipo <i>stratus</i> . Créditos da imagem: http://www.meteo-world.com/dossiers/dossier2_1.php	162
6.7	Nuvens de tipo <i>stratocumulus</i> . Créditos da imagem: http://www.fisica-potierj.pro.br/Fotos%20de%20Nuvens/Fotos%20de%20Nuvens.htm	162
6.8	Nuvens do tipo <i>nimbostratus</i> . Créditos da imagem: http://www.fisica-potierj.pro.br/Fotos%20de%20Nuvens/Fotos%20de%20Nuvens.htm	162
6.9	Nuvens do tipo <i>altocumulus</i> . Créditos da imagem: http://www.meteo-world.com/dossiers/dossier2_1.php	163
6.10	Nuvens do tipo <i>altostratus</i> . Créditos da imagem: http://www.meteo-world.com/dossiers/dossier2_1.php	163
6.11	Nuvens do tipo <i>cirrus</i> . Créditos da imagem: http://www.fisica-potierj.pro.br/Fotos%20de%20Nuvens/Fotos%20de%20Nuvens.htm	164
6.12	Nuvens do tipo <i>cirrocumulus</i> . Créditos da imagem: http://www.meteo-world.com/dossiers/dossier2_1.php	165
6.13	Nuvens do tipo <i>cirrostratus</i> . Créditos da imagem: http://www.meteo-world.com/dossiers/dossier2_1.php	165
6.14	Esquematização do modelo de circulação global da atmosfera. Créditos da imagem: http://to-campos.planetaclix.pt/nuvens1/ventos/ventos1.htm	166
6.15	Evidência de um sistema de baixas pressões sobre França. Imagem captada do satélite NOAA-17 a 15 de Abril de 2005, às 11:32 horas locais.	168
6.16	Evidência de um sistema de altas pressões sobre Portugal. Imagem captada do satélite NOAA-17 a 7 de Julho de 2005, às 11:34 horas locais.	168
6.17	Imagem do visível, para o dia 20 de Julho de 2005, às 11:37	170
6.18	Imagem do infravermelho, para o dia 20 de Julho de 2005, às 11:37	170
6.19	Composição colorida do sinal de satélite adquirido, evidenciando núcleos de altas e baixas pressões.	170
6.20	Campo de pressão atmosférica ao nível médio das águas do mar, segundo a previsão do MM5, para o dia 20 de Julho de 2005, às 11:00 locais.	171
6.21	Campos de pressão atmosférica ao nível médio das águas do mar e vento a 10 m, de acordo com os dados publicados no boletim meteorológico do Instituto de Meteorologia.	172
6.22	Previsão do MM5 para as temperaturas do dia 20 de Julho de 2005, às 11:00 locais.	173
6.23	Previsão de fracção de nuvens baixas pelo MM5.	173
6.24	Previsão de fracção de nuvens médias pelo MM5.	173
6.25	Previsão de fracção de nuvens altas pelo MM5.	173

6.26	Distribuição de temperaturas de acordo com as previsões do MM5, para as 12:00 do dia 20 de Julho de 2005.	174
6.27	Imagem do visível, para o dia 21 de Julho de 2005, às 11:14	174
6.28	Imagem do infravermelho, para o dia 21 de Julho de 2005, às 11:14	174
6.29	Composição colorida das imagens expostas nas figuras 6.27 e 6.28.	175
6.30	Campo de pressões ao nível das águas do mar obtido a partir da previsão do MM5 para as 11:00 do dia 21 de Julho.	175
6.31	Campo de pressões ao nível das águas do mar e vento a 10 m constante no boletim meteorológico do Instituto de Meteorologia, para as 12:00 do dia 21 de Julho.	176
6.32	Previsão de fracção de nuvens baixas pelo MM5.	177
6.33	Previsão de fracção de nuvens médias pelo MM5.	177
6.34	Previsão de fracção de nuvens altas pelo MM5.	177
6.35	Previsão das temperaturas às 12:00 do dia 21 de Julho efectuada pelo MM5.	177
6.36	Imagem de satélite na região do visível, captada a partir da órbita do satélite NOAA-17 sobre a estação de recepção APT da Universidade de Aveiro, às 10:51 de dia 22 de Julho de 2005.	178
6.37	Imagem de satélite na região do infravermelho, captada a partir da órbita do satélite NOAA-17 sobre a estação de recepção APT da Universidade de Aveiro, às 10:51 de dia 22 de Julho de 2005.	178
6.38	Evidência de uma crista anticiclónica estendida desde o sudesta da Irlanda até aos Açores. Imagem gerada a partir do sinal APT do satélite NOAA-17, recebido às 12:32 na estação de recepção APT da Universidade de Aveiro.	179
6.39	Composição colorida do sinal de satélite recebido às 10:51 de 22 de Julho de 2005.	179
6.40	Previsão da distribuição da pressão ao nível das águas do mar, pelo MM5.	179
6.41	Mapa sinóptico publicado no boletim meteorológico de dia 22 de Julho de 2005.	180
6.42	Previsão de fracção de nuvens baixas pelo MM5.	181
6.43	Previsão de fracção de nuvens médias pelo MM5.	181
6.44	Previsão de fracção de nuvens altas pelo MM5.	181
6.45	Previsão de temperaturas efectuada pelo MM5, para as 11:00 do dia 22 de Julho.	181

Capítulo 1

Introdução

Este capítulo de abertura contém quatro secções. Na primeira, "**Considerações gerais sobre o tema**" é feito um resumo geral sobre o assunto abordado neste estudo. Na segunda secção, "**Objectivos gerais do trabalho**" são descritos e justificados os principais objectivos inerentes ao trabalho desenvolvido. Na terceira secção, "**Justificação do Trabalho**", apontam-se as principais motivações para a escolha do tema. Finalmente, na última secção, "**Organização da Tese**", é feita uma súmula dos conteúdos do presente documento, apresentando-se a estrutura geral da dissertação.

1.1 Considerações Gerais sobre o Tema

O Homem é naturalmente curioso. Essa curiosidade tê-lo-á feito, há milénios atrás, subir ao alto de uma montanha para observar a Natureza. Nesse dia, o Homem terá imaginado a possibilidade de observar a Natureza de um ponto ainda mais elevado. Num laivo de inspiração, terá sonhado com a visualização das nuvens que cobriam o céu nesse dia, a partir de um plano superior.

O desejo deste primeiro visionário foi sujeito a uma longa espera. Só no sec. XVIII, com a invenção do balão e posteriormente com o avião, se puderam obter as primeiras imagens da Terra e da cobertura de nuvens¹. Contudo, a tecnologia progride com uma aceleração crescente, o que significa que, enquanto foram precisos milénios até à criação do avião, permitindo ao Homem alcançar altitudes na ordem do milhar de metros, foram necessárias poucas décadas para que, nos finais dos anos quarenta do século XX, fossem obtidas as primeiras fotografias da Terra a partir de foguetes científicos. Não obstante a sua espectacularidade, estas imagens cobriam apenas algumas regiões do planeta. Por fim, em Abril de 1960, O TIROS I tornou possível a monitorização do tempo e do clima, a partir do espaço, de todo o globo terrestre.

As imagens obtidas por satélite são actualmente o tipo de informação mais utilizada para a extracção de informações de uma determinada região sobre a superfície terrestre.

¹Na verdade, a primeira fotografia aérea foi tirada a bordo de um balão, pelo francês Gaspard Felix Tournachon, em Outubro de 1858.

A razão principal para tal facto justifica-se com as inúmeras vantagens que estas imagens apresentam comparativamente a outras (como as fotografias aéreas, cartas topográficas, etc.)

Em termos de limitação, não se pode definir uma fronteira nítida para as imagens obtidas por satélite. O número crescente de satélites (com um cada vez maior número de instrumentos disponíveis a bordo²) que orbitam em torno do Planeta permitem a aquisição de imagens de qualquer ponto da Terra, independentemente das fronteiras regionais ou nacionais e da definição horária. Assim, o uso de satélites permite a aquisição de imagens de locais de acessibilidade reduzida.

Por outro lado, as imagens obtidas pautam pela sua actualidade, tendo em conta que, de acordo com a periodicidade das órbitas dos diferentes satélites, é possível adquirir imagens de várias regiões do planeta, representativas das condições actuais da atmosfera terrestre. Nenhuma outra fonte de informações possibilita a observação regular da Terra numa escala global por largos intervalos de tempo. Esta é, portanto, uma das características mais importantes das imagens obtidas por satélite, uma vez que fornecem a informação necessária em situações onde o acompanhamento de alterações pode ser determinante. Para além disso, constituem um veículo para o teste de modelos de previsão, tornando-se assim num dos factores que afectam a qualidade das previsões do tempo. Por estas razões, é comumente referido que as imagens obtidas por satélite permitem uma visão sinóptica, possibilitando a extracção de uma quantidade de informações extremamente superior à obtida através de outras fontes.

Uma outra vantagem, em abono das imagens de satélite, prende-se com a facilidade de processamento, isto é, o formato das imagens obtidas não requer necessariamente que o utilizador realize grandes transformações dos dados adquiridos para a utilização da informação. Assim, e num sentido mais lato, as imagens obtidas por satélite podem ser utilizadas directamente num sistema de informações geográficas (SIG), tornando possível a interacção e integração de vários formatos de informação numa única plataforma.

Já no que diz respeito à sua utilidade, há que reconhecer que o uso das imagens obtidas por satélite não se restringe à Meteorologia, alargando-se aos mais variados sectores, entre os quais o florestal (onde são possíveis a identificação e quantificação de áreas florestadas e desflorestadas, a identificação e monitorização de incêndios e a estimativa das perdas provocadas por incêndios e estruturação de planos de emergência), agrícola (na identificação, medição e classificação de áreas cultivadas, na estimativa da densidade e saúde das culturas, na avaliação das perdas devido a desastres naturais como alagamento, seca, granizo, vento, ou tempestades de chuva), urbano (auxiliando o planeamento e permitindo a identificação das tendências de expansão urbana) e em áreas científicas como a geologia, a hidrologia, entre outras.

²E estes, por sua vez, com um cada vez maior número de canais disponíveis

1.2 Objectivos Gerais do Trabalho

De acordo com uma visão mais ampla, pode dizer-se que o objectivo geral subjacente a este estudo prende-se com o desenvolvimento, instalação (integral) e optimização de sistemas de recepção de dados resultantes de medições efectuadas por satélite (NOAA e METEOSAT), que permitam a exploração das informações recebidas no que diz respeito ao desenvolvimento de aplicações de interesse à Sociedade. Assim, no decurso do ano lectivo 2004/2005 foram instaladas de raiz duas estações de recepção de imagens de satélite: uma de satélites de órbita polar (NOAA) e outra de satélites geostacionários (METEOSAT). Note-se, todavia, que, ao afirmar-se anteriormente que se procedeu à instalação de raiz de duas estações de recepção, se pretende enfatizar o facto de não existir, até à data de início deste trabalho, qualquer infra-estrutura existente, que possibilitasse a recepção directa de imagens de satélite. Por isso, o desenvolvimento integral da tecnologia de recepção de imagens de satélite constituiu o ponto de partida para o trabalho desenvolvido. Inerente ao objectivo primordial enunciado anteriormente, encontra-se a preocupação de obter um produto final de custo reduzido, possibilitando a sua implementação em detrimento de estações de recepção de custo muito mais elevado. Deste modo, demonstra-se a possibilidade prática de instalação de sistemas de recepção de imagens de satélite em escolas, permitindo assim a introdução do estudo da Detecção Remota na Escolaridade Básica.

No contexto do parágrafo anterior, urge esclarecer o que pode ser considerado "custo reduzido". Na área da Detecção Remota, uma primeira pesquisa em catálogos de revenda de material de recepção de informação de satélites (de órbita polar e/ou geostacionários), pode revelar preços exacerbadamente elevados, rondando quantias da ordem do milhão de Euros, para um equipamento completo. Todavia, não é essa a definição de "custo reduzido"empregue neste trabalho. Na verdade, no decurso deste trabalho foi despendida a quantia de aproximadamente 900 Euros, não contemplando os três computadores utilizados. Assumindo a compra de três computadores actuais, com as características exigidas para o trabalho em questão, a este valor poderia ser acrescida a importância de 2500 Euros, o que totalizaria uma soma de aproximadamente 3400 Euros, um valor francamente reduzido, quando é tido em consideração o facto de se estar a fazer referência a duas estações de recepção de imagens.

Naturalmente que a contenção de custos foi uma preocupação constante e, para isso, fez-se um uso comedido de poder computacional, utilizando alguns computadores em desuso. Refira-se ainda que um dos aspectos mais importantes no desenvolvimento de estações de recepção de baixo custo é, sem margem de dúvida, a utilização de produtos pouco dispendiosos, quer no que toca ao *hardware* quer, inclusivamente, no que ao *software* diz respeito. Assim, e tendo em conta o rápido desenvolvimento de novas tecnologias na área da informação e comunicação, motivada pela pressão que a competitividade do mercado induz, os preços estão em permanente redução, o que representa uma mais-valia para a filosofia de obtenção de um produto final de custo reduzido.

1.3 Justificação do Trabalho

O tema proposto para enquadrar esta investigação procura abrir a oportunidade de, desenvolver e aplicar equipamentos requeridos pelas exigências do acelerado ritmo de desenvolvimento tecnológico e instrumental da sociedade contemporânea.

Deste modo, como principal justificação inerente à motivação para este trabalho, destaca-se o facto de este estudo possibilitar a implementação e o desenvolvimento de novo equipamento. Deste modo, pode afirmar-se que é altamente motivante, para o autor, situar-se na génese da implementação de novas tecnologias, sem estruturas prévias existentes. Ao invés de se efectuar um estudo muito particular, com o suporte de tecnologia pré-existente, este trabalho, como já se referiu anteriormente, incidiu sobretudo sobre um problema de dimensão mais ampla, englobando preocupações de índole financeira, logística, tecnológica e, naturalmente, científica. Adicionalmente, constituiu um interessante desafio operacionalizar as estações de recepção de imagens de satélite desenvolvidas, não só no que concerne ao *hardware*, mas sobretudo no que ao *software* diz respeito.

Pretende este trabalho, portanto, fazer jus aos objectivos de um trabalho de mestrado, já que, de acordo com o Decreto-Lei nº 216/92 de 13 de Outubro, que regulamenta as atribuições dos graus de mestre e de doutor, "O grau de mestre comprova nível aprofundado de conhecimentos numa área científica específica e capacidade para a prática da investigação."

1.4 Organização da Tese

A presente dissertação foi construída tendo por base a iniciação do autor a uma nova área, de vastos horizontes. Por esse motivo, houve toda uma necessidade de aquisição de conhecimentos, técnicas e ferramentas existentes que transparecem no decurso das páginas deste escrito.

Assim, a estrutura desta dissertação pode ser dividida em cinco partes, que incluem os sete capítulos apresentados. Deste modo, o primeiro capítulo é um mero capítulo introdutório, onde se pretende contextualizar o presente estudo em vários níveis. São, portanto, feitas considerações gerais sobre o assunto do trabalho, revelando assim as potencialidades e relações estabelecidas entre a Detecção Remota e as demais áreas do saber, para benefício da Sociedade. Para além disso, são explicitados os objectivos propostos para a realização desta investigação bem como a justificação da escolha deste tema como trabalho conducente à elaboração da dissertação.

A segunda parte em que o presente documento se pode dividir engloba a Fundamentação Teórica efectuada no capítulo 2. Assim, no decurso desse capítulo, é feita uma abordagem teórica aos assuntos em estudo, por forma a cobrir a maior parte dos conceitos teóricos que constituem a base da Detecção Remota. São, portanto, tecidas considerações gerais sobre o movimento orbital dos satélites, estabelecendo-se assim um conjunto de relações que conduzem à compreensão global do problema do seu movimento. De seguida, é abordada toda a teoria subjacente à Física do sinal medido pelo satélite, dando, assim, início a um estudo sobre a radiação e a forma como esta é medida pelo satélite. Posteriormente, é

feita uma resenha histórica acerca dos satélites, contextualizando assim a sua evolução tecnológica. O capítulo prossegue com a caracterização geral dos sensores a bordo dos satélites, enfatizando as características básicas dos sensores a bordo dos satélites NOAA e METEOSAT, bem como as suas capacidades e aplicações. Claro está que, antes desta descrição ser feita de forma quase exaustiva, são tecidas inicialmente algumas considerações sobre os tipos de sensores existentes, bem como o que se entende por resolução de um sensor. O capítulo finda apresentando e caracterizando os modos usuais de transmissão da informação coligida pelos satélites NOAA e METEOSAT.

A terceira parte desta dissertação engloba o terceiro capítulo, em que se faz uma descrição rigorosa dos sistemas de recepção de informação medida por satélite implementados no Departamento de Física da Universidade de Aveiro. Neste contexto, torna-se necessário esclarecer que todos os sistemas de recepção implementados no decurso deste trabalho tiveram, como ponto de partida, a inexistência de qualquer equipamento de recepção directa de imagens de satélite. Por essa razão, toda a plataforma de recepção teve que se desenvolver de raiz, assemblando e alinhando um receptor de sinal a partir de um circuito impresso e componentes electrónicos, instalando antenas de recepção, instalação de *hardware* e *software* necessários para a operação correcta dos sistemas, bem como a sua manutenção.

Assim, a terceira parte deste documento expõe todo o trabalho que foi desenvolvido para atingir o objectivo de obtenção de imagens de satélite de forma contínua. Deste modo, é descrito primeiramente todo o processo conducente ao desenvolvimento do equipamento necessário para a instalação da estação de recepção de imagens de baixa resolução NOAA, referindo a sua constituição básica, bem como pormenorizando as etapas de desenvolvimento, alinhamento e posicionamento dos elementos constituintes. Posteriormente, o mesmo procedimento é seguido, desta feita para a instalação da estação de recepção de imagens METEOSAT.

A quarta parte em que a presente dissertação se pode dividir engloba os capítulos 4, 5 e 6. Nestes capítulos, embora em contextos diferentes, dá-se conta das aplicações desenvolvidas, bem como os seus resultados. Assim, o capítulo 4 lida com a Detecção de Incêndios em Portugal, fazendo uso dos dados MSG-1 recebidos na estação de recepção instalada. Primeiramente é feita uma breve introdução ao assunto, evidenciando o papel preponderante da Detecção Remota na detecção, monitorização e análise de focos de incêndio. De seguida, são tecidas algumas considerações generalistas sobre os modelos de detecção de incêndio existentes, bem como a situação de Portugal face aos incêndios florestais. De seguida, é feita uma descrição completa do algoritmo de detecção de incêndios desenvolvido, caracterizando a base física do algoritmo e as tarefas necessárias até à obtenção de um produto final ³, capaz de disponibilizar, quase em tempo real, as coordenadas latitude/longitude de focos de incêndio em Portugal. Como estudo de caso, o capítulo 4 apresenta ainda a metodologia empregue para o estudo de uma série temporal de imagens e seu processamento pelo modelo de detecção de incêndios, bem como o resultado desse estudo.

³Disponível, via Internet, em <http://www.fis.ua.pt/torre/satelite/>.

O quinto capítulo visa abordar a proposta de introdução da aquisição de imagens por satélite no Currículo da Escolaridade Básica, introduzindo assim algumas actividades experimentais. Deste modo, é feita uma primeira introdução, tendo por base a problemática do Trabalho Experimental no Ensino das Ciências, prosseguindo posteriormente para uma caracterização das actividades propostas.

No sexto capítulo refere-se a utilização de imagens de baixa resolução como suporte de validação dos modelos de previsão numérica. Assim, faz-se uma breve introdução ao modelo de previsão numérico MM5, explorando as suas capacidades e potencialidades. Posteriormente, refere-se a metodologia empregue para esse estudo e, no final do capítulo são ilustrados os resultados obtidos, bem como a análise aos mesmos.

No último capítulo são apresentadas algumas conclusões acerca do trabalho desenvolvido, nomeadamente no que diz respeito à sua análise crítica. São, assim, referidas algumas limitações do estudo efectuado, bem como sugestões para a ultrapassagem desses obstáculos.

Adicionalmente, são também feitas algumas reflexões sobre a importância do estudo teórico efectuado, bem como sobre as aplicações desenvolvidas.

Paralelamente, esboçam-se algumas ideias sobre perspectivas de futuras investigações, contextualizadas na mesma área de intervenção.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

O segundo capítulo contém cinco secções. Assim, na primeira, "**A Física das Órbitas dos Satélites**", é apresentada grande parte da teoria subjacente ao movimento dos satélites, bem como ao seu tipo de órbitas. A segunda secção, "**A Física do sinal medido por satélite**", explora a radiação, enquanto grandeza física medida pelos instrumentos a bordo dos satélites. Na terceira secção, "**Breve História dos Satélites Meteorológicos**", aborda-se o desenvolvimento histórico dos satélites meteorológicos NOAA e METEOSAT no decurso das suas missões. A secção "**Física e Tecnologia dos sensores a bordo dos satélites**", quarta deste capítulo, propõe-se a descrever exhaustivamente as características e aplicações dos instrumentos a bordo dos satélites NOAA e METEOSAT. Finalmente, o capítulo é concluído, apresentando uma descrição geral sobre os modos de transmissão da informação medida pelos satélites.

2.1 A Física das Órbitas dos Satélites

Os esforços prímeos na pesquisa sobre mecânica orbital provieram de nomes da Ciência como Tyco Brahe, Copérnico, Kepler e Galileu, cuja maior preocupação era a de compreender o problema do movimento dos corpos celestes. Todos estes esforços conduziram às três Leis do movimento planetário, formuladas por Kepler e que, por sua vez, constituíram as fundações do trabalho de Newton, no desenvolvimento da Teoria da Gravitação Universal.

Deste modo, torna-se premente descrever as características das órbitas dos satélites artificiais, nomeadamente a geometria orbital, o movimento e a atitude dos satélites na órbita, de forma a compreender as diferenças das imagens obtidas pelos instrumentos a bordo destas plataformas.

2.1.1 As Leis de Kepler e o Movimento do Satélite

O movimento de um satélite em órbita da Terra é um exemplo do problema de dois corpos que se movem sob a influência de uma força central mútua e é largamente discutido em (Goldstein, 1980), (Barger & Olsson, 1995), entre outros. Todavia, e a fim de evitar

uma formulação lagrangeana, segue-se, nesta secção, uma descrição do problema baseada numa análise Newtoniana. Assim, e tendo em conta o desenvolvimento de um conjunto de equações capazes de descrever a órbita de um satélite em torno da Terra, considere-se um sistema de dois corpos com simetria esférica, conforme ilustrado na figura 2.1.

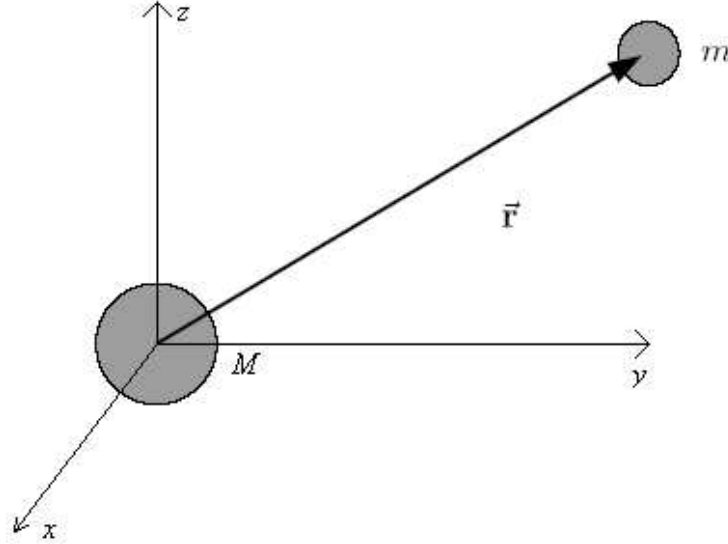


Figura 2.1: Vector posição no problema dos dois corpos

De acordo com a Lei da Gravitação Universal de Newton, a força entre dois corpos, de massa M e m é proporcional ao inverso do quadrado da distância entre eles, é uma força atractiva e exercida na linha entre os dois corpos. Algebricamente, se o satélite se localizar a uma distância \vec{r} do centro da Terra, a força gravitacional que a Terra exerce sobre o satélite pode escrever-se como:

$$\vec{F}_{G_{T/S}} = -\frac{GMm}{r^2}\hat{r} \quad (2.1)$$

Definindo a **constante de Kepler**, $\mu = GM^1$, e exprimindo o vector posição $\vec{r} = r\hat{r}$, pode escrever-se, de acordo com a Segunda Lei de Newton, a **equação fundamental do movimento**:

$$\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = -\frac{\mu\vec{r}}{r^3} \Leftrightarrow \frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = -\frac{\mu\hat{r}}{r^2} \quad (2.2)$$

Um resultado interessante pode ser obtido fazendo o produto externo de \vec{r} com a equação

¹O valor actual da constante de Kepler é $3,986005 \times 10^{14} \text{ m}^3\text{s}^{-2}$, com uma incerteza de 0,15 partes por milhão.

(2.2). Assim, fica:

$$\vec{r} \times \frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = \vec{r} \times \left(-\mu \frac{\vec{r}}{r^3} \right) = -\frac{\mu}{r^3} \vec{r} \times \vec{r} = \vec{0} \quad (2.3)$$

Para além disso, pela regra do produto,

$$\frac{d}{dt} \left(\vec{r} \times \frac{d\vec{r}}{dt} \right) = \vec{r} \times \frac{d^2\vec{r}}{dt^2} + \frac{d\vec{r}}{dt} \times \frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{0} + \vec{0} = \vec{0} \quad (2.4)$$

Note-se que o resultado da expressão (6.38) se deve à contribuição das duas parcelas da equação. Assim, o primeiro vector nulo resulta da equação (6.36), ao passo que o segundo vector nulo se justifica pelo facto de o produto externo de um vector consigo próprio ser um vector nulo. Assim, pode inferir-se a partir da equação (6.38) que o produto $(\vec{r} \times \frac{d\vec{r}}{dt})$ é uma constante do movimento, o chamado momento angular por unidade de massa, \vec{h} , o que permite a escrita da **Lei da Conservação do Momento Angular**:

$$\vec{h} = \vec{r} \times \frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{K} \quad (2.5)$$

Este resultado pode permitir uma análise imediata: para \vec{h} ser constante, a órbita terá necessariamente que residir num plano, daí que o inicial problema do movimento tridimensional do satélite se reduza a um problema de movimento num plano, qualquer que venha a ser a sua orientação.

Deste modo, são necessários dois parâmetros para especificar a orientação do plano em que o movimento se efectua, cuja normal é perpendicular ao vector \vec{h} . Para isso, considere-se o uso de coordenadas polares, no plano do movimento, em que a coordenada θ descreve o ângulo numa direcção arbitrária. Num tal sistema de coordenadas, pode escrever-se:

$$\vec{h} = \vec{r} \times \frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{r} \times \left(\frac{dr}{dt} \hat{r} + r \frac{d\theta}{dt} \hat{\theta} \right) = r^2 \frac{d\theta}{dt} (\hat{r} \times \hat{\theta}) \quad (2.6)$$

Por conseguinte, o módulo do momento angular será simplesmente

$$|\vec{h}| = r^2 \frac{d\theta}{dt} \quad (2.7)$$

Ora, tendo em conta o facto de esta quantidade se manter constante ao longo do movimento do satélite, torna-se propício deduzir a segunda Lei de Kepler, notando que o elemento de área varrida pelo satélite não é mais do que:

$$dA = \frac{1}{2} r (r d\theta) = \frac{1}{2} r^2 d\theta \quad (2.8)$$

Assim, a taxa de variação temporal desta quantidade pode escrever-se como:

$$\frac{dA}{dt} = \frac{1}{2} r^2 \frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{2} h = \text{Const.} \quad (2.9)$$

O resultado obtido anteriormente, tal como postulado por Kepler na sua Segunda Lei, significa que o satélite varre áreas iguais em intervalos de tempo iguais.

Para mostrar que a trajectória seguida pelo satélite é uma elipse, deduzindo assim a primeira Lei de Kepler, é costume fazer-se uso da derivada da expressão (2.7):

$$\frac{dh}{dt} = 2r \frac{dr}{dt} \frac{d\theta}{dt} + r^2 \frac{d^2\theta}{dt^2} = r \left(2 \frac{dr}{dt} \frac{d\theta}{dt} + r \frac{d^2\theta}{dt^2} \right) = 0 \quad (2.10)$$

Como $r \neq 0$, torna-se possível escrever:

$$2 \frac{dr}{dt} + r \frac{d^2\theta}{dt^2} = 0 \quad (2.11)$$

Tendo estes resultados em conta, a equação do movimento (2.2), escrita anteriormente pode ser reescrita, em coordenadas polares, tendo em conta que:

$$\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = \left(\frac{d^2r}{dt^2} - r \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \right) \hat{r} + \left(2 \frac{dr}{dt} \frac{d\theta}{dt} + r \frac{d^2\theta}{dt^2} \right) \hat{\theta} \quad (2.12)$$

Assim, a componente radial da equação do movimento poderá ser escrita como:

$$\frac{d^2r}{dt^2} - \frac{h^2}{r^3} = -\frac{\mu}{r^2} \quad (2.13)$$

Uma forma expedita de obter uma solução para a equação diferencial (2.13) consiste em efectuar uma mudança de variável, $u = \frac{1}{r}$, e

$$\frac{d}{dt} = \frac{d\theta}{dt} \frac{d}{d\theta} = hu^2 \frac{d}{d\theta}$$

Assim, de acordo com as transformações descritas, vem, em (2.13):

$$\begin{aligned} & h^2 u^2 \frac{d}{d\theta} \left(hu^2 \frac{d}{d\theta} \frac{1}{u} \right) - h^2 u^3 + \mu u^2 \\ &= h^2 u^2 \frac{d}{d\theta} \left(-h \frac{du}{d\theta} \right) - h^2 u^3 + \mu u^2 \\ &= h^2 u^2 \frac{d^2 u}{d\theta^2} - h^2 u^3 + \mu u^2 \\ &= 0 \end{aligned} \quad (2.14)$$

Isto é:

$$\frac{d^2 u}{d\theta^2} + u = \frac{\mu}{h^2} \quad (2.15)$$

A equação (2.15) tem por solução:

$$u = \frac{1}{r} = \frac{\mu}{h^2} [1 + e \cos(\cos\theta - \phi)] \quad (2.16)$$

Considerando $e \geq 0$ é de imediata observação que a equação anteriormente escrita é a equação de uma elipse, escrita em coordenadas polares, de parâmetros:

$$\begin{cases} p = \frac{h^2}{\mu} \\ a = \frac{p}{1-e^2} \\ b = a\sqrt{1-e^2} \end{cases}$$

Por conseguinte, pode escrever-se em coordenadas polares que a posição do satélite no plano da órbita é dada por:

$$r = \frac{a(1-e^2)}{1+e\cos\theta} \quad (2.17)$$

Na equação (2.2) escrita anteriormente, θ representa a **verdadeira anomalia**, que não é mais do que o ângulo entre o perigeu do satélite e a sua posição. Se a e b representarem os semi-eixos maior e menor, respectivamente, fica assim demonstrado que a órbita do satélite é realizada sobre uma elipse, estando a Terra localizada num dos focos.

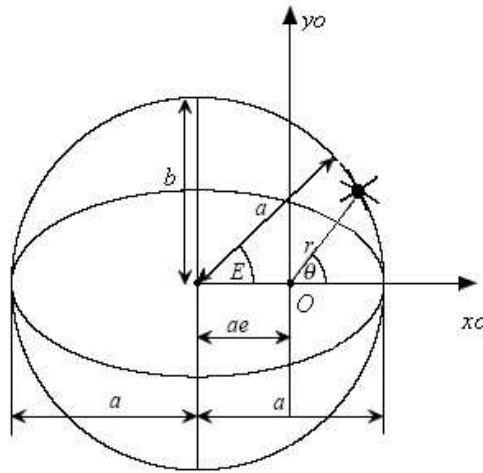


Figura 2.2: A órbita do satélite vista do plano orbital. O ponto O designa o centro da Terra.

Por análise da figura 2.2, é possível verificar que as coordenadas rectangulares do satélite no plano da órbita são dadas por:

$$\begin{cases} x_o = r \cos \theta \\ y_o = r \sin \theta \end{cases} \quad (2.18)$$

Para demonstrar a terceira Lei de Kepler, basta recordar que, por definição, o período, T , não é mais do que o intervalo de tempo requerido para a viagem perigeu \rightarrow apogeu

→ perigeu. Ora, como se havia visto:

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{h}{r^2} \quad , \text{ logo, } \quad \int_{t_1}^{t_2} dt = h^{-1} \int_{\theta_1}^{\theta_2} r^2 d\theta \quad (2.19)$$

Contudo, conforme se verificou na equação (2.8), o integral no lado direito da equação (2.19) não é mais do que o dobro da área inscrita na elipse entre os azimutes θ_1 e θ_2 , o que permite escrever, para o período:

$$T = \frac{2A}{h} \quad (2.20)$$

Tendo em conta as propriedades geométricas das elipses, pode escrever-se, para a área, $A = \pi ab = \pi a^2 \sqrt{1 - e^2}$. Deste modo, obtém-se, para o período do movimento:

$$T = 2\pi \sqrt{\left(\frac{a^3}{\mu}\right)} \quad (2.21)$$

A velocidade angular média, ϖ , pode escrever-se como:

$$\varpi = \frac{2\pi}{T} \quad , \text{ pelo que } \quad \varpi^2 a^3 = \mu \quad (2.22)$$

As equações (2.21) e (2.22), escritas anteriormente, constituem o postulado da terceira Lei de Kepler.

Considerando $t = t_0$ o instante da passagem do satélite pelo perigeu, pode definir-se a **anomalia média**, M , como

$$M = 2\pi \frac{(t - t_0)}{T} = \varpi (t - t_0) \quad (2.23)$$

A anomalia média pode definir-se como o ângulo equivalente que um satélite com mesmo semi-eixo maior, mas movendo-se segundo um círculo, varreria no mesmo intervalo de tempo que outro satélite, movendo-se numa órbita elíptica. A relevância da definição desta grandeza prende-se com o seu importante significado físico; assim, pode verificar-se, em (2.23) que M varia linearmente com o tempo.

Tendo em conta que o radio da órbita oscila entre $a(1 - e)$ e $a(1 + e)$ é útil introduzir a **anomalia excêntrica**, E , como:

$$r = a(1 - e \cos E) \quad (2.24)$$

Assim, entendendo M como uma medida da parametrização do tempo e E como uma medida da parametrização do ângulo polar descrito pelo satélite que orbita a Terra segundo uma elipse de excentricidade e , pode escrever-se a **equação de Kepler** como:

$$M = \varpi (t - t_0) = E - e \sin E \quad (2.25)$$

Para M diferente de um múltiplo de π , a equação de Kepler possui uma única solução, todavia trata-se de uma equação transcendente, pelo que não se torna possível obter uma solução directa para E , para um M arbitrário. Contudo, existem vários algoritmos empregues para resolver numericamente a equação (2.25).

Portanto, usando as equações (2.24) e (2.25), torna-se relativamente simples prever a posição do satélite em qualquer instante t , sendo para isso necessário efectuar os seguintes passos:

1. Determinar a anomalia média, por (2.25);
2. Resolver a equação (2.25) numericamente para a anomalia excêntrica;
3. Utilizar as equações (2.18) para localizar a posição do satélite no referencial do plano da órbita;
4. Utilizar uma transformação de coordenadas para determinar as coordenadas do satélite no referencial xyz .

2.1.2 Energia associada às órbitas elípticas

A energia mecânica do satélite pode escrever-se como:

$$E = \frac{1}{2}m \frac{d\vec{r}}{dt} \cdot \frac{d\vec{r}}{dt} - \frac{\mu m}{r} \quad (2.26)$$

Deste modo, vem:

$$E = \frac{1}{2}m \left(\frac{dr}{dt} \hat{r} + r \frac{d\theta}{dt} \hat{\theta} \right) \cdot \left(\frac{dr}{dt} \hat{r} + r \frac{d\theta}{dt} \hat{\theta} \right) - \frac{\mu m}{r} = \frac{1}{2}m \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 + \frac{1}{2}mr^2 \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 - \frac{\mu m}{r} \quad (2.27)$$

Simplificando a equação anterior, é possível chegar à forma final $E = -\frac{\mu}{2a}$. Todavia, derivando (2.27) em ordem ao tempo é possível obter um importante resultado:

$$\frac{dE}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2}m \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 + \frac{1}{2}mr^2 \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 - \frac{\mu m}{r} \right) = m \frac{dr}{dt} \frac{d^2r}{dt^2} - mr \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 + \frac{\mu m}{r^2} \frac{dr}{dt} \quad (2.28)$$

Acontece que, pela equação (2.13) escrita em 2.1.1, o resultado obtido em (2.28) é nulo, o que leva à constatação de que a energia se conserva, isto é:

$$\frac{dE}{dt} = 0 \quad (2.29)$$

Por conseguinte, para quaisquer dois pontos da trajectória, tem-se:

$$\frac{1}{2}mv^2 - \frac{\mu m}{r} = -\frac{\mu m}{2a} \quad (2.30)$$

de uma linha que une o centro da Terra ao centro do Sol no equinócio da Primavera. O eixo z coincide com o eixo de rotação da Terra, estendendo-se ao longo do pólo Norte.

Note-se que este sistema de eixos move-se no espaço; contudo, e apesar de possuir movimento de translação à medida que a Terra orbita o Sol, não possui movimento de rotação. Assim, a direcção x é sempre a mesma, qualquer que seja a posição da Terra.

O plano orbital do satélite intersecta a origem do sistema de coordenadas. O ponto em que o satélite atravessa o plano equatorial, quando se move no sentido ascendente, é chamado **nó ascendente**, ao passo que o ponto em que o satélite atravessa o plano equatorial, quando se move no sentido descendente é chamado **nó descendente**. Assim, o plano orbital intersecta o plano equatorial ao longo da chamada **recta dos nodos**. A **ascensão recta do nó ascendente** é designada por Ω e o ângulo que o plano orbital faz com o plano equatorial é chamado de **inclinação**, i .

Deste modo, as variáveis Ω e i situam o plano orbital relativamente ao plano equatorial. Para alcançar o objectivo de localizar o sistema de eixos orbital relativamente ao sistema de eixos equatorial, surge a necessidade de conhecer o ângulo que define a posição do perigeu relativamente ao nó ascendente, o **argumento do perigeu**, ω .

Pode mostrar-se (Pratt&Bostian,1986), então, que as coordenadas do satélite no plano orbital se relacionam com as coordenadas do satélite através de uma transformação linear:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \begin{pmatrix} \cos \Omega \cos \omega \\ -\sin \Omega \cos i \sin \omega \\ \sin \Omega \cos \omega \\ +\cos \Omega \cos i \sin \omega \\ \sin i \sin \omega \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} -\cos \Omega \sin \omega \\ -\sin \Omega \cos i \cos \omega \\ -\sin \Omega \sin \omega \\ +\sin \Omega \cos i \cos \omega \\ \sin i \cos \omega \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} \sin \Omega \sin i \\ -\cos \Omega \sin i \\ \cos i \end{pmatrix} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} \quad (2.32)$$

Para além disso, torna-se ainda necessário realizar mais uma transformação linear por forma a levar em consideração a rotação da Terra. Seguindo de muito perto o raciocínio exposto em (Pratt& Bostian,1986), pode-se escrever que as coordenadas no referencial em rotação se relacionam com as coordenadas no sistema geocêntrico equatorial através de:

$$\begin{bmatrix} x_r \\ y_r \\ z_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\Omega_e T_e) & \sin(\Omega_e T_e) & 0 \\ -\sin(\Omega_e T_e) & \cos(\Omega_e T_e) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} \quad (2.33)$$

O valor do ângulo $\Omega_e T_e$ pode ser encontrado, para qualquer instante t , expresso em minutos após a meia noite, em Tempo Universal (UT), conhecida a ascensão recta do meridiano de Greenwich às zero horas (UT) da data considerada (segundo o calendário juliano). Assim:

$$\Omega_e T_e = \alpha_{g,o} + 0,25068447t \quad (^\circ) \quad (2.34)$$

Na literatura é também usual referir-se o **ponto subsatélite** como o resultado da intersecção da superfície do elipsóide terrestre com a recta normal à superfície do elipsóide que passa pelo satélite.

Fica assim completo um conjunto de seis parâmetros independentes que especificam as coordenadas absolutas do satélite em qualquer instante t . Deste modo, o seguinte conjunto representa os comumente referidos **elementos keplerianos**:

- excentricidade, e ;
- semi-eixo maior, a ;
- instante de passagem no perigeu, t_P ; ocasionalmente é utilizada a anomalia média, M ;
- ascensão recta do nó ascendente, Ω ;
- inclinação, i ;
- argumento do perigeu, ω .

2.1.4 O movimento real do satélite

Nas subsecções anteriores expôs-se o raciocínio conducente à obtenção de um conjunto de métodos capazes de permitir a determinação da posição de um satélite sujeito à acção da força gravitacional. Assim, há que reconhecer que as Leis de Kepler e as equações da órbita kepleriana deduzidas anteriormente constituem uma aproximação ao verdadeiro movimento do satélite, na medida em que existem factores externos que induzem perturbações ao movimento do satélite, fazendo com que a órbita real difira da órbita kepleriana apresentada. De um modo geral, os factores externos referidos podem agrupar-se em duas categorias:

- **Gravitacionais**, como o achatamento terrestre, a irregularidade de distribuição de massa na Terra e o movimento da Lua em torno da Terra;
- **Não-gravitacionais**, como o arrasto da atmosfera da Terra, a pressão da radiação solar, os efeitos electromagnéticos, o impacto de meteoritos, entre outros.

Assim, refira-se sucintamente uma das alterações às equações propostas na secção 2.1.1., levando em linha de conta os factores gravitacionais. Como se sabe, a Terra não possui uma forma perfeitamente esférica. Isso significa que o campo gravítico terrestre é afectado pelo achatamento dos pólos. Matematicamente, este efeito sobre o potencial gravitacional pode descrever-se como uma soma infinita de harmónicos esféricos (Rees,1990):

$$V = \frac{\mu}{r} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{a_T}{r} \right)^2 J_2 (3 \sin^2 b - 1) + \dots \right] \quad (2.35)$$

Na expressão anterior, a_T representa o raio equatorial da Terra e o termo J_2 relaciona-se com a protuberância equatorial, sendo designado habitualmente de factor dinâmico

de forma². Assim, o achatamento da terra induz ao movimento dos satélites três efeitos importantes, que se descrevem de seguida.

Em primeiro lugar, verifica-se a precessão do plano orbital em torno do eixo polar, a uma velocidade angular:

$$\Omega = -\frac{3}{2}J_2\sqrt{\frac{\mu}{a}}\left(\frac{a_T^2}{a^3}\right)\frac{\cos i}{(1-e^2)^2} \quad (2.36)$$

Assim, se $\Omega > 0$ a precessão é directa, ou prógrada; caso contrário, verifica-se a precessão inversa.

Em segundo lugar, o período nodal, definido como o intervalo de tempo entre duas passagens nodais sucessivas aumenta de P_0 para P_N , onde

$$P_N = 2\pi\sqrt{\frac{a^3}{\mu}}\left[1 + \frac{3}{2}J_2\left(\frac{a_T}{a}\right)^2\left((1-3\cos^2 i) + \frac{(1-5\cos^2 i)}{(1-e^2)^2}\right)\right] \quad (2.37)$$

Em terceiro lugar, a elipse descrita pela órbita do satélite roda sobre o seu próprio plano, com uma velocidade angular dada por:

$$\omega = \Omega\frac{(1-5\cos^2 i)}{2\cos i} \quad (2.38)$$

Para além disso, a relação entre o tempo, t , e a verdadeira anomalia θ é dada por:

$$\frac{t}{T_{Orbital}} = \frac{1}{\pi}\arctan\frac{(1-e)\tan\left(\frac{\theta}{2}\right)}{\sqrt{(1-e^2)}} - \frac{e}{2\pi}\frac{\sqrt{(1-e^2)}}{1+e\cos\theta} \quad (2.39)$$

Na equação anterior, $T_{Orbital}$ não é mais do que o período da órbita kepleriana, conforme escrito anteriormente(2.21):

$$T_{Orbital} = 2\pi\sqrt{\frac{a^3}{\mu}}$$

Deste modo, o conjunto de equações apresentadas na secção 2.1.1 deve ser alterado, de forma a incluir todas as perturbações mencionadas anteriormente. Assim, novas equações do movimento podem ser escritas, para levar em conta todos os efeitos referidos. Os modelos descritos em (Hoots&Roehrich, 1980) continuam actualmente a ser utilizados para dar origem aos elementos keplerianos no formato **Two Line Element**. Este formato remonta ao cartão perfurado como meio de armazenamento de informação e foi inicialmente utilizado pela NASA e pela NORAD.

Assim um *two line element* consiste em duas linhas de 69 caracteres de informação que podem ser utilizadas para determinar a velocidade e a posição do satélite desejado. Os únicos caracteres válidos são os números de zero a nove, as letras (maiúsculas) de A a Z o ponto (.), o espaço e os sinais de adição (+) e subtracção (-). Nenhum outro caracter é válido. Na figura 2.4 são ilustradas as informações disponibilizadas neste formato.

²O valor de J_2 é, aproximadamente, $1,08263 \times 10^{-3}$

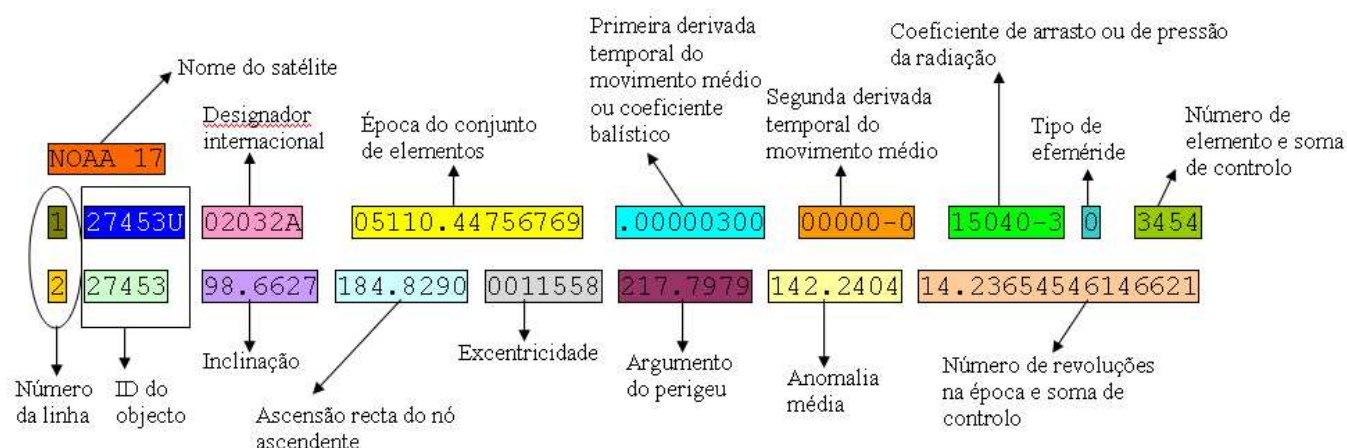


Figura 2.4: Significado dos blocos de um conjunto de elementos keplerianos em formato TLE.

Por análise da figura, pode referir-se que a chamada linha zero indica o identificador do satélite. A primeira coluna de cada linha do conjunto de elementos indica o número da linha e consequentemente o formato para essa linha. O conjunto de informações seguinte prende-se com o número do satélite (exibido em ambas as linhas), conforme atribuído pela NORAD. No caso da figura 2.4, o satélite NOAA 17 possui no catálogo da NORAD o número 27453. A letra U, na identificação do número do satélite na primeira linha indica que as informações presentes são de domínio público.

Os três blocos seguintes referem-se, respectivamente aos dois últimos dígitos do ano de lançamento, ao número de lançamento do ano e ao número do objecto do lançamento. Os dois campos seguintes definem, em conjunto o que é comumente referido como época. São assim indicados o ano na época e a parte fraccionária do dia juliano. Exemplificando com a figura anterior, pode verificar-se que o satélite NOAA 17 foi lançado no trigésimo segundo lançamento do ano de 2002³. Para além disso, a letra A indica que o NOAA 17 foi o único satélite no lançamento 32.

O bloco que faz menção à época indica o instante em que foram feitas as medições dos parâmetros orbitais. Os dois primeiros algarismos representam o ano (2005, no caso do NOAA-17); os três dígitos seguintes referem-se ao dia do ano, pelo que, na figura, se está a fazer menção ao dia 20 de Abril. O número decimal seguinte indica as horas, minutos e segundos (UTC). No exemplo apresentado, o tempo da época é 05110.44756769, ou seja, 20 de Abril de 2005, às 10 horas, 44 minutos e 29 segundos.

No que diz respeito à primeira e à segunda derivadas do movimento médio, há que referir que estes são números que indicam a forma como o movimento médio do satélite se altera no decurso do tempo. Contudo, no modelo de propagação SGP4/SDP4 (Hoots&Roehrich, 1980) estes valores não são utilizados pelo que, em rigor, não possuem uma utilidade

³ O satélite NOAA-17 foi lançado em 2002/06/24 às 18:23:04 UTC.

fundamental.

Quanto ao coeficiente balístico, há que esclarecer que este funciona como um factor de arrasto. Assim, no modelo utilizado, o coeficiente balístico representa o quão susceptível o objecto é ao atrito atmosférico, e relaciona-se com a densidade atmosférica, ρ_0 , a coeficiente de arrasto, C_D , a área eficaz, A e a massa do objecto, m , através de:

$$B^* = \frac{C_D A \rho_0}{m} \frac{1}{2} \quad (2.40)$$

Na equação anterior, B^* possui unidades de (Raio da Terra)⁻¹.

No bloco seguinte, pode encontrar-se, em primeiro lugar, a representação do tipo de efeméride, isto é, o modelo orbital utilizado para gerar a informação. Nesse sentido, o 3º Relatório do Spacetrack (Spacetrack Report 3) sugere as seguintes atribuições: 1 para o modelo SGP, 2 para o SGP4, 3 para o SDP4, 4 para o SGP8 e 5 para o SDP8. Contudo, este valor é utilizado exclusivamente para análise interna; todos os elementos gerados possuem o valor zero e são gerados utilizando o modelo orbital SGP4/SDP4. Os algarismos seguintes indicam o número do conjunto de dados, que varia de 1 a 999. No exemplo da figura, o número do conjunto de dados é o 345. O último algarismo da primeira linha representa a soma de controlo, que se obtém a partir do resto da divisão por dez da soma de todos os dígitos da linha (assignando o valor 1 a cada carácter '-' presente). Por exemplo, a soma de todos os dígitos na linha um é 114, portanto, o resto da divisão por 10 é 4, valor exibido no final da primeira linha. Este parâmetro é utilizado como parâmetro de controlo de qualidade dos dados orbitais, evitando assim eventuais erros de telecomunicação.

Passando à segunda linha, e após se identificar o número de linha e o número do objecto, surge a informação sobre a inclinação da órbita, um número positivo, expresso em graus, que varia de 0 a 180°. Se for indicado um valor nulo, isso significa que o satélite se move ao longo do equador, no sentido oeste/este. No caso do NOAA-17, o valor da inclinação da sua órbita é de 98,6627°.

De seguida, é possível visualizar a ascensão recta do nó ascendente. Quando o satélite orbita em torno da Terra, ele passa duas vezes pelo equador: uma pelo nó ascendente e outra pelo nó descendente. Para o satélite em questão, a ascensão recta do nó ascendente é igual a 184,829°.

Já no que concerne à excentricidade da órbita, há que referir a extrema importância deste parâmetro, uma vez que é a excentricidade que define o formato da órbita e as diferentes possibilidades de utilização do satélite. Por norma, os satélites meteorológicos possuem pequenos valores de excentricidade, o que significa que executam órbitas praticamente circulares. A excentricidade do satélite NOAA-17 é, por inspecção da figura, 0,0011558⁴

Passando ao argumento do perigeu, é importante recordar que é este parâmetro que define a orientação da órbita elíptica em relação à Terra. No exemplo em questão, o valor do argumento do perigeu é de 217,798°.

⁴Neste formato assume-se a existência da vírgula decimal precedendo o valor da excentricidade.

A anomalia média define a posição do satélite na órbita, sendo que o valor deste parâmetro é medido em relação ao perigeu. Para o satélite NOAA-17, a anomalia média é de $142,240^\circ$.

O movimento médio do satélite indica o número de revoluções efectuadas pelo satélite em um dia solar (1440 minutos). Por isso, para determinar esse valor basta dividir por 1440 o período orbital do satélite. No exemplo da figura, o movimento médio do NOAA-17 é igual a 14,23654546 revoluções por dia.

O penúltimo campo da segunda linha indica o número da órbita, ou seja, o número de revoluções completas efectuadas desde o momento do lançamento do satélite. Assim, o NOAA-17 já efectuou, desde o seu lançamento, 14662 órbitas.

Finalmente, o último algarismo da segunda linha representa a soma do controlo, tal como foi definida ao resultado apresentado para a linha 1.

2.1.5 As órbitas geostacionárias

As órbitas geostacionárias foram propostas e desenvolvidas pelo cientista soviético Konstantin Eduardovich Tsiolkovsky (1857 - 1935) (Bakst & Yamazaki, 2000).

Uma órbita geostacionária é, como o próprio nome sugere, um tipo de órbita na qual o satélite permanece em repouso relativamente à Terra. Uma órbita desse tipo consegue-se colocando o satélite numa órbita circular acima do equador, com um período de rotação igual ao da Terra, conforme ilustra a figura 2.5.

Note-se, contudo, que o período orbital da Terra não é exactamente de 86400 s, como intuitivamente se pode pensar. Na verdade, ao fim de 24 horas a Terra efectua uma revolução completa sobre si própria, mas também orbita o Sol na mesma direcção em que gira sobre si mesma, pelo que se pode dizer que, em relação às estrelas fixas, a Terra rodou sobre si mesma um pouco mais do que uma volta completa. De facto, em 24 horas a Terra terá rodado $1 + 1/365.25$ voltas completas, definindo assim o chamado **dia sideral**, como o intervalo de tempo necessário para a Terra efectuar uma revolução completa sobre si mesma em relação às estrelas fixas. Assim, vem, para o período,

$$T = 86400 \times \left(1 + \frac{1}{365,25}\right) = 86164\text{s}. \quad (2.41)$$

Assim, para uma órbita geostacionária, tem-se $i = 0$, $e = 0$ e $T = T_{Terra} = 86164$ s. Para além disso, os satélites de órbita geostacionária localizam-se a cerca de 35800 km do equador, podendo assim garantir uma cobertura contínua de grande parte da superfície terrestre, como se ilustra na figura 2.6.

Note-se, contudo, que apesar da designação de geostacionário, um satélite geostacionário não permanece absolutamente imóvel em relação à Terra. Na verdade, a posição do satélite relativamente à Terra varia ao longo do tempo, devido a alguns factores, entre os quais a inhomogeneidade do campo gravítico terrestre (que leva a uma alteração na posição do satélite à taxa de 1° por mês) e o efeito da pressão da radiação solar sobre o satélite (induzindo uma alteração na órbita do satélite à taxa de $0,8^\circ$ por ano). Assim, de forma

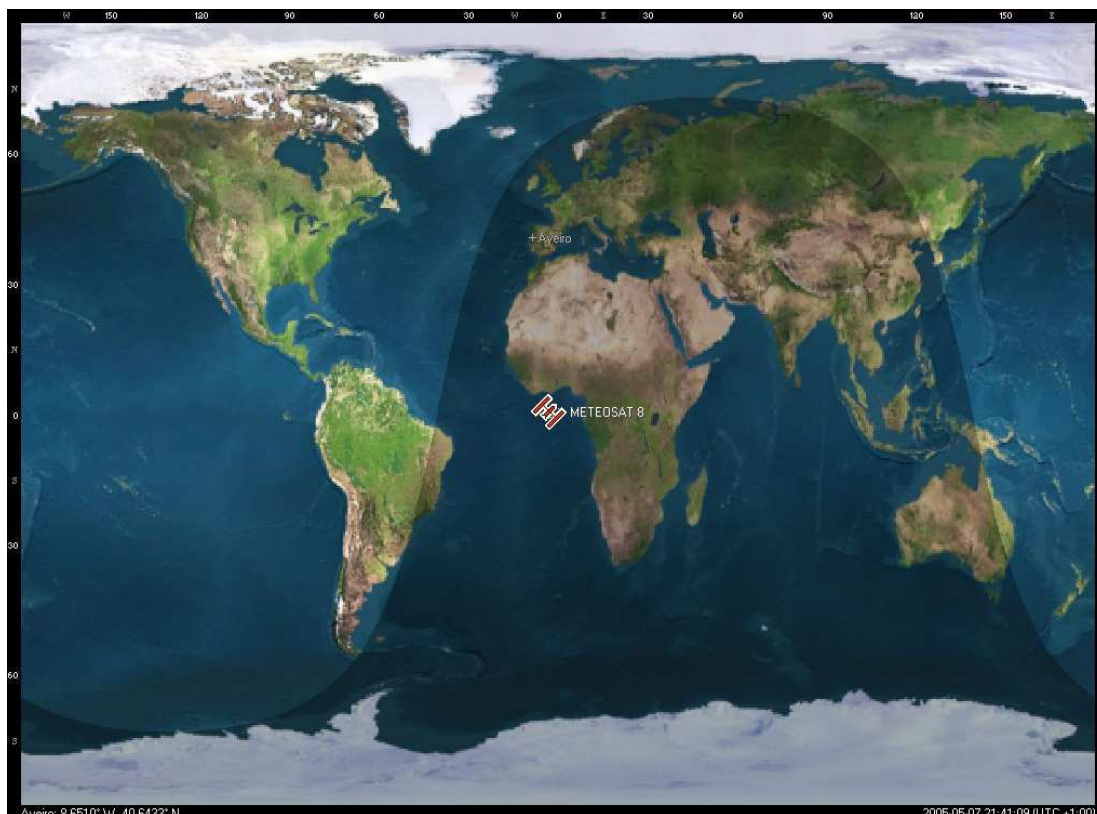


Figura 2.5: Posição do satélite geostacionário Meteosat 8 (MSG-1), obtida através de *software* de posicionamento e acompanhamento de satélites.

a minimizar estes efeitos, mantendo o satélite na posição desejada são feitas, a partir da Terra, correcções periódicas na órbita do satélite.

2.1.6 As órbitas heliosíncronas

Conforme já se referiu, o valor do ângulo de inclinação irá determinar os atributos da órbita do satélite. Assim, se $i = 0$, a órbita efectuar-se-á no plano equatorial. Por outro lado, se $i > 90^\circ$ a órbita é classificada de retrógrada, ao passo que, se $i < 90^\circ$, a órbita realiza-se no sentido directo.

Uma grande parte dos satélites de observação da Terra são lançados de forma a alcançarem órbitas retrógradas. Assim, através da combinação cuidada dos elementos orbitais pode conseguir-se uma precessão de 1° por dia, que é o valor da velocidade angular de rotação da Terra em torno do Sol:

$$\Omega = \frac{2\pi}{365,24} \text{rad/ano} \approx 1^\circ/\text{dia} = 1,99 \times 10^{-7} \text{rad.s}^{-1} \quad (2.42)$$

Assim, uma importante implicação deste tipo de órbita tem a ver com o facto de o

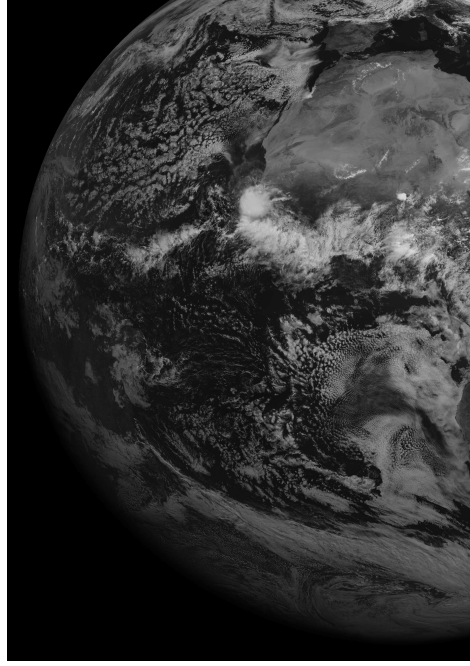


Figura 2.6: Primeira imagem obtida na Estação de Recepção METEOSAT da Universidade de Aveiro do satélite geostacionário Meteosat 8 (MSG-1), tornando possível observar a área de cobertura do satélite.

satélite cruzar a mesma latitude, diariamente à mesma hora solar. Para além disso, se o satélite for colocado a uma altitude tal que o seu período de revolução seja um múltiplo inteiro do dia sideral, a órbita heliosíncrona alcançada irá caracterizar-se por manter um ângulo constante entre o Sol e o plano orbital do satélite.

Por outro lado, pode mostrar-se que, com a taxa de precessão definida pela expressão (2.42), a inclinação pode ser determinada, fazendo uso da expressão (2.36) e supondo nula a excentricidade da órbita:

$$\cos i = \frac{2\Omega a^{7/2}}{3J_2\sqrt{\mu a_T}} \quad (2.43)$$

Deste modo, fazendo $a = 7828$ km e considerando o raio equatorial da Terra $a_T = 6378$ km, pode verificar-se que $i \approx 102^\circ$. Para além disso, o período da órbita, situada a uma altitude de 1450 km não é mais do que:

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{\mu}{r^3}}} \approx 2\pi\sqrt{\frac{7828^3}{398600}} \approx 114,9\text{min} \quad (2.44)$$

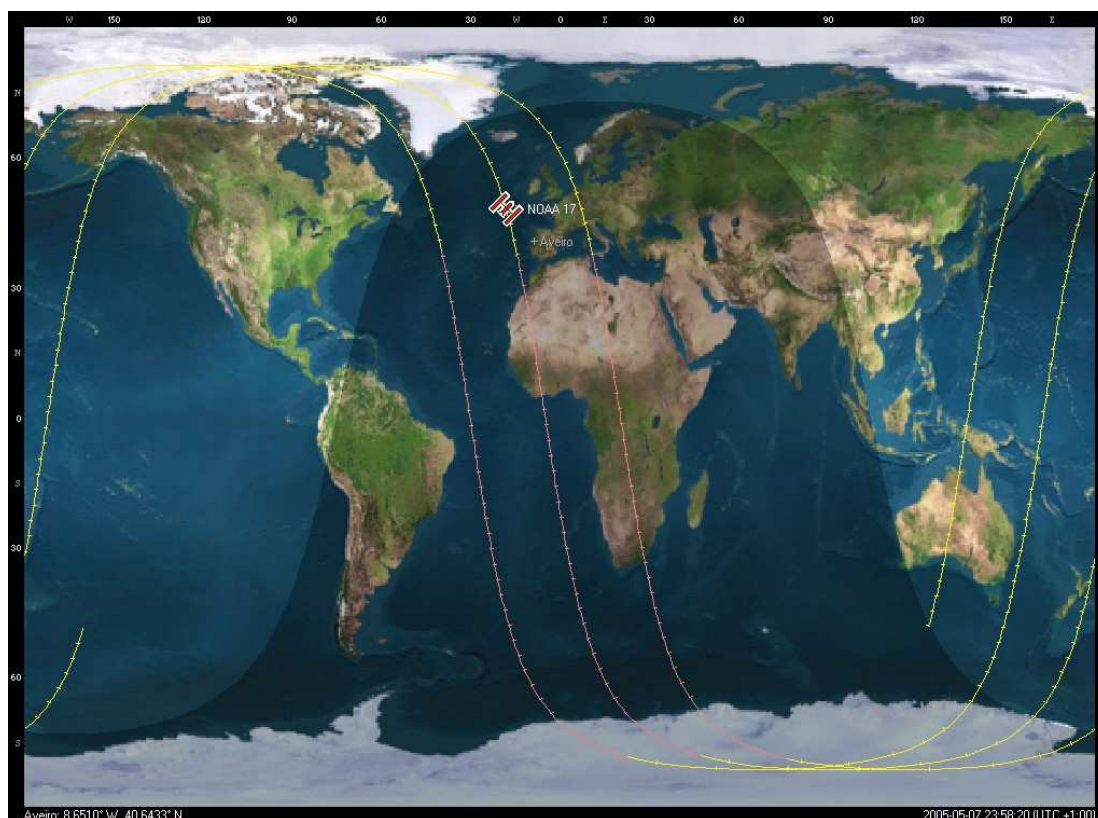


Figura 2.7: Posição do satélite de órbita polar NOAA-17, obtida através de *software* de posicionamento e acompanhamento de satélites.

2.2 A Física do Sinal medido por Satélite

Toda a informação sobre a Terra e a atmosfera recebida por um satélite é obtida pelo processo mais importante de transferência de energia na atmosfera: a radiação. Assim, de forma a quantificar a energia, o satélite deverá possuir instrumentos que lhe permitam medir energia reflectida ou emitida pelos objectos sem que haja contacto físico directo entre o dispositivo sensor e o objecto em questão. Este é o objectivo da Detecção Remota.

Apesar de o conceito básico de Detecção Remota, baseado na necessidade de se determinarem características e propriedades de objectos à distância, remontar ao século IV AC, com Aristóteles e a sua câmara escura (Rees, 1990), a Detecção Remota prática teve que aguardar pela descoberta da fotografia. Actualmente, pode dizer-se que a Detecção Remota é uma área em franca expansão, interdisciplinar e que constitui uma mais-valia para a sociedade.

De acordo com uma definição mais académica (Lillesand & Kiefer, 2000), a Detecção remota é definida como:

"a técnica que permite a aquisição de informações sobre um corpo ou caracte-

rística de um sistema sem contacto directo, ou seja, através de sensores."

Deste modo, torna-se premente definir sensor como

"...qualquer dispositivo capaz de detectar e registar radiação electromagnética, em determinadas faixas do espectro, e gerar informações que possam ser transformadas num produto passível de interpretação, quer seja na forma de imagem, na forma gráfica ou de tabelas."(Moreira, 2005)

Assim, pode dizer-se que, em Detecção Remota, é possível extrair informação acerca de uma propriedade de um alvo traduzindo a informação contida na radiação electromagnética que dele emana. Este é um processo em tudo similar à visão: o olho humano é um sensor que pode obter informação do mundo real a partir da luz que os objectos reflectem. Naturalmente, ao ver uma flor, a luz que o olho humano detecta não teve origem na flor, mas antes no Sol, ou em qualquer outro corpo luminoso. Por isso, nunca seria possível observar a flor em condições de escuridão absoluta.

Utilizando este exemplo, torna-se possível referir os elementos principais de um sistema de detecção remota: uma fonte de energia (o Sol), o objecto observado (a flor), o sensor (o olho humano) e a radiação electromagnética que é emitida pelo Sol em direcção à flor e, ao ser reflectida por esta, é captada pelo olho. Noutras circunstâncias, o olho humano pode detectar a radiação que é originada e emitida pelo próprio objecto, como no caso do pavio em chama de uma vela. Assim, no estudo da Detecção remota, podem considerar-se três processos básicos de recolha de informação acerca de um objecto(alvo): a reflexão, a emissão e um processo misto de emissão-reflexão. Claro que o mais importante dos três é o primeiro, na medida em que utiliza como fonte a radiação emitida pelo Sol: este ilumina a superfície da Terra que, por sua vez, reflecte uma porção dessa energia de volta para o espaço, de uma forma que depende do tipo e composição da cobertura existente à superfície. A radiação electromagnética reflectida é, pois, detectada pelo sensor a bordo do satélite, que posteriormente regista e transmite esse sinal para uma estação de recepção.

Por outro lado, a radiação detectada remotamente pode ter origem na energia emitida pela superfície da Terra. Nestas circunstâncias, a energia provém do objecto ou da superfície em si, na presença ou ausência de iluminação solar. Também nesta possibilidade, os sistemas de Detecção Remota providenciam uma solução para medir a energia emitida. Uma terceira possibilidade envolve a possibilidade de um sensor activo emitir energia que interage com a superfície da Terra, detectado posteriormente o resultado dessa interacção⁵.

Todavia, e apesar do tipo de sistema utilizado, a transferência de informações do objecto para o sensor é feita através da radiação electromagnética⁶, possibilitando a caracterização da superfície. Por esse motivo, torna-se importante compreender os mecanismos através dos quais esta radiação é gerada e o modo como interage com a atmosfera.

⁵Basicamente, este é o princípio de funcionamento de sistemas como o RADAR ou o LIDAR.

⁶Algumas obras, como JARS (1996) enfatizam que qualquer outro campo, como o gravítico, ou o magnético podem ser utilizados em Detecção Remota.

2.2.1 A radiação electromagnética

As propriedades da radiação electromagnética podem ser explicadas por duas teorias aparentemente contraditórias: a teoria ondulatória (proposta por Huygens e formulada definitivamente por Maxwell) e a teoria corpuscular, baseada numa interpretação quântica, formulada por Planck e Einstein, entre outros. Assim, a propagação da radiação electromagnética na descrição ondulatória é uma consequência das equações propostas por James Clerk Maxwell. Assumindo a ausência de cargas e correntes livres, estas equações podem escrever-se, para a propagação de radiação electromagnética num meio material como:

$$\begin{cases} \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0 \\ \vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \\ \vec{\nabla} \times \vec{E} + \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = \vec{0} \\ \vec{\nabla} \times \vec{B} - \frac{\mu\epsilon}{c^2} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \vec{0} \end{cases} \quad (2.45)$$

De acordo com o conjunto de equações exposto em (2.45) e, recorrendo à identidade:

$$\vec{\nabla} \times (\vec{\nabla} \times \vec{A}) = \nabla (\vec{\nabla} \cdot \vec{A}) - \nabla^2 \vec{A}$$

pode mostrar-se que os vectores campo eléctrico, \vec{E} , e campo magnético, \vec{B} , satisfazem a equação de onda tridimensional:

$$\begin{cases} \nabla^2 \vec{E} - \frac{\mu\epsilon}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \\ \nabla^2 \vec{B} - \frac{\mu\epsilon}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} \end{cases} \quad (2.46)$$

Deste modo, pode escrever-se que os campos eléctrico, \vec{E} , e magnético, B , se propagam no espaço segundo as equações:

$$\begin{cases} E_y = E_0 z \cos(\omega t - kx) \\ B_z = B_0 z \cos(\omega t - kx) \end{cases} \quad (2.47)$$

A propagação da onda electromagnética descrita pelo sistema de equações (2.47) pode ser ilustrado na figura 2.8.

Mais ainda, a radiação electromagnética pode ser caracterizada pelas seguintes grandezas:

- Frequência, $\nu = \frac{\omega}{2\pi}$, o número de ciclos completos por unidade de tempo
- Comprimento de onda, $\lambda = \frac{2\pi}{k} = \frac{v}{\nu}$, a distância entre dois máximos (ou dois mínimos) sucessivos da onda

No que concerne à velocidade de propagação, atendendo ao facto de a onda se propagar num meio material e não no vazio, $v = \frac{c}{n}$, com $n = \sqrt{\epsilon\mu}$ a designar o índice de refração. Note-se, porém, que $c = \lambda\nu$.

A descrição corpuscular da luz descreve a radiação como um conjunto de pacotes discretos de energia, os fótons. Adoptando este quadro teórico, pode dizer-se que, de acordo com

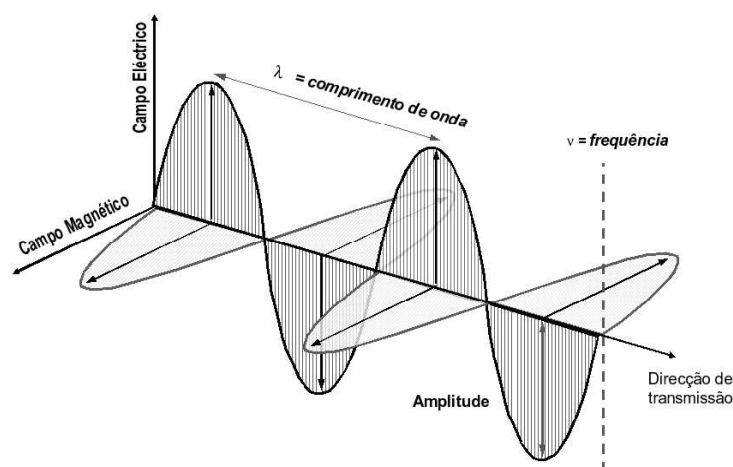


Figura 2.8: Representação de uma onda electromagnética.

a relação de Planck, $Q = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$. Deste modo, verifica-se que a quantidade de energia transportada inversamente proporcional ao comprimento de onda da radiação. Este facto significa que, do ponto de vista prático, se torna mais difícil a detecção de radiação de maior comprimento de onda em virtude da sua menor energia.

2.2.2 O Espectro Electromagnético

Como se pode discernir do que tem vindo a ser referido, na radiação electromagnética é possível identificar um vasto conjunto de comprimentos de onda que (e, consequentemente, de frequências) que variam de forma contínua, tornando possível reconhecer uma série de regiões onde a radiação electromagnética manifesta um comportamento similar. Assim, esta sucessão de valores de comprimento de onda assumidos pela radiação electromagnética é frequentemente denominada de espectro electromagnético, e ilustra-se na figura 2.9.

No que diz respeito à detecção remota, há um conjunto de termos usados frequentemente para descrever as várias regiões espectrais. Apesar de os seus nomes e os limites espectrais poderem variar ligeiramente, ao longo da literatura, referem-se, de seguida, os referidos em (Lillesand&Kiefer, 2000).

- A **região do visível** (de comprimentos de onda situados entre os $0,4$ e os $0,7 \mu\text{m}$) coincide com a porção do espectro electromagnético a que o olho humano é sensível. A região do visível representa apenas uma pequena parte de todo o espectro e pode ser dividida em três "cores" primárias que o olho humano é capaz de distinguir, nomeadamente os intervalos espectrais do azul (cujos comprimentos de onda variam entre $0,4$ e $0,5 \mu\text{m}$), verde (com comprimentos de onda entre $0,5$ a $0,6 \mu\text{m}$ e vermelho (com comprimentos de onda compreendidos entre os $0,6$ e os $0,7 \mu\text{m}$).

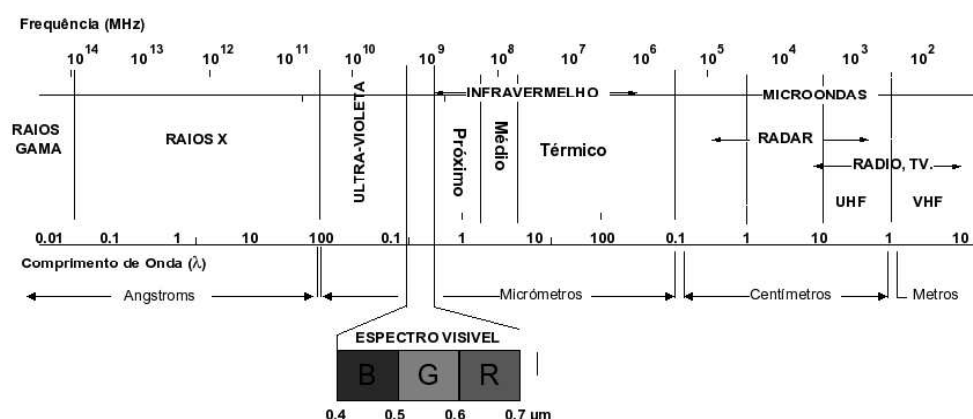


Figura 2.9: O espectro electromagnético, evidenciando algumas bandas espectrais importantes

- A banda do **Infravermelho próximo** ($0,7 \leq \lambda < 1,3 \mu\text{m}$) é uma porção do espectro que reside imediatamente a seguir à gama de percepção do olho humano, sendo por vezes designada como infravermelho reflectivo ou infravermelho fotográfico, já que parte desta região espectral pode ser detectada com filmes fotográficos especiais. O infravermelho próximo reveste-se de especial interesse devido à sua capacidade de discriminar vegetação verde.
- A região do **infravermelho médio**, ou infravermelho de onda curta, com $1,3 \leq \lambda < 8 \mu\text{m}$ exibe um comportamento interessante devido à sua localização entre as bandas do infravermelho próximo e do infravermelho térmico. Nesse sentido, esta região pode ser empregue para determinar concentrações de humidade na vegetação ou para detectar regiões de alta temperatura.
- O **infravermelho térmico** é uma gama de comprimentos de onda compreendidos entre 8 e $14 \mu\text{m}$ e corresponde à radiação emitida pela superfície da Terra, permitindo assim mapear a temperatura da superfície. Deste modo, esta banda espectral é particularmente útil para a determinação de focos de incêndio
- A região das **microondas**, com $\lambda > 1 \text{ mm}$ é uma banda espectral em que os longos comprimentos de onda são transparentes à cobertura de nuvens, o que permite a observação através das nuvens. Para além disso, as microondas podem penetrar o dossel das florestas em várias profundidades, sendo por isso úteis na análises de composição do solo e na rugosidade da superfície

2.2.3 Grandezas Radiométricas e unidades de medida

Conforme referido na secção anterior, de forma a tornar a Detecção remota possível, deverá existir uma fonte de radiação e um sensor adequado para detectar a radiação elec-

tromagnética que é reflectida pela superfície da Terra em direcção ao campo de observação do sensor. Naturalmente que a radiação em questão possuirá uma determinada intensidade e direcção, pelo que esta pode dirigir-se de encontro à superfície ou no sentido contrário.

Por isso, e para tornar clara a compreensão de secções subsequentes desta dissertação, é importante expor as definições das grandezas utilizadas em Detecção Remota, bem como as respectivas unidades empregues. Deste modo, utiliza-se a nomenclatura recomendada pela Comissão de Radiação da Associação Internacional de Meteorologia e Ciências Atmosféricas, conforme é referenciado em (Kidder&Haar, 1995).

Representando por Q a quantidade total de energia (medida em Joules) radiada em todas as direcções, pode, desde logo, considerar-se o **fluxo radiante**, ϕ (medido em Watts, W) como a taxa de transferência da energia radiante em todas as direcções, por intervalo de tempo, ou seja:

$$\phi = \frac{dQ}{dt} \quad (2.48)$$

Acontece, todavia, que o fluxo radiante depende da área, portanto é mais cómodo definir a quantidade de fluxo radiante por unidade de área do sensor, ou seja, a **densidade de fluxo radiante** (M ou E):

$$E = \frac{d\phi}{dA} \quad (2.49)$$

Por outro lado, a grandeza anteriormente definida por ser subdividida em duas outras grandezas correntemente empregues, por forma a indicar a direcção em que se efectua o transporte de energia.

Deste modo, é comum definir a **emitância radiante**, M , como a densidade de fluxo que emerge de um elemento de área e a **irradiância**, E como a densidade de fluxo radiante que incide num elemento de área. Note-se, todavia, que a irradiância e a emitância radiante correspondem à mesma quantidade $\frac{d\phi}{dA}$ e expressam-se nas mesmas unidades (W.m^{-2}), sendo que a única diferença é a direcção de propagação da radiação.

A emitância radiante é frequentemente utilizada, por exemplo, em Climatologia, na determinação da troca de energia sob a forma de calor entre a superfície da Terra e a atmosfera. Neste exemplo prático, a superfície da Terra e a atmosfera formam camadas planas e paralelas, de forma a que a transferência de energia se processa apenas na direcção vertical. Por isso, torna-se conveniente distinguir a quantidade de energia sob a forma de calor emitida pela superfície da Terra da quantidade de energia sob a forma de calor absorvida pelas nuvens, por unidade de área.

Prosseguindo com a definição das grandezas radiométricas utilizadas, há que reconhecer o facto de, na natureza, a radiação ser função da direcção o que, em termos matemáticos, faz surgir o conceito de ângulo sólido ($\Omega = \frac{A}{r^2}$).

Assim, considere-se um elemento de área dA na qual a radiação incide, subtendendo um ângulo sólido na direcção θ relativamente à perpendicular ao plano dA , conforme se ilustra na figura 2.10.

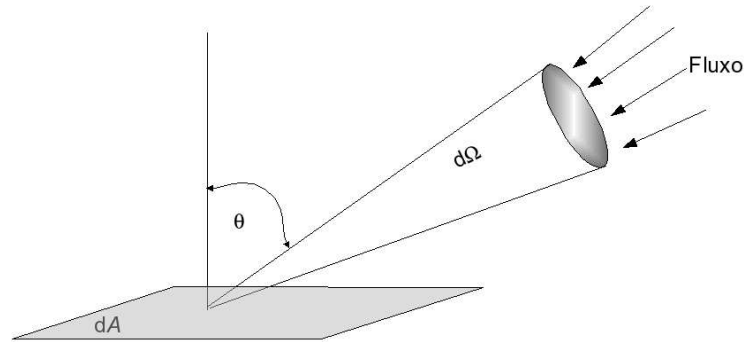


Figura 2.10: Esquema ilustrativo do conceito de radiância.

Deste modo, pode definir-se a **radiância**, L , como a quantidade total de radiação numa certa direcção por unidade de área e ângulo sólido de medida. Por isso, é lícito escrever:

$$L = \frac{d^2\phi}{dA \cos\theta d\Omega} = \frac{dE}{\cos\theta d\Omega} \quad (2.50)$$

Por análise da equação anterior, é possível verificar que a radiância é medida em $\text{W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$. Para além disso, a radiância é uma grandeza de extrema importância em Detecção Remota na medida em que possui a propriedade de se manter constante ao longo do percurso da propagação da radiação⁷, de forma a que a radiância que abandona a superfície é igual à radiância que atinge o sensor, independentemente da configuração geométrica.

Assim sendo, a definição de radiância permite estabelecer relações entre esta grandeza e as grandezas anteriormente definidas, supondo a isotropia da radiação emitida. Nestas condições, é comum definir-se uma **superfície Lambertiana** como um reflector perfeitamente difuso, na qual a radiação é isotropicamente reflectida.

Deste modo, justapondo ao que se escreveu anteriormente:

$$\frac{d\phi}{dA} = M = \int_0^{2\pi} L(\theta, \phi) \cos\theta d\Omega = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} L(\theta, \phi) \cos\theta \sin\theta d\theta d\phi \quad (2.51)$$

Para além disso, atentando nas considerações geométricas expostas na figura 2.11, pode ainda escrever-se:

$$M = L \int_0^{2\pi} \cos\theta \sin\theta d\theta d\phi = \pi L \quad (2.52)$$

⁷Desde que não exista absorção ou espalhamento pela atmosfera.

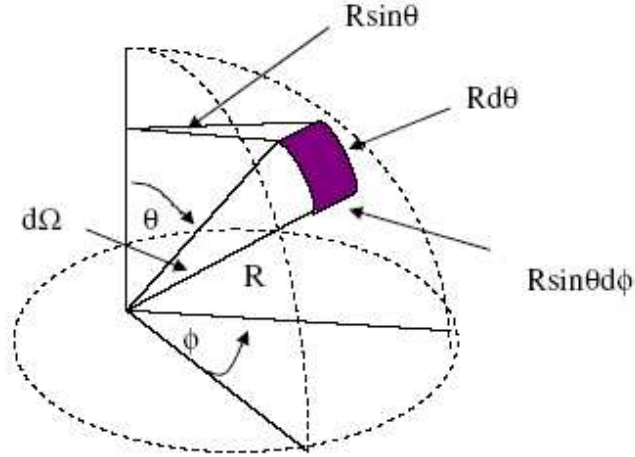


Figura 2.11: Projecção de um elemento de área dA em função das coordenadas. Note-se que $dA = R \sin \theta d\phi \times R d\theta$.

Mais ainda:

$$\phi = \pi AL \quad (2.53)$$

2.2.4 Radiação do Corpo Negro

Qualquer corpo a uma temperatura $T > 0$ (K) emite radiação em todos os comprimentos de onda. A explicação deste facto foi, aliás, um dos grandes desafios colocados aos físicos do século XIX, que cunharam o termo de **corpo negro** para designar um objecto idealizado que emite toda a radiação electromagnética possível, com uma eficiência de 100 %. Observando o comportamento da radiação no interior de cavidades, foi possível obter, numa base empírica, relações entre a radiação de um corpo negro e as duas variáveis da qual essa radiação depende: a temperatura e o comprimento de onda.

A contribuição revolucionária de Planck acabou por demonstrar que a distribuição espectral de radiação electromagnética emitida por um corpo negro é dada por:

$$M_{\lambda,T} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 \left(e^{hc/\lambda kT} - 1 \right)} \quad (2.54)$$

Na equação anterior, $M_{\lambda,T}$ representa a emitância radiativa espectral de um corpo negro para um certo comprimento de onda (λ) e temperatura absoluta. De forma a minimizar o

uso de constantes fundamentais, é comum exprimir-se a equação anterior sob a forma:

$$M_{\lambda,T} = \frac{c_1}{\lambda^5 (e^{c_2/\lambda T} - 1)} \quad (2.55)$$

Assim, vem que, $c_1/\pi = 1,1910439 \times 10^{-16} \text{ W.m}^2.\text{sr}^{-1}$ é a habitualmente designada primeira constante de radiação, ao passo que $c_2 = 1,438769 \times 10^{-2} \text{ m.K}$.

Algumas soluções da equação (2.54) podem visualizar-se graficamente para várias temperaturas, tornando-se possível observar a existência de um único máximo para cada uma das curvas, conforme ilustrado na figura 2.12.

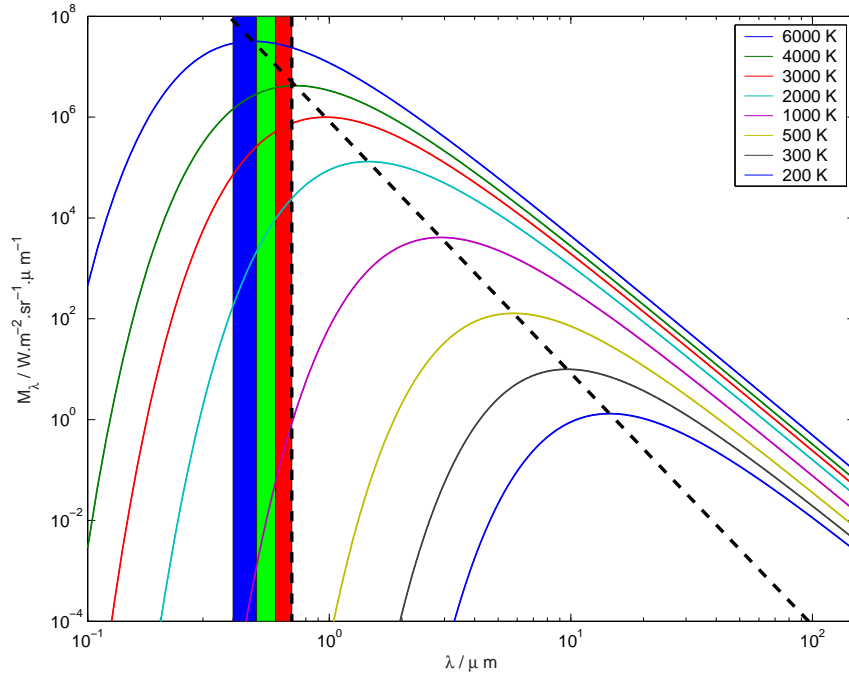


Figura 2.12: Emitância espectral radiante para um corpo negro a diferentes temperaturas. O rectângulo inserido no gráfico ilustra a amplitude da região espectral visível e a linha a tracejado ilustra os máximos de emitância.

A lei de Planck, como é chamada a equação (2.54) possui algumas particularidades interessantes, que merecem um olhar mais atento sobre ela.

Para isso, consideremos num primeiro caso o caso de pequenos comprimentos de onda. Nessas circunstâncias:

$$M_{\lambda,T} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 (e^{hc/\lambda kT} - 1)} \quad \text{com} \quad \lambda \ll hc/kT \quad (2.56)$$

Este caso é o que acontece com a radiação ultravioleta que chega do Sol. À medida que o comprimento de onda decresce, o decaimento exponencial torna-se importante e a

emitância decresce rapidamente. É possível verificar esse facto nas curvas do gráfico da figura 2.12: o decaimento é mais precipitado para comprimentos de onda mais curtos.

A consideração feita na equação (2.56) permite ainda uma aproximação à Lei de Planck, conhecida como Lei de Wien. Assim, no limite de pequenos comprimentos de onda, é lícito escrever:

$$e^{hc/\lambda kT} - 1 \approx e^{hc/\lambda kT} \quad \text{pelo que}$$

$$M_{\lambda,T} = \frac{2\pi h}{\lambda^3 e^{hc/\lambda kT}} \quad (2.57)$$

De forma análoga, no limite de grandes comprimentos de onda, a chamada aproximação de Rayleigh-Jeans pode ser utilizada. Assim, na condição $\lambda \gg hc/kT$ pode desenvolver-se a função exponencial em série de Taylor, obtendo:

$$e^{hc/\lambda kT} \approx 1 + hc/\lambda kT$$

Nessas circunstâncias, pode aproximar-se a Lei de Planck por:

$$M_{\lambda,T} = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5 \left(\frac{hc}{\lambda kT}\right)} = \frac{2\pi c k T}{\lambda^4} \quad (2.58)$$

Esta aproximação reveste-se de particular interesse em Detecção Remota na medida em que pode ser empregue em comprimentos de onda na banda das microondas, de tal forma que a emitância passa a ser directamente proporcional à temperatura.

Não obstante as aproximações que se podem fazer, em função do comprimento de onda da radiação, pode obter-se o comprimento de onda máximo para o qual a Lei de Planck atinge o máximo da sua intensidade. Assim, procurando o comprimento de onda para o qual $M_{\lambda,T}$ atinge um máximo, obtém-se a **Lei do Deslocamento de Wien**, que não é mais do que:

$$\lambda_{Max} \cdot T = 2,898 \times 10^{-3} \text{ m K} \quad (2.59)$$

Claro que no contexto da Detecção Remota deve considerar-se a emitância sobre um vasto leque de comprimentos de onda, já que os sensores detectam radiação numa determinada banda espectral finita. Fisicamente, isto significa determinar o fluxo total de radiação emitida por um corpo negro a uma determinada temperatura. Assim, deve ter-se em conta a emitância total, que pode ser obtida através da expressão:

$$M_{Total} = \int_{\lambda=0}^{\infty} M_{\lambda,T} d\lambda = \frac{2\pi^4 k^4}{15c^2 h^3} T^4 = \sigma T^4 \quad (2.60)$$

A equação (2.60) foi desenvolvida independentemente pelos físicos Josef Stefan e Ludwig Boltzmann. Nessa equação, σ representa a constante de Stefan-Boltzmann, cujo actual valor é $5,67051 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$.

2.2.5 Interação da Radiação com a Matéria

O corpo negro definido anteriormente é, obviamente, uma idealização. Na verdade, não existem verdadeiros corpos negros na natureza. Por isso, pode definir-se a **emissividade** de um corpo, ε , como a quantidade de radiação que um corpo emite relativamente à quantidade de radiação que um corpo negro, à mesma temperatura, emitiria. Assim:

$$\varepsilon(\lambda) = \frac{M_{\text{Emitido}}}{M_{\text{Emitido Corpo Negro}}} \quad (2.61)$$

Naturalmente que, para um corpo negro, $\varepsilon = 1$. Por outro lado, um corpo com uma emissividade inferior à unidade diz-se um corpo cinzento e um corpo com uma emissividade nula, que só reflecte a radiação que nele incide, diz-se um reflector perfeito. Assim, de uma forma geral, pode reescrever-se a equação (2.54) sob a forma:

$$M(\lambda, \theta, T) = \frac{2\pi\varepsilon(\lambda, \theta)hc^2}{\lambda^5 \left(e^{hc/\lambda kT} - 1 \right)} \quad (2.62)$$

Note-se, contudo, que a emissividade é função da direcção e do comprimento de onda da radiação, justificando assim a elevada emissividade da água na banda do infravermelho térmico e o seu reduzido valor na região das microondas. Deste modo, a emissividade é, talvez, uma das mais importantes propriedades da matéria, no que diz respeito à Detecção Remota, na medida em que permite a identificação de várias superfícies à mesma temperatura através das suas propriedades emissivas. A tabela 2.1 faz o levantamento de alguns valores da emissividade na região do infravermelho (8 - 12 μm):

Material	Emissividade, ε
Carvão	0,99
Relva	0,97
Água (destilada)	0,99
Água (natural)	0,92 - 0,96
Neve e Gelo	0,97 - 0,99
Solo	0,95
Espelho	0,02
Metais	0,02 - 0,6

Tabela 2.1: Valores de emissividade para alguns materiais, na região do infravermelho (8 - 12 μm)

Já na região das microondas, a emissividade das superfícies naturais é fortemente dependente do tipo de superfície, comprimento de onda, ângulo de visão e polarização, o que dificulta enormemente a interpretação da radiação detectada remotamente, mas, por outro lado, expande enormemente as possibilidades de identificação de várias superfícies.

A partir do conceito de emissividade é relativamente imediato inferir do conceito de **Temperatura de Brilho**, T_B . Esta não é a temperatura física, no sentido da verdadeira temperatura do objecto, mas antes, a temperatura de emissão. Por outras palavras, pode definir-se a temperatura de brilho como a temperatura aparente de uma superfície, como se esta última fosse um corpo negro. Na região do infravermelho, a Lei de Stefan-Boltzman permite a escrita de:

$$\varepsilon = \frac{M_{\text{emitido}}}{M_{\text{CorpoNegro}}} = \left(\frac{T_B}{T}\right)^4 \Leftrightarrow T_B = \varepsilon^{1/4}T \quad (2.63)$$

Ora, já que a emissividade é próxima da unidade para a maioria das superfícies, no infravermelho, a temperatura de emissão é próxima da verdadeira temperatura do objecto. Contudo, na região das microondas, a Lei de Rayleigh-Jeans permite escrever que a emitância é proporcional à temperatura, pelo que, nesta região do espectro:

$$T_B = \varepsilon T \quad (2.64)$$

Quando a radiação electromagnética incide numa superfície, essa interacção pode ser feita através de três fenómenos distintos:

- **Absorção**, através de trocas de energia entre os fotões e os átomos que constituem o objecto, dando origem a transformações físicas do objecto, como o aumento da sua temperatura, por exemplo;
- **Reflexão**, através do reenvio de uma porção da radiação incidente sem alteração da sua frequência;
- **Transmissão**, onde a radiação incidente trespassa o objecto sem interagir com as suas partículas.

Note-se, todavia, que a intensidade da radiação reflectida, absorvida ou transmitida depende de certos parâmetros, tais como: o comprimento de onda da radiação incidente, o ângulo de incidência da radiação, a constituição do objecto e as características físicas do objecto.

Ora, já que $M_{\text{Absorvida}} + M_{\text{Reflectida}} + M_{\text{Transmitida}} = E_{\text{Incidente}}$, podem definir-se os seguintes termos hemisféricos:

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha = \frac{M_{\text{Absorvida}}}{E_{\text{Incidente}}} \quad , \text{ Absortividade} \\ \rho = \frac{M_{\text{Reflectida}}}{E_{\text{Incidente}}} \quad , \text{ Reflectividade} \\ \tau = \frac{M_{\text{Transmitida}}}{E_{\text{Incidente}}} \quad , \text{ Transmissividade} \end{array} \right. \quad (2.65)$$

Assim, pode escrever-se, para o balanço energético:

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (2.66)$$

Bons absorvedores são bons emissores e, empiricamente, acabou por se achar uma relação entre a absortividade e a emissividade, conhecida genericamente como Lei de Kirchoff. Esta lei postula simplesmente que a absortividade é igual à emissividade, isto é:

$$\varepsilon = \alpha \quad (2.67)$$

Levando este resultado em conta, pode reescrever-se a equação (2.66) como:

$$\varepsilon + \rho + \tau = 1 \quad (2.68)$$

Acontece, porém, que na maioria das aplicações a transmissividade não é importante, uma vez que a radiação incidente na Terra será eventualmente absorvida ou reflectida. Por isso, é comum escrever-se a aproximação:

$$\alpha + \rho = 1 \quad , \text{ ou } \quad \rho = 1 - \varepsilon \quad (2.69)$$

Deste modo, e de um modo mais geral que o utilizado anteriormente, os oceanos e a superfície terrestre podem modificar o campo de radiação atmosférica, através dos seguintes fenómenos:

- Reflexão de uma porção da radiação incidente de volta para a atmosfera;
- Transmissão de alguma da radiação incidente;
- Absorção de uma porção de radiação incidente;
- Emissão de radiação térmica.

Pelo que se disse anteriormente, a radiação electromagnética, ao interagir com os alvos da superfície terrestre pode sofrer determinados fenómenos, de modo selectivo. As proporções de cada uma dessas componentes da interacção dependem dos factores ambientais e são inerentes a cada alvo. Por exemplo, a quantidade de energia reflectida por uma planta é função de características intrínsecas desta, mas que pode ser alterada se a planta for submetida a stresses, tais como: desequilíbrio nutricional, défice hídrico, ataque de pragas e doenças, efeitos climáticos adversos, entre outros. Aliado a isso, há que atender às condições do meio ambiente, responsáveis pela atenuação da energia, durante o percurso da radiação do alvo até o local onde é quantificada.

Conhecendo o comportamento espectral da radiação reflectida e/ou emitida de diferentes alvos da superfície terrestre, é possível identificar alvos semelhantes, em outros locais, tendo unicamente por base as semelhanças do comportamento espectral.

Por outro lado, se um determinado alvo possuir um comportamento espectral conhecido, qualquer anomalia que ocorrer nesse alvo é manifestada na quantidade de energia reflectida ou emitida por ele. Logo, é lícito supor que a quantificação e análise da energia reflectida e/ou emitida pelos alvos pode ser utilizada como um parâmetro identificador de cada tipo de alvo da superfície terrestre.

Assim, recorrendo a plataformas espaciais como os satélites, podem obter-se curvas das quantidades de radiação reflectida e/ou emitida e, assim, caracterizar cada alvo da cena dentro do campo de visão do sensor.

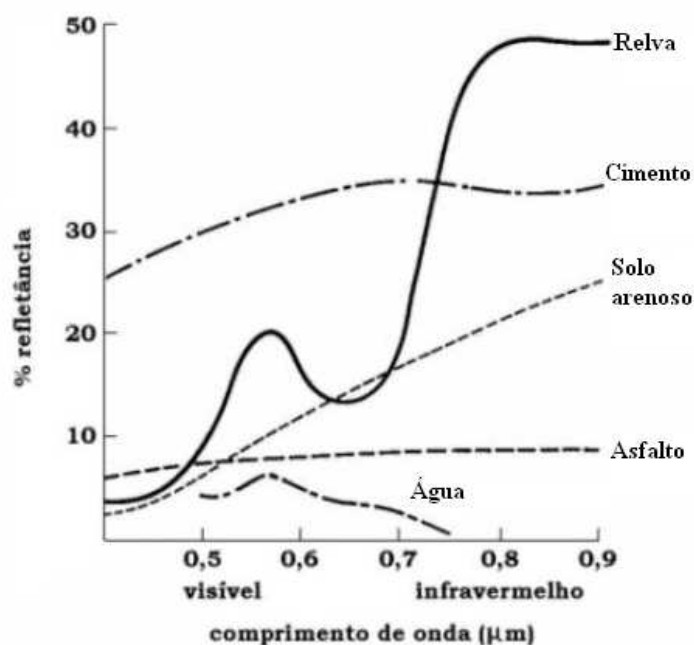


Figura 2.13: Curvas espectrais de diferentes alvos. Adaptado de (Moreira, 2005)

Conforme se pode observar na figura 2.13, cada um dos cinco alvos representados apresenta, nessa faixa do espectro electromagnético (0,4 a 0,9 μm), um comportamento espectral típico que o diferencia dos demais. Assim, é possível traçar curvas espectrais de todos os alvos da superfície terrestre, desde que exista um equipamento capaz de registar essas quantidades de energia.

2.3 Breve História dos Satélites Meteorológicos

2.3.1 Os Satélites NOAA

O conjunto de satélites NOAA é gerido pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), através do *National Environmental Satellite Data and Information Service* (NESDIS). Este último organismo é responsável pela operação, gestão do processamento e distribuição dos milhões de *bytes* de informação e imagens que estes satélites produzem diariamente. Paralelamente, é a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), a entidade responsável pelo desenvolvimento dos satélites.

O sistema operacional de satélites meteorológicos da NOAA é composto por dois tipos de satélites: geostacionários e de órbita polar, sendo sobre este segundo tipo que se tecerão

algumas considerações.

O início das actividades da NOAA e do seu programa de satélites meteorológicos foi elaborado pela NASA e pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos reporta-se ao ano de 1960 quando, a 1 de Abril, é lançado o TIROS 1 (*Television and Infra-Red Observation Satellite*), possibilitando o início da era espacial para a meteorologia. O principal objectivo do programa TIROS era o de mostrar se os satélites poderiam ser úteis para o estudo da Terra, tendo em vista a implementação de um sistema de informações meteorológicas por satélite.

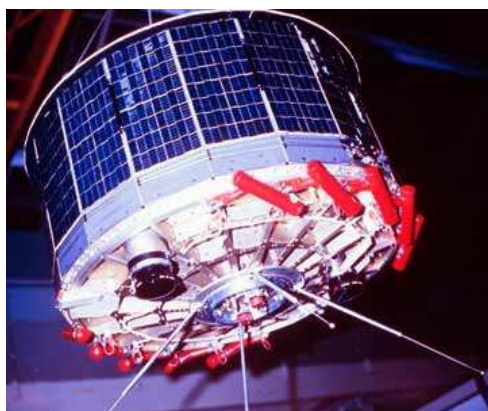


Figura 2.14: Fotografia do satélite TIROS-1. Créditos da imagem: NASA.

Os dados adquiridos por este satélite demonstraram a sua habilidade na aquisição de imagens da cobertura de nuvens sobre a Terra ao redor da maior parte do Planeta, apesar de a câmara de televisão (responsável pela aquisição das imagens) estar alinhada com o eixo do satélite (estabilizado por rotação), significando que apenas se poderiam obter imagens da Terra por um intervalo de tempo limitado, a cada órbita.

No seguimento do TIROS-1, foi lançado a 23 de Setembro de 1960 o satélite TIROS-2, com o objectivo principal de testar um radiómetro de cinco canais (O MRIR, *Medium Resolution Infrared Radiometer*), bem como um segundo instrumento destinado à medição da radiação terrestre, com dois canais.

Dando continuidade ao programa TIROS, os satélites TIROS-3,4,5,6 e 7 foram lançados entre Julho de 1961 e Junho de 1963, tendo-se detido sobre o provimento de observações contínuas da cobertura de nuvens, para descrição de movimentos atmosféricos, possibilitando assim o estabelecimento de trajectórias de tempestades e frentes.

No que diz respeito a inovações tecnológicas, torna-se premente referir o satélite TIROS-8, lançado em Dezembro de 1968, que possuía novos instrumentos, entre os quais uma câmara de vídeo com uma resolução de 800 linhas, e que, pela primeira vez, possibilitou a recepção de dados em tempo real, fazendo pela primeira vez uso da recepção em APT.

Já do ponto de vista de melhorias nos sistemas de navegação, assinala-se a reconfiguração efectuada no TIROS-9, lançado em Janeiro de 1965, que teve em vista o aperfeiçoamento da observação global quantitativa e contínua da atmosfera, uma vez que possibilitava



Figura 2.15: Primeira fotografia da Terra obtida pelo TIROS-1. Créditos da imagem: NASA.

a observação da totalidade do globo terrestre a cada 24 horas. Para além disso, o TIROS-9 serviu de precursor de uma nova série de satélites, não sem antes o TIROS-10, lançado em Julho de 1965, ter encerrado a primeira série de satélites meteorológicos americanos, detendo-se sobre a observação de tempestades tropicais.

A 3 de Fevereiro de 1966, é posto em órbita o satélite ESSA-1, dando assim início ao programa TOS (*Tiros Operational System*), da responsabilidade da ESSA (*Environmental Science Services Administration*). No âmbito deste programa foram lançados para o espaço nove satélites, entre 1966 e 1969 que, numa órbita heliosíncrona de aproximadamente 1450 km de altitude, tinham por objectivo a obtenção de dados operacionais, ininterruptos, que permitissem observações globais diárias.

O programa ITOS (*Improved Tiros Operational System*) constituiu a segunda geração de satélites meteorológicos de órbita polar, tendo por objectivo principal uma melhoria na aquisição de imagens (nas bandas do visível e do infravermelho) da cobertura de nuvens para fins de análise e previsão do tempo. Por outro lado, os objectivos secundários incluíam a realização de medições sobre gelo e neve e a superfície do mar, bem como o conteúdo de vapor de água na atmosfera, com uma regularidade diária. Para tornar possível a evolução relativamente aos satélites ESSA, o ITOS-1, lançado a 12 de Janeiro de 1970, viria a duplicar a cobertura diária dos satélites ESSA, fornecendo imagens na banda do infravermelho, temperatura do topo das nuvens e temperatura da superfície a cada 12 horas, com transmissão dos dados em tempo real, via APT (*Automatic Picture Transmission*).

No que diz respeito às capacidades de transmissão, o ITOS-1 combinava a capacidade de dois satélites ESSA: por um lado, o sistema APT em tempo real, por outro, o sistema AVCS de imagens globais. Um segundo satélite ITOS foi lançado para o espaço a 11 de Dezembro de 1970. Uma vez operacional, o designador do satélite passou a ser NOAA-1,

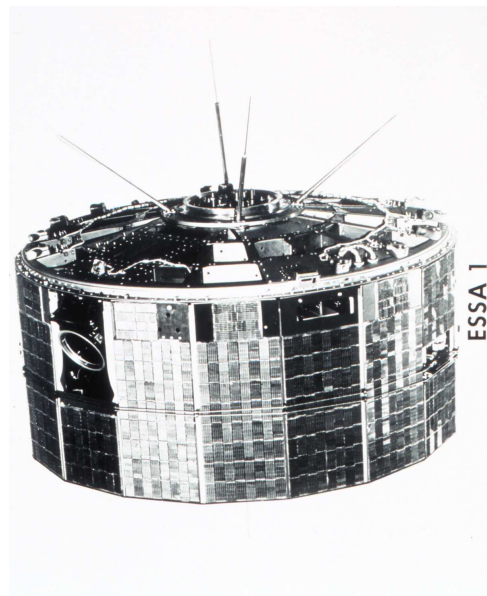


Figura 2.16: O satélite ESSA-1. Créditos da imagem: NOAA.



Figura 2.17: Imagem noturna dos Estados Unidos da América obtida a partir do satélite ITOS-1. Créditos da imagem: NASA.

já que a NOAA passou a assumir a responsabilidade pela operacionalização das missões de satélite.

Deste modo, as capacidades operacionais do NOAA-1 (ITOS-A) foram expandidas com

o NOAA-2 (ITOS-D), possibilitando a aquisição de imagens diurnas e noturnas com alta e média resolução. Assim, existiam a bordo do satélite um radiômetro de alta resolução (VHRR, *Very High Resolution Radiometer*), outro de resolução mais baixa (SR, *Scanning Radiometer*) e um radiômetro perfilador (VTPR, *Vertical Temperature Profile Radiometer*) que permitia a realização de sondagens de temperatura em vários níveis da atmosfera. Para além disso, o sensor SPM (*Solar Proton Monitor*) obtinha medidas do fluxo solar de prótons nas proximidades do satélite. Tendo em conta o tipo de sensores a bordo, o NOAA-2 tornou-se no primeiro satélite meteorológico operacional que fazia uso exclusivo de medições radiométricas para obtenção de informação respeitante à cobertura de nuvens.

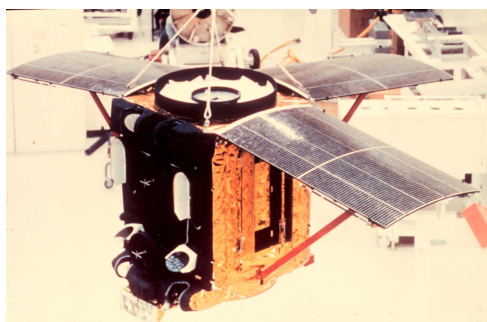


Figura 2.18: Um satélite da série ITOS em fase de preparação para lançamento. Créditos da imagem: NOAA.

A missão ITOS ficaria completa com o lançamento dos satélites ITOS E, F, G e H, nos anos de 1973, 74 e 76, respectivamente.

A terceira geração de sistemas operacionais de satélites ambientais de órbita polar teve início em 1978 com o programa TIROS-N/NOAA. Este programa constituiu mais uma tentativa de desenvolvimento e aperfeiçoamento das gerações anteriores, equipando os satélites com instrumentos que possibilitaram a obtenção de imagens de mais alta resolução, bem como a expansão da quantidade de informação (diurna e noturna) recolhida à escala local e global.

Tal como em séries anteriores, a NASA assumiu a responsabilidade pela missão até os satélites se tornarem completamente operacionais, altura a partir da qual o designador do satélite se alterava para NOAA e a responsabilidade operacional sobre o satélite era transferida para a NOAA.

Os satélites da série TIROS-N/NOAA transportavam a bordo o radiômetro avançado de muito alta resolução (AVHRR) que permitia a aquisição de imagens diurnas e noturnas nas faixas espectrais do visível e do infravermelho, possibilitando a obtenção de informações sobre a temperatura da superfície do mar, bem como a identificação da cobertura de neve ou gelo sobre o mar. Adicionalmente, foi introduzida nesta nova geração o TOVS (*TIROS Operational Vertical Sounder*), um instrumento sondador que permitia a realização de sondagens verticais da atmosfera. O sistema DCS (*Data Collection System*), destinado à colecta de informações a partir de plataformas fixas ou móveis e sua posterior retransmissão

para centrais de processamento e distribuição, ao abrigo do sistema ARGOS, constituiu outra das inovações tecnológicas nos satélites TIROS-N/NOAA. O instrumento SEM (*Space Environment Monitor*) dedicava-se à realização de medições do fluxo de prótons, electrões e partículas alfa para fins de previsão de distúrbios solares.

Os dados adquiridos podiam ser armazenados a bordo dos satélites para posterior transmissão para a central de processamento da NOAA, ou então transmitidos em tempo real para as estações de recepção localizadas em torno da Terra, via APT ou HRPT.

Na primavera de 1998, a NOAA iniciou uma nova série de satélites ambientais operacionais de órbita polar, com o lançamento do satélite NOAA-K (NOAA-15, uma vez operacional) e os subsequentes sucessores, NOAA-L e NOAA-M (NOAA 16 e NOAA 17, respectivamente, após operacionalização). Esta série de satélites representa uma melhoria relativamente às anteriores séries de satélites, tendo a instrumentação a bordo sido alvo de adições ou subtracções. Por exemplo, são incluídas as AMSU (*Advanced Microwave Sounding Units*), com o intuito de melhorar a sondagem global (especialmente na presença de nuvens). Estas unidades possuem uma melhor resolução espacial que as antecessoras MSU, a bordo dos satélites TIROS-N.

Para além disso, a série KLM exhibe melhorias significativas no AVHRR, que possui um maior número de canais e superior ganho nos canais do visível. Paralelamente, foram efectuadas melhorias de ordem técnica nos demais instrumentos a bordo, resultando esta série em satélites de maior massa (2231,7 kg contra 1712,3 na série predecessora) e de maiores requisitos de potência (razão pela qual se tornou necessária a adição de mais dois painéis solares).



Figura 2.19: Visão artística do satélite NOAA 17. Créditos da imagem: NOAA.

A 20 de Maio de 2005, com o lançamento do NOAA-N (NOAA 18), a NOAA coloca o 15º satélite da série TIROS-N/NOAA em órbita. Para além de notáveis aperfeiçoamentos

tecnológicos, o NOAA-18 é o primeiro de uma série de satélites que resultam de uma parceria com a EUMETSAT. A figura 2.20 sumaria, de forma sucinta, a série de satélites TIROS-N/NOAA.

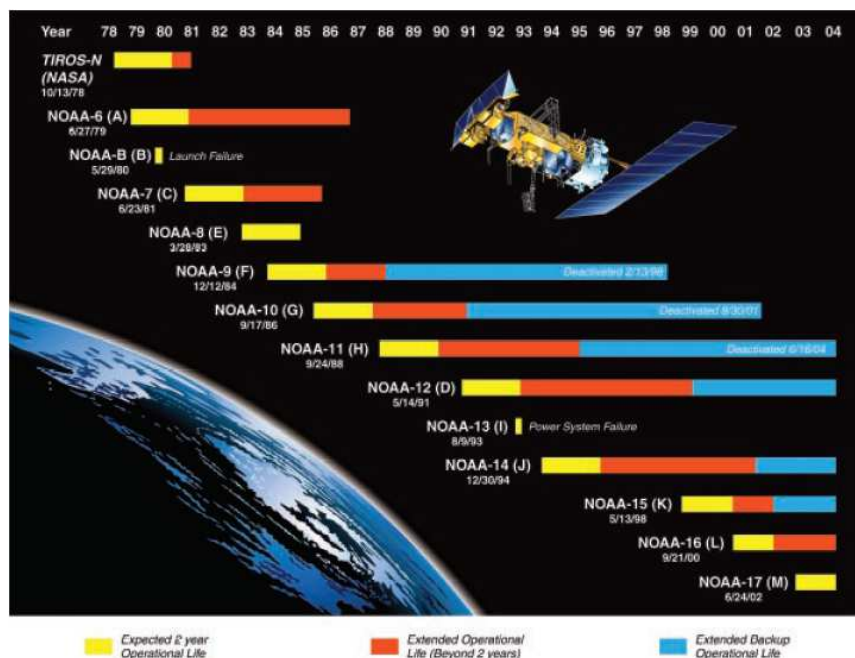


Figura 2.20: Resumo histórico da série de satélites TIROS-N/NOAA. Créditos da imagem: NOAA.

2.3.2 Os Satélites Meteosat

Para abordar a história dos satélites geostacionários METEOSAT, há que referir a história da EUMETSAT, remonta ao lançamento do primeiro satélite METEOSAT pela agência espacial europeia, em Novembro de 1977. O programa que conduziu ao lançamento deste satélite juntou oito países, numa organização predecessora da ESA, a ESRO (*European Space Research Organization*) cujos propósitos consistiam na construção de um satélite e um conjunto de sobresselentes.

Deste modo, os objectivos primordiais estabelecidos para os satélites METEOSAT eram, em primeiro lugar, o fornecimento de informações sobre a cobertura de nuvens e a radiação nas bandas do visível e do infravermelho, durante o dia e a noite. Por outro lado, outro propósito destes satélites prendia-se com a disseminação da informação para os utilizadores através da plataforma de colecta de dados (DCP, *Data Collection Platform*).

O METEOSAT-1, lançado a 23 de Novembro de 1977 pelo veículo Delta 2000 a partir do Cabo Canaveral, era composto por um corpo cilíndrico de 2,1 m de diâmetro e 3,195 m de altura, possuindo uma massa de 697 kg e estando os seus painéis laterais revestidos de

células fotovoltaicas. O satélite possuía estabilização por spin a 100 rotações por minuto ao longo do eixo principal, assegurada por dois pequenos motores de hidrazina.

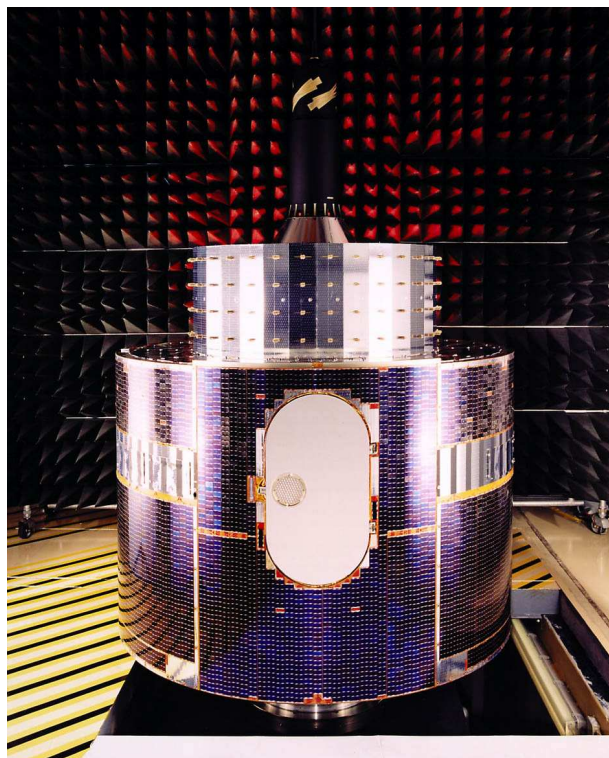


Figura 2.21: O satélite METEOSAT-1. Créditos da imagem: ESA.

No que diz respeito à instrumentação a bordo, o METEOSAT-1, bem como os seus sucessores imediatos contavam apenas com um único radiómetro operando nas regiões do visível e do infravermelho, para além da DCP.

Após dois anos de aquisição de imagens, obtidas ao número de 48 por dia, o METEOSAT-1 sofreu uma avaria prematura que levou a que o radiómetro se desligasse, impossibilitando o seu uso, apesar do seu bom estado. No entanto, a informação adquirida neste curto intervalo de tempo demonstrou ser indispensável, levantando a questão sobre como assegurar a continuidade da aquisição de informação a longo prazo numa base totalmente operacional.

Assim, o sucesso do lançamento do METEOSAT-1 levou à organização de uma conferência intergovernamental, que ocorreu em duas sessões (em 1981 e em 1983), onde se concordou com o estabelecimento de uma nova organização que assegurasse a exploração e a manutenção dos satélites meteorológicos europeus. Estava, assim, formada a EUMETSAT (*European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites*).

A 19 de Junho de 1981, após uma pausa de 20 meses na aquisição de imagens, é lançado o METEOSAT-2, visando os objectivos de obter imagens nas regiões visível, infravermelho e vapor de água do espectro electromagnético, recepção e distribuição de informação a

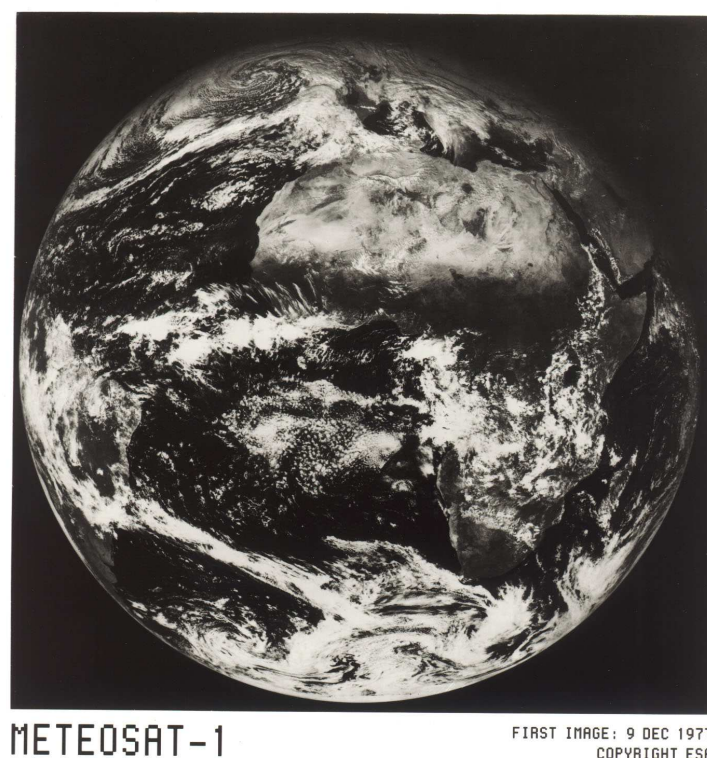


Figura 2.22: A primeira imagem de cobertura global obtida pelo satélite METEOSAT-1, a 9 de Dezembro de 1977. Créditos da imagem: ESA.

partir das DCP para serviços meteorológicos e outras partes interessadas (institutos de investigação, etc.)

No período decorrido entre o lançamento do METEOSAT-1 em 1977 e 23 de Novembro de 1983, onde se deu o seu fim oficial, o Programa Pré-Operacional Meteosat mostrou satisfazer as necessidades dos utilizadores científicos, nas áreas da climatologia e da física da atmosfera e providenciou uma ampla gama de informação meteorológica para uso em meteorologia operacional. Para além disso, tornou-se evidente que os satélites METEOSAT, como um sistema de detecção remota para a meteorologia operacional permitia um largo espectro de aplicações, muito para lá das inicialmente previstas. Deste modo, as perspectivas oferecidas pelo Programa Pré-Operacional Meteosat, bem como o seu sucesso subsequente, encorajou muitos países europeus a aumentar os seus esforços para o estabelecimento de um programa de extensão do projecto para lá dos dois satélites iniciais.

Assim, antecipando o estabelecimento legal da EUMETSAT, a Agência Espacial Europeia deu início ao Programa Operacional Meteosat (MOP), no qual se incluía a construção e o lançamento de três novos satélites, os METEOSAT 4, 5 e 6, respectivamente bem como todas as actividades operacionais, até Novembro de 1995.

Nos anos seguintes ocorreram uma série de eventos burocráticos destinados ao estabe-

lecimento legal da EUMETSAT, que só se tornou uma realidade legalmente efectiva no dia 19 de Junho de 1986.

Em Janeiro de 1987, a EUMETSAT assume a responsabilidade programática e financeira no Programa Operacional METEOSAT. Todavia, segundo os termos de u acordo entre as duas organizações, com validade até 1995, a ESA continuou a gerir o programa em abono da EUMETSAT.

A 15 de Junho de 1988, um protótipo de satélite, o modelo P2, foi renovado e lançado como METEOSAT-3, possibilitando ao mesmo tempo a estreia do veículo espacial Ariane 44LP como meio de colocação dos satélites METEOSAT em órbita.

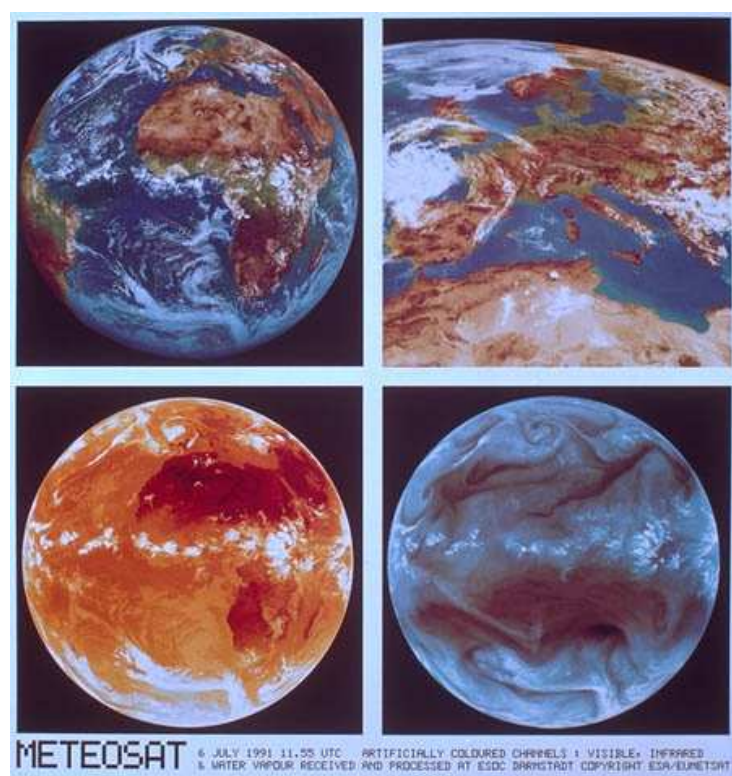


Figura 2.23: Exemplo do tipo de imagens obtidas pelo satélite METEOSAT-3. Créditos da imagem: ESA.

No dia 6 de Março de 1989 é lançado o METEOSAT-4, substituindo o METEOSAT-3, cuja tecnologia já se encontrava obsoleta. Curiosamente, e apesar do que se mencionou anteriormente, foi com o METEOSAT-3 que se obteve um dos feitos mais notáveis da história dos satélites METEOSAT: a previsão do furacão Andrew, em 1992, possibilitando o reenaminhamento de todo o tráfego aéreo, bem como a tomada de medidas de prevenção para a limitação de danos. Esta operação foi possível fazendo uso da deslocação do satélite para a posição 75° Oeste, no âmbito de um projecto de cooperação com os Estados Unidos (X-ADC), para a substituição de um satélite GOES que havia sofrido uma avaria.

A 2 de Março de 1991, estando o METEOSAT-4 completamente operacional, é posto em órbita o METEOSAT-5, estacionado em 4º Este, obtendo-se assim um alto nível de desempenho operacional com dois satélites recentes em órbita. Ainda em 1991, é iniciado o programa de transição METEOSAT (MTP), com o financiamento necessário para prover a construção de um novo satélite (o METEOSAT-7), o seu lançamento e todas as actividades operacionais até ao final do ano 2000, tendo, posteriormente, sido alargado até ao final do ano 2003.



Figura 2.24: O satélite METEOSAT-5, ainda em fase de testes. Créditos da imagem: ESA.

A 20 de Novembro de 1993, o satélite METEOSAT-6 é posto em órbita, tendo sido dado início a um processo de verificação extensivo. Deste modo, os três satélites existentes em órbita deram suporte à missão EUMETSAT, apesar de, pontualmente, sofrerem de variados problemas na aquisição de imagens. Estas pequenas anomalias puderam ser compensadas a partir de *software* em Terra, apesar de terem exigido inúmeras trocas anuais entre os satélites, a fim de se manter a qualidade global das operações.

Após a alteração da sede da EUMETSAT para Darmstadt, na Alemanha, e da instalação de uma estação de recepção primária em Fucino, na Itália, a EUMETSAT prepara-se, para em 1995, assinalar o final das operações anteriormente efectuadas pela ESA. Ainda em 1995, os satélites METEOSAT-3 e 4, após terem exaurido o combustível transportado a bordo, foram ejectados da órbita geostacionária, tendo, porém, excedido largamente o tempo previsto de duração.

No dia 2 de Setembro de 1997, o METEOSAT-7 é lançado e injectado em órbita com

uma precisão tal que as provisões de combustível fossem suficientes para o manter até ao final de 2003, providenciando assim um período de transição seguro para os utilizadores até à operacionalização dos satélites da série MSG (METEOSAT Second Generation).



Figura 2.25: O satélite METEOSAT-7. Créditos da imagem: ESA.

Note-se que, ao longo deste texto, não foi dada grande ênfase às características técnicas dos satélites METEOSAT, na medida em que essas plataformas espaciais possuíam características muito semelhantes, isto é, o principal instrumento consistia num radiómetro em operação nas bandas do visível, infravermelho e vapor de água do espectro electromagnético. A tecnologia dos satélites METEOSAT era, portanto, oriunda dos anos setenta, não tendo sofrido alterações estruturais significativas desde então

Deste modo, e reconhecendo a necessidade de evoluir para um sistema de aquisição de imagens fazendo uso de tecnologia de ponta é dado início à chamada era MSG, que consiste na segunda geração de satélites meteorológicos da EUMETSAT. Assim, a 28 de Agosto de 2002, o foguetão Ariane-5G coloca em órbita o satélite MSG-1 (*Meteosat Second Generation*), renomeado após operacionalização para METEOSAT-8.

Tal como os satélites METEOSAT das anteriores séries, o MSG possui uma forma cilíndrica e é estabilizado por rotação, isto é, revoluciona em torno do seu eixo principal

que se encontra alinhado quase paralelamente ao eixo de rotação da terra, a uma taxa de 100 rotações por minuto. Note-se que esta rotação possui um duplo propósito: por um lado, destina-se à estabilização da órbita do satélite, e por outro, como parte do mecanismo de varrimento da Terra do radiómetro instalado a bordo.



Figura 2.26: O satélite MSG-1 momentos antes de ser transportando para a base de lançamento. Créditos da imagem: EUMETSAT.

De acordo com o anteriormente exposto, o MSG-1 constitui um marco na evolução histórica dos satélites METEOSAT, uma vez que são profundas as reestruturações efectuadas.

Assim, a tabela 2.2 refere uma comparação entre o SEVIRI e o anterior radiómetro a bordo no METEOSAT-7.

Parâmetro / Instrumento do Satélite	METEOSAT / VISSR	MSG / SEVIRI
Período de aquisição de imagens	30 min.	15 min.
Canais Visíveis	1 (0,5 - 0,9 μm)	4 (0,4 - 1,6 μm)
Canais no I.V.	2 (6,4 μm e 11,5 μm)	8 (3,9-13,4 μm)
Resolução dos canais do visível	2,25 km	1 km (HRV)
Resolução dos canais do I.V.	5 km	3 km
Detectores	4	42
Massa do instrumento / Potência requerida	65 kg, 17 W	260 kg, 150 W

Tabela 2.2: Comparação de algumas características dos radiómetros a bordo do METEOSAT-7 e METEOSAT-8.

2.4 Física e Tecnologia dos Sensores a Bordo de Satélites

2.4.1 Caracterização dos sensores

Os sensores podem ser classificados no que diz respeito fonte de radiação, ao princípio de funcionamento e ao tipo de produtos obtidos, conforme se ilustra no seguinte esquema:

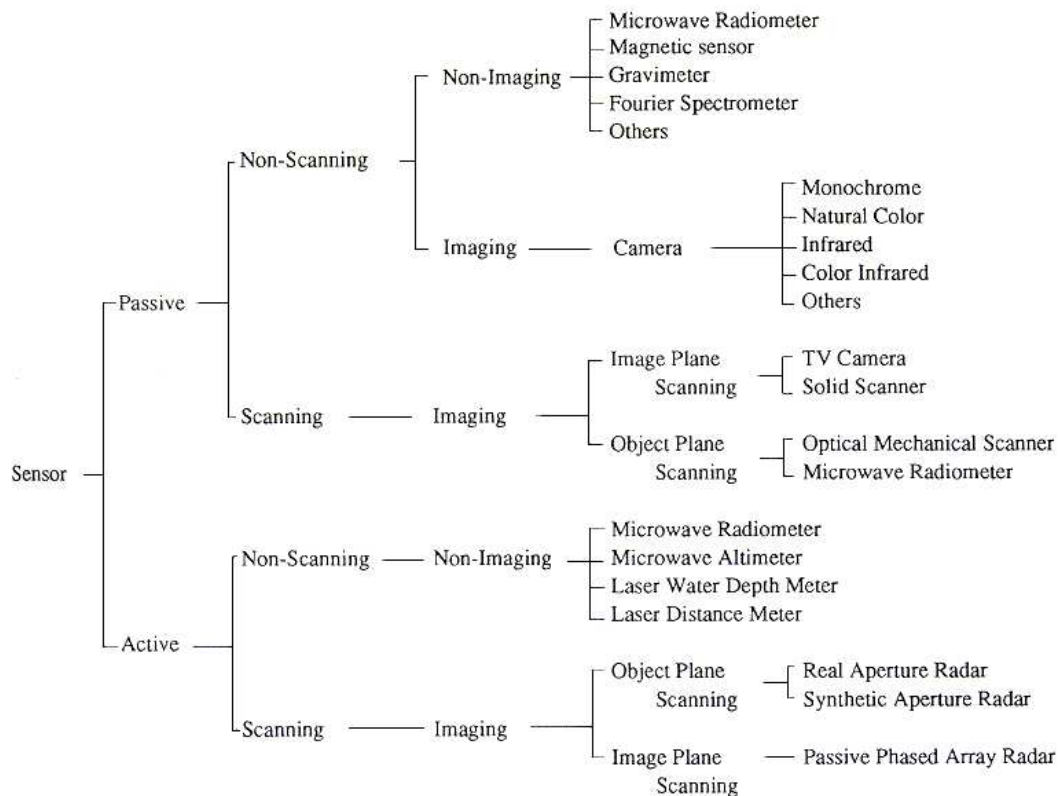


Figura 2.27: Tipos de sensores, segundo JARS (1996).

Deste modo, os sensores podem ser passivos quando captam radiação emitida ou reflectida pelos alvos ou activos quando emitem radiação em direcção ao alvo, realizando medições sobre a radiação reflectida.

Apesar de nesta dissertação serem focalizados primariamente os sensores passivos de observação a bordo de satélites ambientais, pode dizer-se que, de um modo geral, a configuração básica de um sensor comum é a que se encontra ilustrada na figura 2.28

Assim, e de um modo geral, pode dizer-se que um sensor opera sobre um sinal de entrada (a irradiância à sua superfície), para produzir um sinal de saída, proporcional à radiancia do elemento de alvo observado. Os componentes básicos destes instrumentos são, portanto:

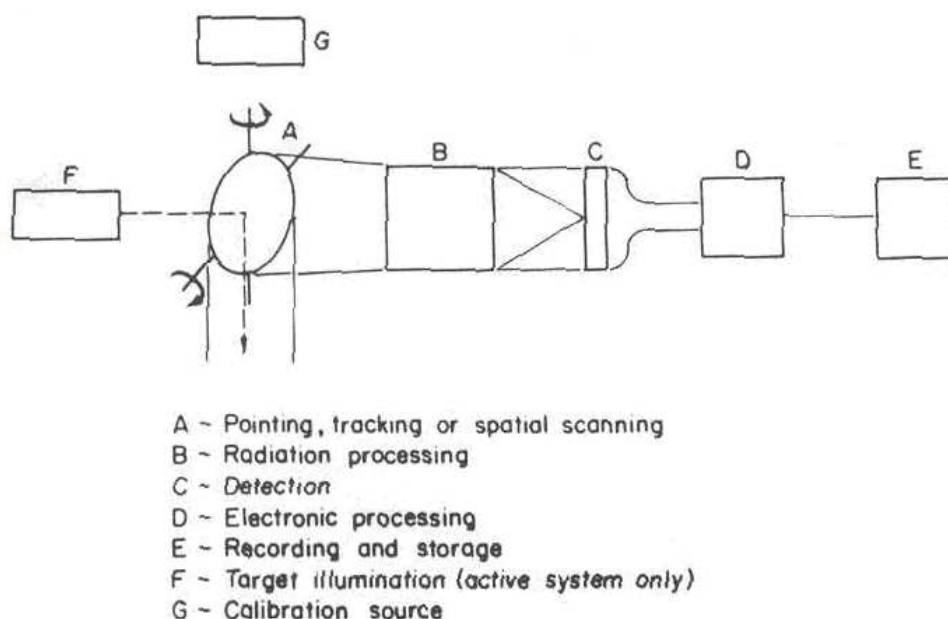


Figura 2.28: Tipos de sensores, segundo (Rao, 1990)

- **Dispositivo de apontamento, acompanhamento ou varrimento espacial**, utilizado para informação de localização do alvo e que utiliza espelhos para varrimentos mecânicos. São desnecessários para instrumentos de grande campo óptico de detectores multi-elementos como as câmaras de vídeo.
- **Colector de Radiação**, que consiste em um sistema de lentes, espelhos e antenas, para focar o alvo e dar suporte aos detectores. Para além disso, pode ainda incluir equipamentos adicionais, como filtros, espectrómetros, células de correlação de gases e interferómetros.
- **Detector**, que fornece um sinal eléctrico proporcional à irradiância na sua superfície. Dependendo do objectivo ou do comprimento de onda da radiação a detectar, pode ter um ou milhões de elementos sensores.
- **Processador electrónico**, que aplica algumas funções ao sinal eléctrico produzido pelo sensor, de modo a fornecer um sinal de saída com as características desejadas.
- **Unidade de Registo e Armazenamento** para registar o resultado da medida. É dotada de gravadores em fita de estado sólido (RAM).
- **Iluminação do alvo**, utilizado nos sensores activos que irradiam o alvo. Podem utilizar-se feixes coerentes de microondas, como no RADAR, ou a emissão laser em regime contínuo ou pulsado, com modulação em frequência.

- **Fonte de calibração**, que não é mais do que uma fonte de radiação a bordo para verificação da resposta.

Naturalmente que, dentro destas características existem sensores que possuem maior ou menor sofisticação face ao anteriormente descrito, contudo a descrição exaustiva da topologia dos sensores escapa ao âmbito desta dissertação, pelo que se descreveram apenas as suas características gerais. Apesar disso, é importante referir que as características dos detectores que condicionam as imagens obtidas são a sensibilidade e a razão sinal-ruído dos sensores, bem como a resolução do detector. A primeira pode definir-se como a razão entre o sinal de saída, obtido pelo sensor, e o fluxo radiante incidente no sensor, numa determinada banda espectral e proveniente de uma direcção definida por um ângulo sólido conhecido. Por outro lado, a relação sinal-ruído está associada, como o próprio nome indica, à existência de variações no nível do sinal de saída, que se tornam imprevisíveis. Este ruído indesejável limita a precisão com que um sinal pode ser medido numa dada observação, condicionando o mínimo sinal detectável. Na maior parte dos casos, o ruído inerente às medições é classificado em duas categorias: ruído interno (que pode ter origem no próprio sensor e no processamento de sinal) e ruído externo (gerado no processamento do sinal pela óptica do sistema, através de vibrações das componentes ópticas, filtragem espectral inadequada, definição inadequada, entre outros) Deste modo, é importante que a magnitude sinal ruído seja o mais elevada possível.

2.4.2 Resolução dos Sensores

De acordo com a literatura (Lillesand & Kiefer, 1994), pode definir-se resolução de um sistema sensor como a medida da capacidade que o detector tem de distinguir entre sinais próximos, do ponto de vista espacial, ou similares, do ponto de vista espectral. No caso dos sensores a bordo de satélites, é comum avaliar as características dos sistemas em função de quatro domínios de resolução: **espacial**, **temporal**, **espectral** e **radiométrica**.

Assim, a **resolução espacial** pode ser entendida como sendo a menor separação angular ou linear entre dois objectos de uma cena detectada pelo sensor. Por outras palavras, a resolução espacial de um sensor vai determinar o tamanho do pixel (mínima unidade de informação incluída na imagem).

Frequentemente, associado ao conceito de resolução espacial está também o de campo de visão instantâneo⁸, IFOV. O IFOV corresponde à área sobre o alvo que, no próprio alvo é "vista" pelo sistema sensor a uma dada altitude, num dado instante.

Logo, a discriminação de um determinado alvo fica dependente da sua contribuição da radiância detectada, conforme a fracção percentual da área ocupada no IFOV do sensor.

A **resolução temporal** diz respeito à periodicidade, ou seja, à capacidade de o detector poder fornecer imagens com elevada frequência temporal. A resolução temporal é função directa das características orbitais da plataforma (altura, velocidade e inclinação), bem como dos próprios objectivos fixados para os sensores. Como exemplo, pode referir-se que

⁸Em tradução literal do inglês *Instantaneous field of view*

satélites de órbitas mais altas tendem a fornecer imagens com maior frequência sobre um mesmo alvo ou região.

A **resolução espectral** está relacionada com a largura da faixa do espectro electro-magnético que sensibiliza o sensor. Por outras palavras, refere-se à melhor ou pior caracterização dos alvos em função da largura da banda espectral em que o sensor opera. Assim, quanto mais fina for a largura de faixa em que opera um sensor, melhor será a sua resolução espectral. Por outro lado, se o sensor operar sobre uma banda espectral demasiado larga poderá ser registado um valor médio que, em casos limite, podem abranger a diferenciação espectral entre duas ou mais coberturas de interesse.

A **resolução radiométrica** está associada à sensibilidade do sensor às variações de intensidade do sinal recebido. Assim, pode dizer-se que um sensor que possua maior resolução radiométrica consegue registar níveis de radiação menores, o que proporciona imagens com maiores contrastes. A resolução radiométrica é habitualmente indicada em função do nível radiométrico. Assim, uma resolução radiométrica de 8 bits indica que o sinal de saída do detector possui uma gama de variação de $2^8 = 256$ níveis radiométricos (escala de cinzas).

Note-se, todavia, que, do ponto de vista prático, estes conceitos se encontram interrelacionados, já que o aperfeiçoamento de uma das resoluções referidas quase sempre implica limitações nas outras. Assim, e dependendo da aplicação, há um ponto óptimo para o qual convergem os valores das resoluções temporal, espacial, espectral e radiométrica.

2.4.3 Instrumentos a bordo dos Satélites NOAA

A disposição básica dos instrumentos nos satélites NOAA é ilustrada na figura 2.4.3, para o caso particular da série M.

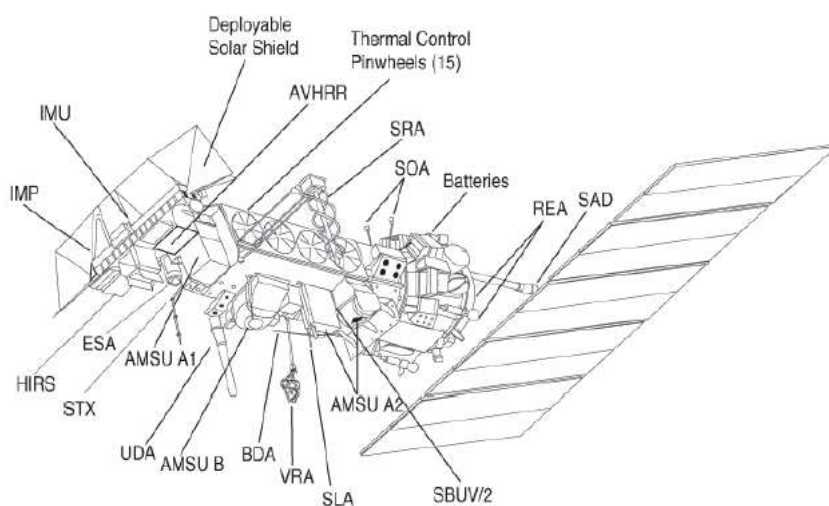


Figura 2.29: Instrumentos a bordo dos satélites NOAA. Crédito da imagem: NOAA

Deste modo, torna-se premente abordar sucintamente as características de alguns dos mais importantes instrumentos, conforme se faz de seguida.

O Advanced Very High Resolution Radiometer - AVHRR

O Radiómetro Avançado de Muito Alta Resolução é o instrumento primário a bordo dos satélites NOAA e ilustra-se na figura 2.30:



Figura 2.30: O sensor AVHRR. Crédito da imagem: NASA

Este radiómetro foi desenvolvido pela ITT-A/CD e é basicamente constituído por cinco módulos: de varrimento, electrónica, arrefecimento, óptico e base. Uma visão esquemática do sensor encontra-se representada na figura 2.31:

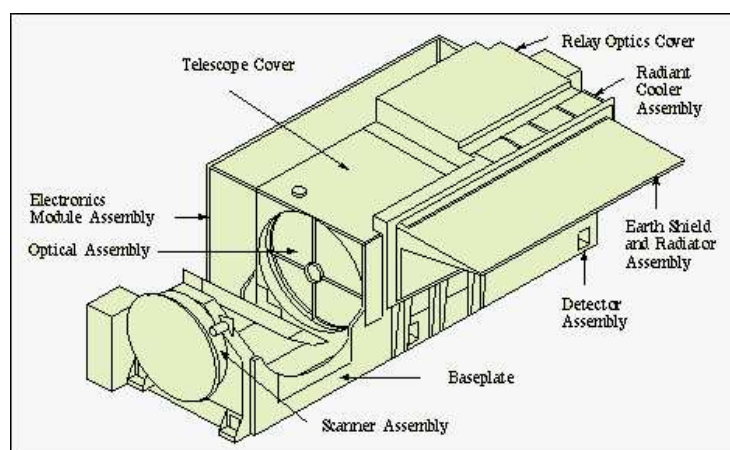


Figura 2.31: Esquema básico de constituição do sensor AVHRR. Crédito da imagem: NASA

De um modo geral, pode dizer-se que o AVHRR é um radiómetro de varrimento, que detecta radiação nas faixas do visível e infravermelho do espectro electromagnético, pos-

suindo, para isso, seis canais espectrais em funcionamento simultâneo para a mesma área da superfície da Terra. Cada canal do instrumento possui um campo de visão instantâneo médio de 1,3 miliradianos, pelo que a sua resolução espacial é de 1,1 km no nadir. Um espelho elíptico de varrimento em constante rotação possibilita a realização de varrimentos transversais entre $\pm 55,4^\circ$ a partir do nadir. O varrimento transversal (da direita para a esquerda) é executada por incrementos de IFOV, a uma taxa de 360 linhas por minuto. Os dados analógicos do sensor são digitalizados a bordo do satélite, com uma resolução radiométrica de 10 bits, a uma taxa de 39936 amostras por segundo, por canal. Nesta razão de amostragem, são obtidas 1362 amostras por IFOV, pelo que, a cada linha são obtidas, por canal, um total de 2048 amostras. Por isso, cada faixa de uma imagem obtida tem cerca de 2250 km de largura.

Historicamente, o AVHRR vai já na sua terceira versão, sendo que, relativamente ao seu antecessor, o AVHRR 2, apresenta um maior número de canais e aperfeiçoamentos espectrais e de ganho nos canais do visível, permitindo assim uma melhor detecção de baixos níveis de luminosidade. Para além disso, apresenta ainda um escudo externo contra o sol e um disco interno, para reduzir os efeitos causados pela luz solar sobre a cavidade óptica do instrumento e os respectivos detectores.

A tabela 2.3 compara as características do AVHRR na versão instalada no satélite NOAA-12 com as do AVHRR/3, instalado nos satélites NOAA-15,16 e 17. Adicionalmente, são referidas algumas aplicações para cada um dos canais.

Canal	Comprimento de onda, λ / μm		Uso típico
	NOAA-12	NOAA-15, 16, 17	
1	0,58 - 0,68	0,58 - 0,68	Imagens de solo e nuvens (dia)
2	0,725 - 1,00	0,725 - 1,00	Fronteiras terra/água
3	3,55 - 3,93	N/A	Imagens de nuvens (noite), T.S.M.
3A	N/A	1,58 - 1,64	Detecção de neve e gelo
3B	N/A	3,55 - 3,93	Imagens de nuvens (noite), T.S.M.
4	10,30 - 11,30	10,30 - 11,30	Imagens de nuvens (noite), T.S.M.
5	11,50 - 12,50	11,50 - 12,50	T.S.M.

Tabela 2.3: Características do sensor AVHRR nas versões 2 e 3, bem como principais aplicações dos seus canais. T.S.M é o acrónimo de Temperatura da Superfície do Mar.

Tecnologicamente, os canais na faixa do visível e infravermelho próximo do AVHRR/3 utilizam detectores do tipo fotodiodo quadrados, de silício, para medir a radiação incidente com uma eficácia de 99% dos raios incidentes. Os canais do infravermelho utilizam detectores arrefecidos a 105 K. O detector seleccionado para o canal 3B é um fotodiodo de InSb, ao passo que o canal 3A utiliza um fotodiodo de InGaAs. Os canais 4 e 5 utilizam como elemento semiconductor o HgCdTe.

No que diz respeito à calibração, esta é feita, para os canais no infravermelho, em órbita, graças a um alvo interno a bordo do satélite, projectado para se comportar como um corpo negro.

O *High Resolution Infrared Radiation Sounder* - HIRS

O HIRS é, basicamente, um sondador que permite obter perfis da atmosfera.



Figura 2.32: O HIRS/3. Crédito da imagem:NOAA

Este instrumento possui um canal na região do visível, sete canais no infravermelho de onda curta e doze canais no infravermelho de onda longa. De acordo com o IFOV de cada canal, este instrumento consegue obter a resolução espacial de 20,3 km, nos canais do visível e infravermelho de onda curta e 18,9 km para os canais do infravermelho de onda longa.

O HIRS/3 utiliza dois detectores de infravermelhos arrefecidos a 100 K. O detector de onda longa é de HgCdTe e o de onda curta de InSb. No canal do visível é utilizado um detector de silício que funciona à temperatura ambiente. A calibração dos canais infravermelhos do HIRS é feita através da observação do espaço e de um alvo interno quente, a cada 38 varrimentos da Terra.

Este sondador mede a radiância do alvo na região do infravermelho. Os dados medidos pelo HIRS são em conjunto com os dados adquiridos pelo AMSU, utilizados para calcular os perfis atmosféricos verticais de temperatura, desde a superfície até 40 km de altitude. Para além disso, os dados obtidos pelo HIRS podem ser também utilizados para a determinação da temperatura da superfície do mar, do nível total de ozono atmosférico, níveis de água precipitável, cobertura e altura das nuvens e a radiância da superfície.

As *Advanced Microwave Sounding Units* - AMSU

As unidades avançadas de sondagem em microondas são, tal como o nome indica, instrumentos que permitem a obtenção de perfis da atmosfera através de microondas.

Estes instrumentos resultam da evolução das anteriores MSU (*microwave sounding units*), instaladas numa série anterior de satélites NOAA, a ATN (*Advanced TIROS-N*),



Figura 2.33: As AMSU. Crédito da imagem:NOAA

tendo requerido a adição de uma nova unidade de processamento de dados a bordo, bem como alterações nos formatos de transmissão de alguns tipos de dados.

Assim, o AMSU-A permite a medição da radiação da Terra na banda das microondas. Os dados registados por este instrumento são utilizados conjuntamente com os obtidos pelo HIRS para a determinação dos perfis globais de temperatura e humidade atmosférica desde a superfície da Terra até à estratosfera superior, a aproximadamente 48 km. Para além disso, os dados adquiridos pela unidade AMSU-A são utilizados para prover informações de precipitação, cobertura de neve, concentração de gelo e humidade do solo.

Tecnicamente, pode considerar-se que o AMSU-A é um radiómetro de varrimento transversal. O instrumento é fisicamente dividido em dois módulos separados, cada um dos quais funcionando independentemente. O módulo A-1 possui treze canais, ao passo que o módulo A-2 possui dois canais.

O AMSU-A possui um IFOV de $3,3^\circ$ com uma resolução espacial nominal de 48 km no nadir. O instrumento efectua um varrimento transversal à órbita do satélite de $\pm 48,3^\circ$ a partir do nadir. Assim, obtém-se um total de trinta campos de visão da Terra a cada linha varrida. Note-se que cada varrimento é concluído a cada oito segundos.

Já o AMSU-B foi projectado para permitir o cálculo de perfis verticais de vapor de água desde a superfície da Terra até uma altitude de cerca de 12 km. O AMSU-B é um radiómetro de varrimento transversal contínuo e fornece medidas da radiação da Terra em cinco canais espectrais. O instrumento possui um IFOV de $1,1^\circ$ no nadir, com uma resolução espacial nominal de 16 km. A antena realiza varrimentos transversais de $\pm 48,95^\circ$ a partir do nadir, totalizando noventa campos de visão da Terra por cada linha varrida. O

instrumento conclui um varrimento a cada 2,66 segundos.

O Solar Backscatter Ultraviolet Radiometer - SBUV/2

O radiómetro de Radiação Ultravioleta Solar Retrodifundida é um radiómetro espectral que funciona na região ultravioleta do espectro electromagnético.

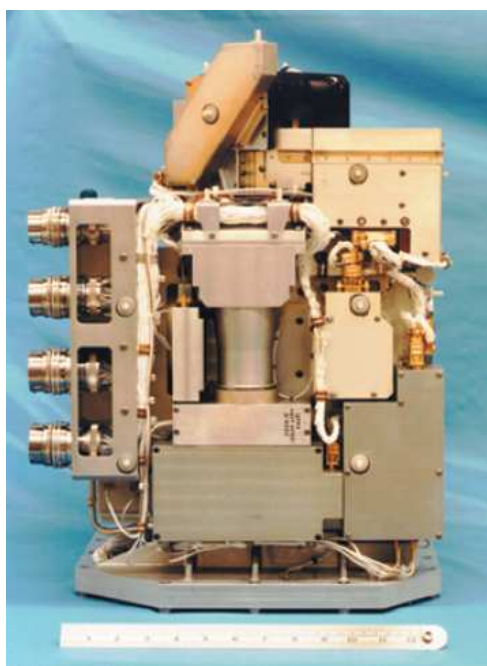


Figura 2.34: O SBUV. Crédito da imagem:NOAA

O SBUV é constituído por dois módulos: o módulo sensor, constituído por todo o equipamento óptico e o módulo electrónico. O SBUV/2 é um sensor remoto completamente operacional projectado para mapear as concentrações total de ozono, bem como a distribuição vertical deste gás na atmosfera, numa escala global. Assim, o propósito deste instrumento é o de adquirir informação numa base operacional, por forma a que a distribuição de ozono possa ser obtida, na Terra, de forma expedita.

O SBUV/2 possui um monocromador duplo ⁹ e um radiómetro de cobertura de nuvens por forma a determinar as intensidades espectrais da radiação ultra-violeta (UV). No seu modo principal de funcionamento, o monocromador mede a radiação solar retrodifundida pela atmosfera em doze bandas discretas de comprimento de onda no ultra-violeta próximo (252,0 a 339,8 nm), cada uma das quais com um filtro passa-banda de 1,1 nm.

O algoritmo de detecção total de ozono usa as quatro bandas de comprimento de onda mais elevado (312,5, 317,5, 331,2 e 339.8 nm), ao passo que algoritmo de extracção de

⁹Um monocromador é um dispositivo óptico cuja tarefa básica é a de produzir uma única linha espectral a partir de uma fonte de banda larga (i.e., que possua vários comprimentos de onda, como a luz visível)

perfis utiliza comprimentos de onda mais pequenos. O radiómetro de cobertura de nuvens opera a 379 nm, fora da banda de absorção do ozono com um filtro passa-banda de 3,0 nm e foi construído para medir a reflectividade da superfície no IFOV.

Tanto o monocromador como o radiómetro de cobertura de nuvens estão instalados no satélite de forma a que ambos avistem o nadir com IFOV's coincidentes de 11,3 por 11,3 graus.

Adicionalmente, o SBUV/2 pode ainda medir a irradiância solar ou a radiância atmosférica com um varrimento contínuo do ponto de vista espectral de 160 a 400 nm em incrementos de 0,148 nm.

O Space Environment Monitor - SEM/2

O monitor do Ambiente Espacial é um instrumento destinado à aquisição de dados para a determinação da intensidade da radiação terrestre e do fluxo de partículas electricamente carregadas no nível de altitude da órbita do satélite. A partir desses dados, torna-se possível realizar estudos aprofundados sobre fenómenos solares, na tentativa de prever a ocorrência de tempestades magnéticas, que interferem nas comunicações de longo alcance e nas operações em altas altitudes, para além de constituírem uma ameaça aos circuitos electrónicos e painéis solares dos satélites.

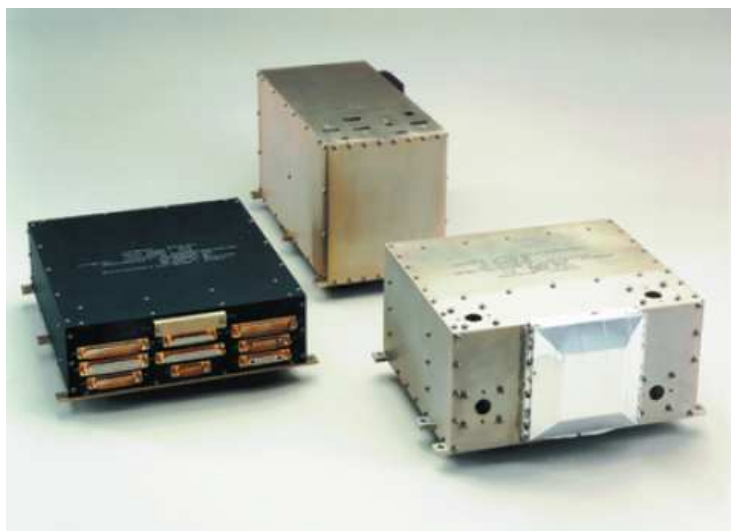


Figura 2.35: O SEM. Crédito da imagem:NOAA

O SEM/2 é constituído por duas unidades separadas de sensores e uma unidade comum de processamento de dados. As unidades sensoras são, respectivamente, o detector de energia total (TED) e o detector de protões e electrões de média energia (MEPED). Deste modo, o TED detecta e quantifica a intensidade de energia em bandas seleccionadas sequencialmente, uma vez que as partículas de interesse possuem energias que variam de

0,05 a 20 keV. Já o MEPED detecta a presença de protões, electrões e iões com níveis de energia a partir de 30 keV até 6,9 MeV

O Data Collection System - DCS

O Sistema de Colecta de Dados foi projectado, desenvolvido e fornecido pelo Centro Nacional de Estudos Espaciais francês. É também conhecido como Sistema ARGOS. O DCS permite a medição e a telemetria de diversos parâmetros ambientais, entre os quais a temperatura e a pressão atmosférica, a direcção e a velocidade dos ventos e correntes oceânicas, entre outros.

O sistema consiste em plataformas de colecta de dados *in-situ* equipadas com sensores e transmissores e o instrumento ARGOS a bordo dos satélites de órbita polar NOAA. As informações ambientais globais são colectadas nas estações de Fairbanks (Alaska), Wallops Island (Virginia) e Lannion (França), sendo pré-processadas pela NESDIS. Duas companhias subsidiárias do CNES, a Collecte Localisation Satellites em Toulouse (França) e a Service Argos em Largo (Maryland) processam a informação, distribuindo-a pelos utilizadores.

2.4.4 Instrumentos a bordo dos Satélites METEOSAT (MSG)

Os instrumentos a bordo do MSG estão dispostos de acordo com os objectivos principais da missão, de forma a cumprirem as seguintes funções:

- Obtenção permanente de imagens do globo terrestre nas bandas do visível e do infravermelho, com uma periodicidade de 15 minutos;
- Obtenção de imagens de alta resolução (no visível) de metade do globo terrestre;
- Transmissão de dados brutos e outras informações do satélite para a estação primária em Terra (PGS);
- Transmissão de informações colhidas pela plataforma de colecta de dados, pelo satélite, para a estação primária em Terra (PGS);
- Reenvio de sinais pelo satélite.

O *Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager* - SEVIRI

O radiómetro SEVIRI é o elemento principal do satélite MSG e dedica-se ao varrimento da superfície da Terra em várias bandas espectrais, assegurando uma imagem completa do globo terrestre a cada 15 minutos.



Figura 2.36: O SEVIRI. Créditos da imagem: Eumetsat.

O processo de aquisição de imagens é efectuado utilizando a combinação da rotação do satélite com a rotação de um espelho, num processo referido na literatura como *stepping*. As imagens são obtidas na orientação de sul para norte e de este para oeste. Os oito canais térmicos (IV), assim como os três canais solares possuem uma resolução espacial de 3 km no nadir, permitindo assim compor imagens do globo terrestre com as dimensões de 3712×3712 pixels. O canal de alta resolução, a operar no visível, oferece imagens com uma resolução espacial de 1 km no nadir. Contudo, limitações no fluxo de dados confinam estas imagens apenas a metade do globo, na direcção este - oeste. O SEVIRI possui oito canais espectrais no infravermelho térmico, três canais no espectro solar e um canal de banda larga de alta resolução. Entre os possíveis usos destes canais encontram-se a observação de nuvens e determinação de temperaturas de superfície, ozono e vapor de água. As características básicas do SEVIRI são esquematizadas na tabela 2.4

Canal	Banda Espectral / (μm)	Características da banda espectral		
		$\lambda_{central}$	λ_{min}	λ_{max}
1	VIS0.6	0,635	0,56	0,71
2	VIS0.8	0,81	0,74	0,88
3	NIR1.6	1,64	1,50	1,78
4	IR3.9	3,90	3,48	4,36
5	WV6.2	6,25	5,35	7,15
6	WV7.3	7,35	6,85	7,85
7	IR8.7	8,70	8,30	9,1
8	IR9.7	9,66	9,38	9,94
9	IR10.8	10,80	9,80	11,80
10	IR12.0	12,00	11,00	13,00
11	IR13.4	13,40	12,40	14,40
12	HRV	Banda Larga (cerca de 0,4 – 1,1 μm)		

Tabela 2.4: Caracterização geral do radiômetro SEVIRI.

O princípio básico de funcionamento deste radiômetro baseia-se na aquisição da radiação de uma área-alvo, focando-a em detectores sensíveis a 12 diferentes bandas do espectro electromagnético através de um telescópio. Posteriormente, o sinal emergente dos sensores é processado electronicamente. Passando a uma análise mais detalhada, é de salientar que o SEVIRI está equipado com um telescópio de três espelhos patenteado, de *design* compacto, que permite a inserção de um pequeno corpo negro para calibração. Um mecanismo de refocagem pretende compensar a deformação a longo termo do telescópio ao longo do ciclo de vida da missão. Por outro lado, o dispositivo de varrimento está desenhado para um imageamento bidimensional contínuo da Terra.

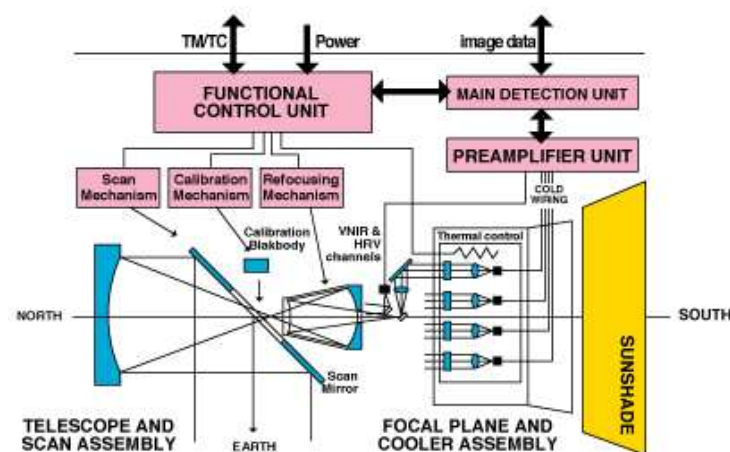


Figura 2.37: O esquema óptico do SEVIRI. Créditos da imagem:ESA

De acordo com a figura 2.37, há que realçar que a unidade de calibração é dotada de um mecanismo que permite a inserção ou remoção de um pequeno corpo negro no percurso óptico, permitindo assim a calibração dos canais do infravermelho. Já no que diz respeito ao telescópio do radiómetro, este possui, precisamente no seu plano focal, os doze detectores, onde a separação de canais é feita. Assim, os detectores da banda do infravermelho são arrefecidos por um sistema desenhado para otimizar o seu desempenho radiométrico. No que concerne às unidades electrónicas de detecção, estas funcionam de forma a que a resposta de cada detector à radiação do alvo seja convertida num sinal eléctrico, utilizando-se, para isso, unidades de pré-amplificação e de detecção principal.

O Mission Communication Payload - MCP

Apesar de não ser considerado um instrumento imageador, o MCP reveste-se de particular importância, na medida em que contém todas as antenas e *transponders* necessários para satisfazer os requisitos de comunicação da missão MSG. Assim, o MCP assegura, em várias bandas de frequência todas as operações de telemetria, telecomando e transmissão.

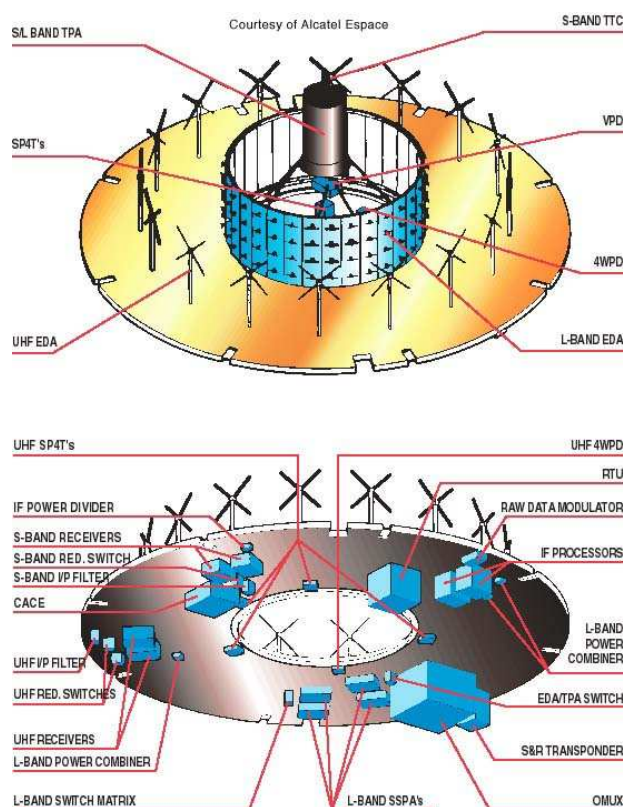


Figura 2.38: O MCP. Créditos da imagem: Alcatel France

O *Geostationary Earth Radiation Budget* - GERB

O GERB é um instrumento carregado pelo satélite MSG-1 cuja principal função é o de estudar o balanço radiativo do planeta Terra. Por detrás do desenvolvimento deste instrumento encontra-se um consórcio europeu liderado pelo *Rutherford Appleton Laboratory* (RAL), no Reino Unido, encontrando-se entre os outros consortes a Itália e o Luxemburgo. Fundamentalmente, este instrumento monitoriza em banda larga a radiação nas bandas visível e infravermelho que provém da atmosfera terrestre. O GERB realiza medições com exactidão das componentes de onda curta e de onda longa resultantes do balanço radiativo do topo da atmosfera. As informações coligidas por este instrumento são de extrema importância para estudos climatológicos, bem como para previsão do tempo a curto prazo.

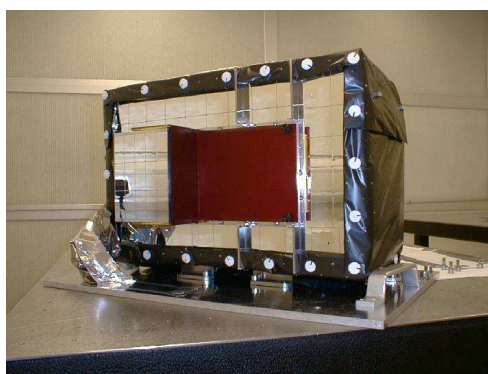


Figura 2.39: O GERB. Crédito da imagem:GERB Consortium.

Em termos de tamanho, o GERB possui as dimensões aproximadas de $45 \times 20 \times 15$ cm, possuindo uma massa de cerca de 40 kg. Um espelho compensador da rotação do satélite reflecte a radiação emergente em direcção a um conjunto de detectores, que obtêm medidas ao longo do percurso norte-sul da terra. O espelho foi desenhado de forma a que cada medida subsequente se efectue na direcção este-oeste, de forma a que a totalidade do globo terrestre possa ser processada numa resolução espacial de aproximadamente 50 km^2 no decurso de cerca de 5 minutos. Sobre três destas medições é feita uma média, por forma a aumentar a relação sinal-ruído e facilitar o acoplamento com o SEVIRI, que oferece imagens de alta resolução a cada 15 minutos. Conforme referido, o GERB foi desenvolvido para a medição em banda larga de radiancias da Terra com alta precisão. Para se alcançar este objectivo, a radiação total, sujeita a um filtro passa-banda de $0,32$ a $30 \mu\text{m}$ é medida inicialmente. Posteriormente, é interposto um filtro de quartzo no campo de visão do instrumento, permitindo a passagem da chamada radiação solar ($\lambda < 4 \mu\text{m}$). A radiação térmica terrestre, também chamada de onda longa é então detectada através da subtracção da radiação de onda curta ao total de radiação medido.

O Search and Rescue transponder - S&R

Tal como já descrito para os satélites NOAA, o MSG possui a bordo um *transponder* de 406 MHz, que providencia a ligação ao sistema internacional desenvolvido pelo Canadá, França, EUA e a antiga URSS destinado a prestar assistência operações de busca e salvamento de âmbito mundial. Note-se que, apesar de o sistema principal de busca e salvamento assentar em satélites de órbita polar, estudos feitos com o satélite americano GOES demonstraram que os satélites geostacionários podem acelerar os tempos de detecção, emitindo, a partir da sua zona de cobertura, alertas quase instantâneos.

No que toca a necessidades específicas deste sistema, note-se que, em primeiro lugar, o sistema S&R faz uso de uma parte substancial do equipamento a bordo do MSG, salientando-se, em particular as antenas UHF e de banda L, bem como o receptor UHF. Por outro lado, apenas se torna necessária a inclusão de equipamento de filtragem de canais, conversão de alta frequência e amplificação de sinal, uma carga adicional de impacto marginal no custo e massa do satélite, que vem, assim, acrescentar a dimensão humanitária à missão MSG.

2.5 Tecnologia de aquisição da informação medida por satélite

2.5.1 O modo APT - *Automatic Picture Transmission*

O modo APT contém dados dos canais infravermelho e visível¹⁰ do sensor AVHRR/3 numa resolução espacial inferior (4 km) e a transmissão desses dados é feita, em modo analógico, a uma velocidade de 120 linhas por minuto. O modo APT não possui sinais de início e fim de imagem. Como se trata de uma transmissão contínua a imagem é delimitada pelo horizonte de passagem do satélite.

O sinal analógico é transmitido continuamente e o seu acesso é ilimitado, podendo ser recebido e processado em tempo real num sistema de custo reduzido. As características do sinal recebido via APT são as seguintes:

- Frequência de emissão entre 137 e 138 MHz (VHF);
- Sinal constituído por uma frequência AM sub-portadora de 2400 Hz modulando a portadora de rádio-frequência em 137,5 ou 137,62 MHz;
- Polarização da antena de emissão: circular direita.

O esquema da figura 2.40 ilustra basicamente o formato de uma imagem recebida em formato APT.

¹⁰Na verdade, essa informação depende do período diurno

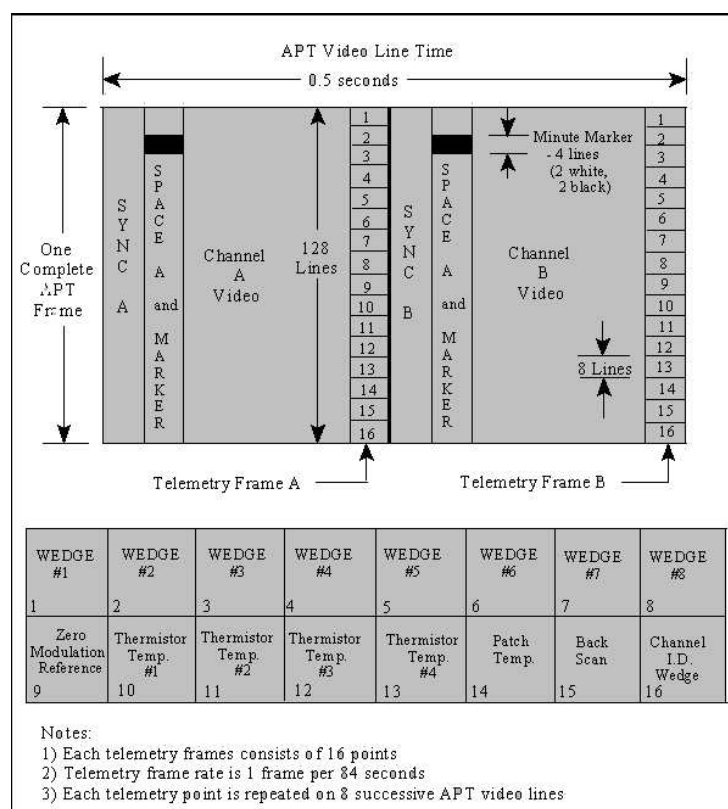


Figura 2.40: Esquema de uma imagem em formato APT. Crédito da imagem: NOAA

Já na figura 2.41, ilustra-se um extracto de uma imagem obtida por satélite, via APT, tornando-se possível identificar (da esquerda para a direita) os topos de sincronização (barras negras e brancas a 1040 Hz) identificador e marcador (o espaçamento entre segmentos brancos e negros é de um minuto), conteúdo da imagem, telemetria da primeira imagem, seguido de topos de sincronização, identificador e marcador, conteúdo da segunda imagem e telemetria da segunda imagem. O identificador, quando é negro com marcas brancas indica que se trata da imagem na região do visível, ao passo que se for de fundo branco, com marcas negras, indica que se trata da imagem na região do infravermelho.

Apesar da sua baixa resolução, as imagens obtidas via APT revestem-se de elevada utilidade para algumas aplicações, conforme se referirá em capítulos posteriores desta dissertação.

2.5.2 O modo HRPT - *High Resolution Picture Transmission*

O modo HRPT é um modo de transmissão digital em tempo real dos dados recolhidos pelos instrumentos a bordo dos satélites NOAA, disponibilizados de forma aberta e gratuita há já mais de trinta anos. Historicamente, o HRPT foi concebido para fornecer informações

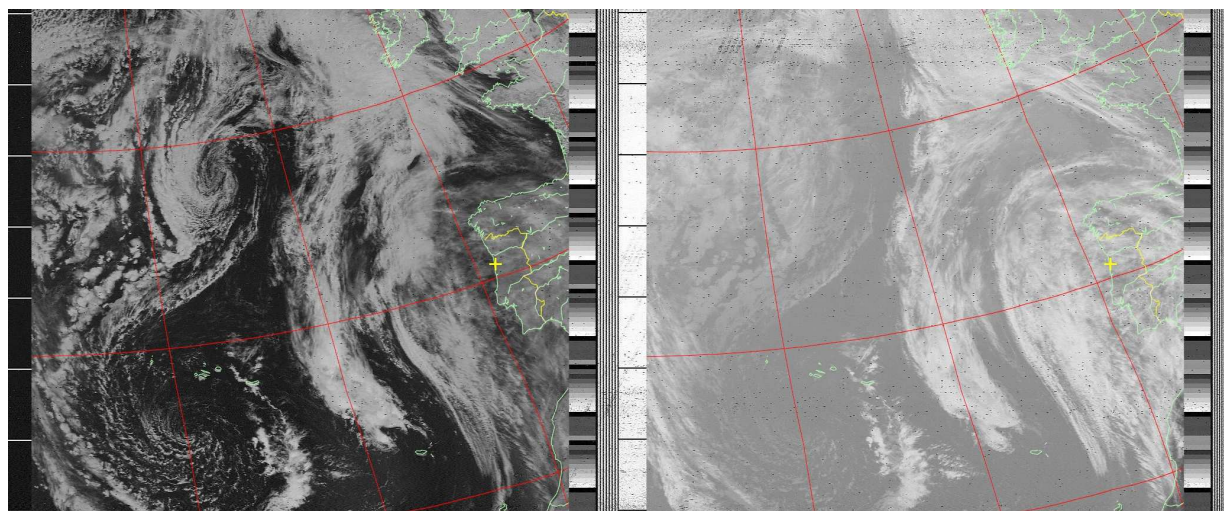


Figura 2.41: Imagem APT obtida do satélite NOAA 17, no dia 2005-03-31, na estação de recepção de satélite do Departamento de Física da Universidade de Aveiro.

sobre a temperatura da superfície do mar, gelo, neve e cobertura de nuvens, 24 h por dia. Todavia, e tendo em conta a proliferação de software e a crescente acessibilidade económica dos equipamentos, torna-se possível, actualmente, conter na transmissão HRPT dados de alta resolução de todos os instrumentos a bordo dos satélites NOAA. Assim, numa torrente de dados HRPT obtêm-se informações do processador de informações TIP, do processador AIP das MSU e de cinco canais do AVHRR, com resolução de 1,1 km.

No que concerne às características de transmissão, salientam-se:

- Taxa de transmissão de 360 linhas por minuto;
- Frequência de transmissão: 1698,0 or 1707,0 MHz (primária), 1702,5 MHz (secundária), sujeitas a alterações;
- Modulação da Portadora: *split phase digital*, modulação em fase.

Note-se, porém, que toda a informação transmitida se encontra multiplexada, o que significa que no sinal recebido via HRPT se encontra misturada a informação relativa a todos os instrumentos referidos anteriormente. Deste modo, a informação encontra-se organizada em *frames*, de forma a tornar mais simples a extracção da informação relativa a cada instrumento, num processo tecnicamente chamado de decomutação.

É importante referir-se que, para além de dispendiosa, a recepção de imagens via HRPT é um processo extremamente complexo, que se justifica apenas pela alta resolução dos dados adquiridos, que permitem a sua utilização para a obtenção de produtos finais bastante importantes, como a detecção de incêndios, monitorização do índice de vegetação, entre outros.

Como forma de comparação com a figura 2.41, a figura 2.42 pretende ilustrar a alta resolução espacial das imagens obtidas via HRPT:

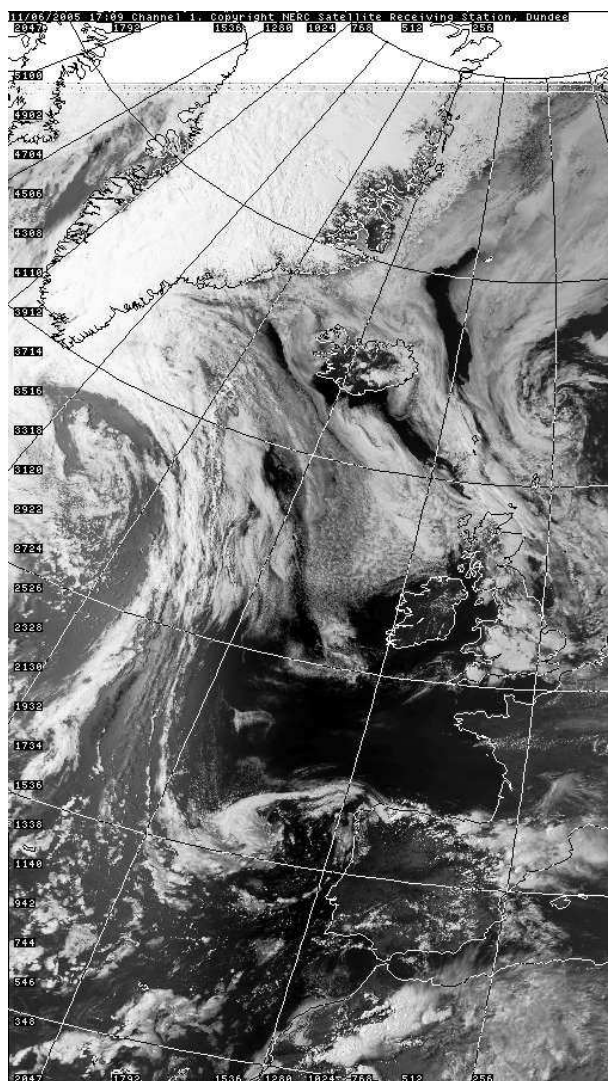


Figura 2.42: Imagem HRPT obtida do satélite NOAA 12, no dia 2005-06-11, na estação de recepção de satélite da Universidade de Dundee. Crédito da imagem: NERC Satellite Receiving Station, Dundee University, Scotland

2.5.3 O modo DSB - *Direct Sounder Broadcasting*

A transmissão em VHF encontra-se disponível para os utilizadores que não possam instalar os equipamentos mais complexos para recepção de transmissões HRPT, na banda S. A taxa de transmissão de dados mais baixa do TIP permite aos utilizadores o recurso

a equipamentos menos sofisticados e menos dispendiosos para adquirir dados do HIRS/3, SEM/2, DCS/2. No modo DSB não é possível, todavia, receber dados provenientes das AMSU.

São fornecidas, em tempo real, saídas paralelas para transmissão em VHF e para os links em banda S do processador MIRP (*Manipulated Information Rate Processor*) de dados HRPT. Os dados são multiplexados com os dados analógicos e digitais domésticos do satélite. A saída TIP modula directamente a transmissão do *beacon*, sendo que os dados são transmitidos como um sinal de fase dividido em 8,32 kbps sobre um dos transmissores do *beacon* em 137,35 e 137,77 MHz.

2.5.4 Transmissão e retransmissão de dados dos satélites Meteosat

Apesar de o satélite MSG-1 se encontrar numa órbita geostacionária e ser estabilizado por rotação, isso não significa que o satélite esteja exactamente imóvel em relação à Terra. Na verdade, o satélite tende constantemente a desviar-se da sua localização nominal a zero graus de latitude e longitude. Este efeito é tão frequente que, mesmo nos quinze minutos necessários para a aquisição de uma imagem de alta resolução (canal 12), o satélite pode mover-se ligeiramente o que induz na imagem obtida aquilo a que é designado na literatura de erros de navegação. Mesmo pequenas variações na orientação do satélite podem resultar em variações significativas na cena observada 36000 km abaixo. Por outro lado, pequenas discrepâncias na localização dos sensores relativamente ao plano focal do radiómetro podem ser ampliadas, quando se considera a grande distância a que o satélite se encontra da Terra. Para além disso, a calibração dos sensores vai variando ao longo do tempo.

As correcções para estas variações apenas precisam de ser feitas uma vez para cada imagem. Esta tarefa é realizada na *Image Processing Facility* (IMPF) em Darmstadt, na Alemanha, que dá origem a imagens correctamente calibradas e georreferenciadas numa projecção comum, prontas a serem disseminadas e usadas no vulgarmente chamado nível 1.5¹¹, que possui um formato digital de 10 bits e fornece a base para todo o processamento posterior.

Já no que diz respeito ao processo de disseminação, o sistema operacional MSG possui dois canais de disseminação diferentes, utilizados para transmitir a informação aos utilizadores: o *Low Rate Information Transmission* (LRIT) e o *High Rate Information Transmission* (HRIT).

Ambos os canais transmitem informação do satélite pré-processada, de nível 1.5, que inclui imagens e outros tipos de informação, para a comunidade de utilizadores. O esquema de transmissão HRIT transmite todos os 12 canais do SEVIRI em plena resolução, quer espacial quer temporal, a 1 Megabit por segundo, dentro de 5 minutos do instante de observação. Já no modo LRIT, destinado a estações de recepção menos possantes, a informação é transmitida em menor resolução a 128 kilobits por segundo e contém um conjunto (de três a cinco) das imagens dos canais do SEVIRI, transmitidas num ciclo de

¹¹A informação em nível 1.5 consiste em informação feometricamente corrigida, georreferenciada e calibrada

30 minutos, dentro de 15 minutos do instante de observação. Para além disso, no LRIT são também transmitidas imagens de todos os satélites geostacionários disponíveis, bem como algumas imagens seleccionadas de satélites de órbita polar. O fluxo de informações LRIT é completado pela transmissão de produtos meteorológicos, informação meteorológica convencional e relatórios de colecta de dados das DCP's que utilizam o sistema MSG.

A figura 2.43 sistematiza o processo de comunicação e transmissão dos dados MSG.

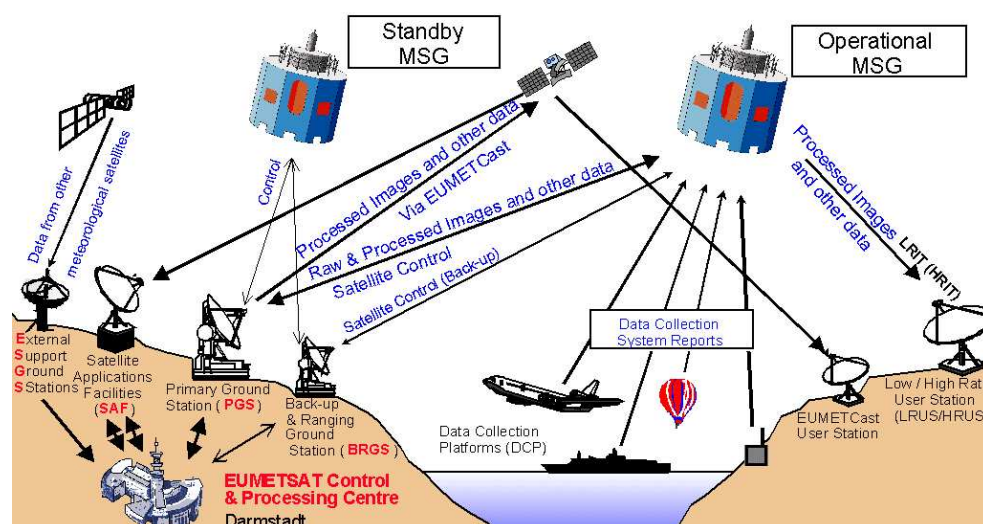


Figura 2.43: Diagrama explicativo das transmissões e retransmissões dos satélites MSG da Meteosat. Créditos da imagem: EUMETSAT.

No que concerne à estrutura dos ficheiros HRIT/LRIT, deve salientar-se que estes consistem em um ou mais cabeçalhos (*headers*) e um campo de dados, conforme esquematizado na figura 2.44.

Note-se que os cabeçalhos contêm informações que descrevem os conteúdos do campo de dados. Assim, cada cabeçalho tem a estrutura definida pelo esquema da figura 2.45. Podem definir-se até 256 tipos de cabeçalhos diferentes, podendo também o mesmo cabeçalho ocorrer várias vezes no mesmo ficheiro. Contudo, o primeiro cabeçalho é de presença obrigatória, assumindo tipicamente o nome de cabeçalho primário.

No que diz respeito aos tipos de cabeçalho suportados, a tabela 2.5 resume sistematicamente essa informação.

Na sequência do exposto anteriormente, considere-se a estrutura do campo de dados. Para os ficheiros de imagem, o campo de dados consiste numa sequência de *pixels* sem qualquer espaçamento entre si. O tamanho de um *pixel*, em *bits* é especificado no registo da estrutura da imagem, bem como o número de colunas (NC) e o número de linhas (NL) da imagem. O número total de pixels corresponde ao produto NC·NL, pelo que o tamanho total do campo de dados não é mais do que o produto de NC, NL e o tamanho do *pixel*. Os *pixels* são ordenados por linhas, da esquerda para a direita, e de cima para baixo. Em

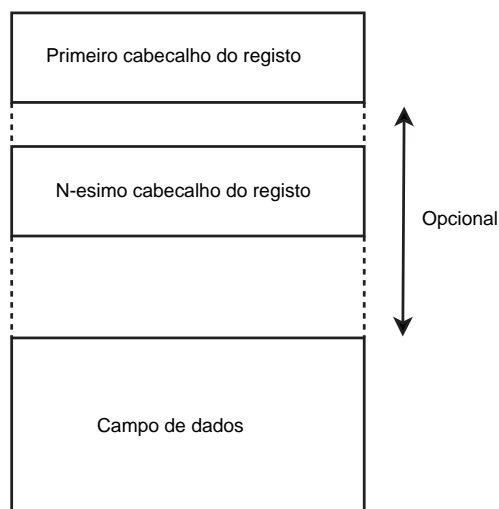


Figura 2.44: Constituição típica dos ficheiros HRIT/LRIT. Adaptado de CGMS

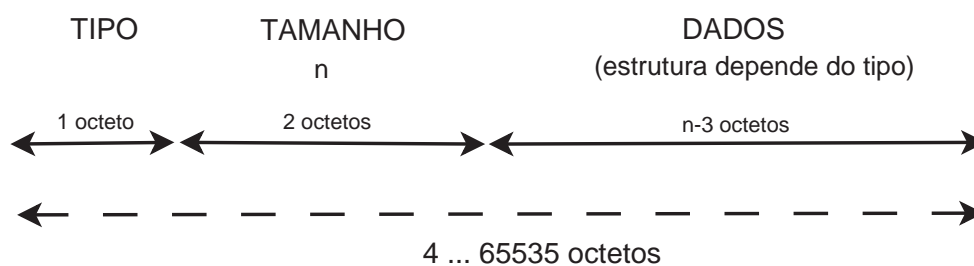


Figura 2.45: Estrutura dos cabeçalhos dos ficheiros HRIT/LRIT. Adaptado de CGMS

Código	Tipo de cabeçalho
0	Cabeçalho Primário
1	Estrutura da imagem
2	Navegação da imagem
3	Função de dados da imagem
4	Anotação
5	Estampa horária
6	Texto auxiliar
7	Cabeçalho chave
8 ... 127	Reservado para uso global futuro
128 ... 255	Para uso específico da missão

Tabela 2.5: Tipos de cabeçalho suportados nos ficheiros HRIT/LRIT. Adaptado de CGMS.

conformidade com o que se disse anteriormente, as colunas são numeradas de 1 a NC e as linhas são numeradas de 1 a NL. Logo, o primeiro *pixel* no campo de dados de imagem (isto é, aquele que, na imagem final, se situará no canto superior esquerdo da imagem) possui as coordenadas de imagem (1,1), ao passo que o último pixel, localizado no canto inferior direito da imagem, possuirá as coordenadas (NC,NL).

Após uma avaria prematura num amplificador de potência (O SSPA, *Solid State Power Amplifier*) a bordo do MSG-1, os *downlinks* de transmissão do satélite ficaram comprometidos, tendo a equipa técnica sugerido a hipótese de refrear a missão de disseminação. Todavia, e tendo sido reconhecida a urgência e premência na distribuição dos dados à comunidade de utilizadores, foi necessário recorrer-se a um método de disseminação alternativo.

No seguimento dos esforços envidados por toda a equipa técnica da missão MSG, é inaugurado em Janeiro de 2004 o EUMETCAST, baseado na retransmissão via DVB (*Digital Video Broadcast*) dos dados a partir de um satélite comercial, o HotBird-6, em órbita geostacionária a 13º E de longitude. Deste modo, este serviço permitiu a disponibilização dos dados do MSG-1 para uma larga banda de utilizadores na maior parte da Europa, bem como todos os Estados membros e cooperantes da EUMETSAT. A extensão deste sistema inclui ainda a cobertura do continente africano, tendo os testes começado a ser efectuados em Agosto de 2003.

Assim, e de um modo geral, encontram-se disponíveis os seguintes serviços, via EUMETCast:

- Serviços operacionais de rotina do MSG-1, que consistem na totalidade da informação HRIT (dados dos doze canais do SEVIRI a cada quarto de hora) e em todos os dados LRIT (informações do SEVIRI reduzidas a cinco canais a cada quarto de hora mais retransmissões de outros satélites (GOES-W, GOES-E e METEOSAT-5, entre outros);
- Serviço de retransmissão ATOVS (*Advanced TOVS* - um sistema de processamento da NOAA/NESDIS) (EARS, *EUMETSAT ATOVS Retransmission System*);
- *Rapid Scanning Service* (RSS).

Capítulo 3

Sistemas de Recepção Implementados

Neste capítulo podem encontrar-se duas secções que descrevem detalhadamente cada uma das duas estações de recepção implementadas. Assim, na primeira secção, "**Estação de Baixa Resolução NOAA**" descreve-se com detalhe a constituição da estação, bem como são feitas considerações individuais sobre todo o equipamento desenvolvido, descrevendo o seu modo de funcionamento. Na segunda secção, "**Estação de Recepção MSG-1**", faz-se uma descrição igualmente detalhada, analisando a constituição da estação no que diz respeito ao *hardware* e *software* instalados, descrevendo com detalhe a função de cada um dos sistemas que compõem a estação.

3.1 Estação de Baixa Resolução NOAA

A Estação de Recepção de Imagens de Baixa Resolução de Satélites de Órbita Polar (NOAA) baseia-se num sistema de captura e processamento do modo APT dos satélites NOAA e é constituída por:

1. Antena de Recepção, na banda dos 137 MHz e respectivo pré-amplificador;
2. Receptor VHF;
3. Computador PC com placa de som, equipado com *software* de captura e processamento de sinal.

O diagrama da figura 3.1 ilustra o funcionamento básico desta estação de recepção de imagens.

De um modo geral, pode resumir-se o funcionamento da estação de baixa resolução NOAA numa única frase. Assim, o sinal emitido pelo satélite excita a antena de recepção e, após amplificação e filtragem, é captado pelo receptor VHF, que possui a largura de banda suficiente para receber em boas condições o sinal oriundo de satélite. Posteriormente, o *software* de processamento faz uso da aquisição de sinal, via placa de som do computador, para decodificação do sinal APT, permitindo a visualização da imagem

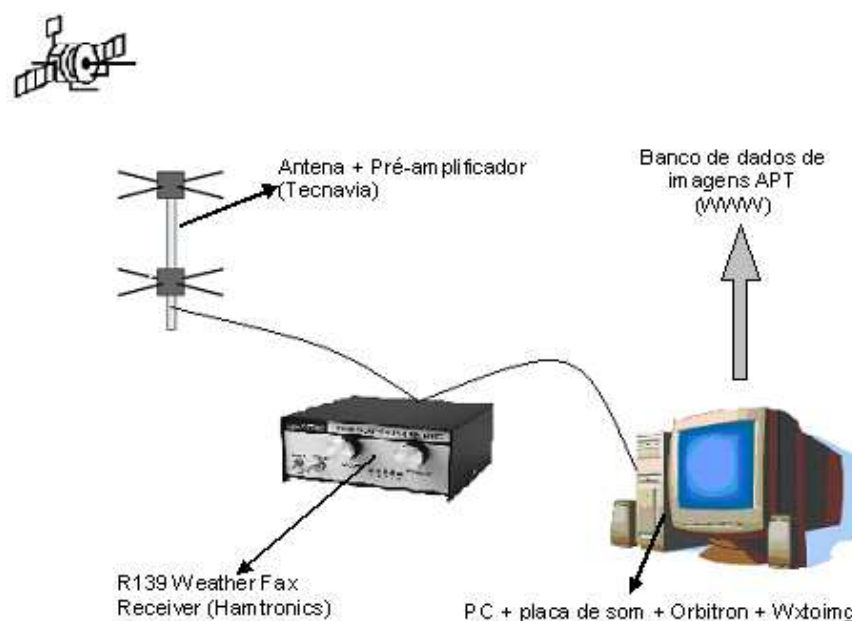


Figura 3.1: Diagrama elucidativo da constituição da estação de recepção de imagens de baixa resolução.

resultante da passagem do satélite. As imagens adquiridas são arquivadas por data de recepção e guardadas num banco de dados, para posterior consulta ou análise.

Por forma a analisar com mais detalhe os componentes desta estação, as subsecções seguintes debruçam-se especificamente sobre cada um dos itens que a compõe.

3.1.1 Antena de Recepção

Em primeiro lugar, refira-se que uma antena nada mais é do que um dispositivo capaz de radiar ou receber ondas electromagnéticas. Assim, uma antena oferece a transição entre um dispositivo-guia (seja ele uma linha de transmissão, ou um guia de ondas) e o espaço livre. Logo, o propósito principal de uma antena é o de converter a energia de uma onda guiada em energia de uma onda no espaço livre (ou vice-versa) do modo mais eficaz possível, de acordo com a distribuição espacial da potência radiada pelo emissor.

A antena de recepção utilizada é do tipo dipolo cruzado, também conhecida como *turnstile*. Esta antena é, tipicamente, do tipo omni-direccional, com polarização horizontal, e era frequentemente utilizada, no passado, em comunicação VHF, quando o uso de repetidores ainda não era uma prática corrente. A utilização de uma antena deste tipo justifica-se por duas razões: em primeiro lugar devido à sua versatilidade e relativo baixo custo e em segundo lugar, mas com um peso preponderante, para reabilitar a antena constituinte de um sistema de recepção de baixa resolução, adquirido no passado pelo Departamento de Física da Universidade de Aveiro, e actualmente fora de uso, por avaria. Tecnicamente, a

antena é constituída por dois dipolos ressonantes perpendiculares entre si, cruzando-se no centro sem, todavia, se tocarem, conforme ilustrado na figura 3.2.

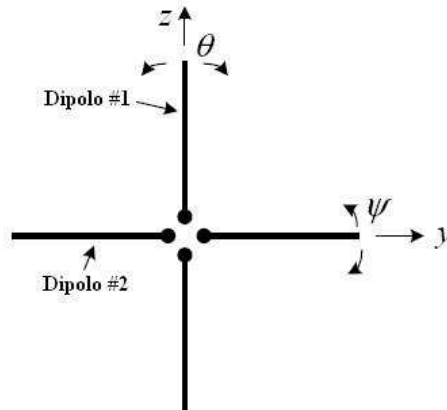


Figura 3.2: Diagrama esquemático de um dipolo cruzado.

Deste modo, esta antena permite a recepção (ou emissão) de um campo circularmente polarizado na direcção normal ao plano dos dipolos. Para além disso, a teoria estabelece que o padrão de radiação no plano dos dipolos (o plano θ , na figura 3.2) é isotrópico.

Assim, a antena instalada possibilitou a recepção do sinal emitido pelos satélites NOAA em órbitas que permitissem a captura do sinal.

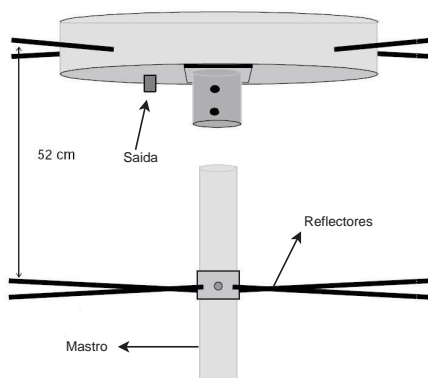


Figura 3.3: Esquematização geral da antena utilizada



Figura 3.4: Visão do interior da antena utilizada.

3.1.2 O Pré-Amplificador

O objectivo principal de se adicionar um pré-amplificador perto da antena de recepção é o de amplificar e filtrar o sinal à saída da antena, antes de ser conduzido até ao receptor por cerca de 25 m de cabo coaxial. Deste modo, o uso de um pré-amplificador permite uma substancial melhoria na qualidade do sinal recebido, bem como permite ultrapassar a perda inerente ao cabo utilizados no transporte de sinal até ao receptor.



Figura 3.5: O pré-amplificador utilizado.

O pré-amplificador utilizado baseia-se nos transístores MOSFET BF988 da Siemens com três circuitos ressonantes de filtragem adicionais, oferecendo um ganho total de 20 ± 2 dB, segundo o esquema da figura 3.6.

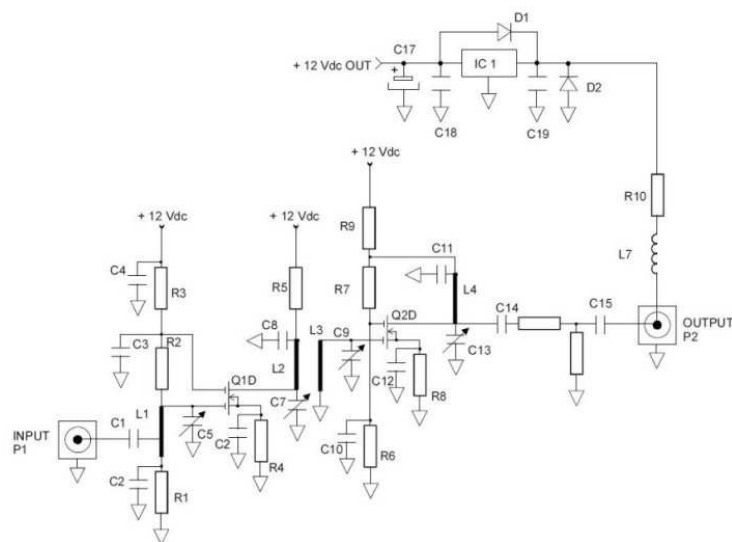


Figura 3.6: Esquema electrónico do pré-amplificador.

No que diz respeito ao resultado final, a figura ilustra o a antena e o pré-amplificador, estrategicamente colocados no terraço do Departamento de Física. Note-se que, apesar de teoricamente a antena ser omni-direccional, verificou-se empiricamente que os resultados na aquisição de sinal eram mais satisfatórios quando quando a orientação da antena coincidia com a orientação dos pontos cardeais N-S, E-W.



Figura 3.7: A antena de recepção (à direita)e respectivo pré-amplificador (à esquerda).

3.1.3 Receptor de sinal

Para a recepção do sinal resultante da transmissão directa em VHF dos dados coligidos pelos satélites, fez-se uso de um receptor FM comercial de cinco canais, controlado por cristais e optimizado para o funcionamento na banda dos 137 MHz.



Figura 3.8: O receptor Hamtronics R139 nas suas sucessivas etapas. Partindo da esquerda e no sentido do movimento dos ponteiros do relógio: a placa de circuito impresso, o circuito após assemblagem, o protótipo em fase de testes e o receptor alinhado, testado e em versão funcional.

Para deixar claro o princípio de funcionamento do receptor, o circuito integral do receptor de sinal foi subdividido em pequenos blocos e analisado no decurso dos parágrafos seguintes.

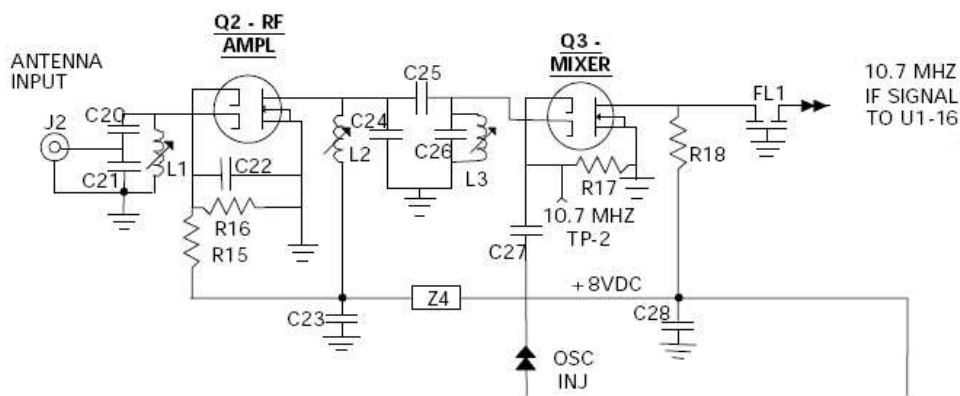


Figura 3.9: Esquema electrónico da etapa de entrada, amplificação e mistura do sinal, no receptor implementado.

Deste modo, e segundo o esquema da figura 3.9, o sinal VHF proveniente da antena é amplificado pelo transistor (FET) Q2, no esquema. O ajuste de impedâncias entre a antena e o receptor é feito no circuito à entrada do transistor Q2 referido anteriormente.

O circuito que se pode observar à saída do transistor tem por finalidade a rejeição de interferência de sinais com frequências afastadas da banda desejada. Posteriormente, o sinal é encaminhado para o transistor Q3, que converte o sinal original, na banda dos 137 MHz num sinal de frequência intermédia de 10,7 MHz, que é, de seguida, transferido para o amplificador de frequência intermédia U1.

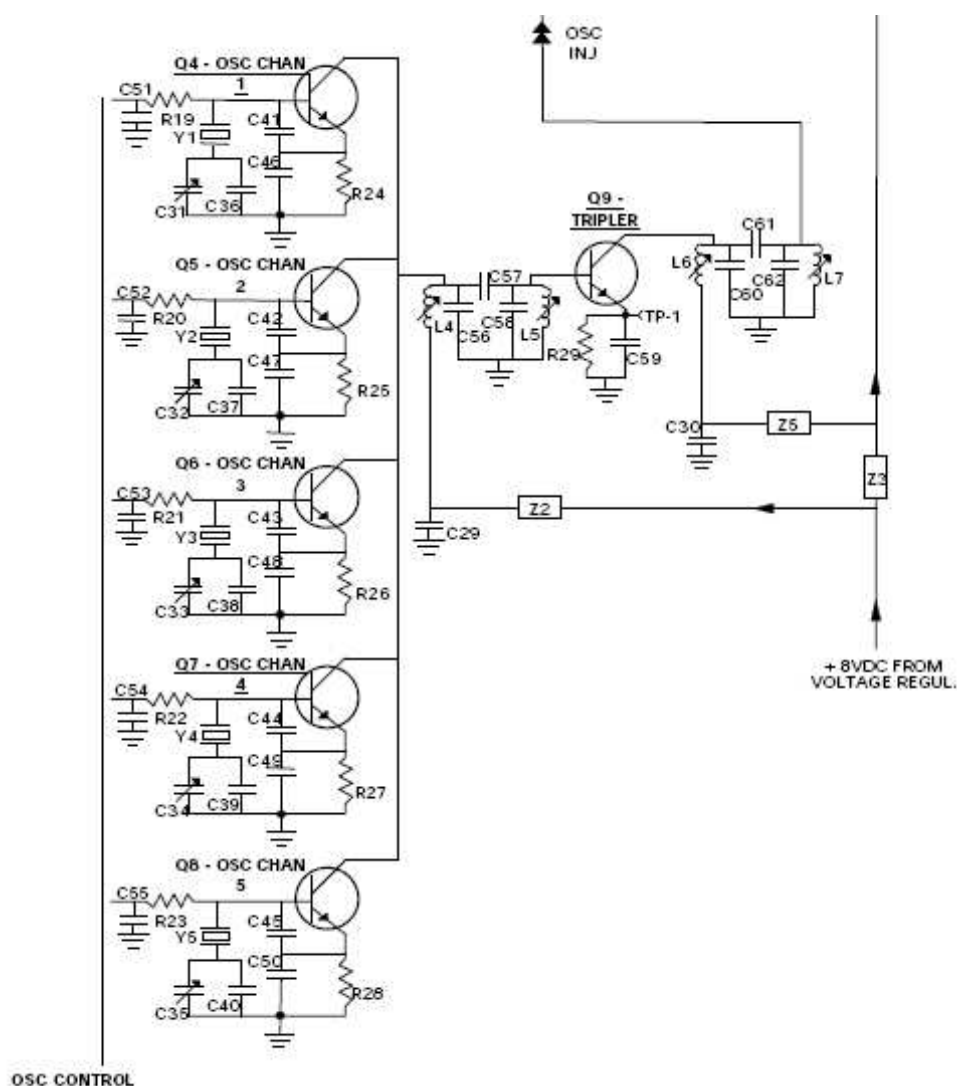


Figura 3.10: Esquema electrónico da etapa de mistura e injeção de sinal, no receptor implementado.

Na figura 3.10, o sinal de injeção para o transistor Q3, que funciona como misturador, é obtido a partir de um dos cinco osciladores de cristal, Q4 a Q8, que são seleccionados pelo circuito de detecção. O sinal, na banda dos 14 MHz, originado pelo cristal seleccionado, é triplicado à saída do colector do cristal, no circuito constituído pelas bobinas L4 e L5, dando, deste modo, origem a um sinal na banda dos 42 MHz. Este sinal é novamente triplicado no transistor Q9 para a banda dos 126 MHz.

Prosseguindo com a análise do circuito, o sinal de frequência intermédia de 10,7 MHz é processado por um amplificador de frequência intermédia U1, conforme se ilustra na figura 3.12.

O circuito instalado entre os pinos 1 e 2 do circuito integrado MC3361BP forma um

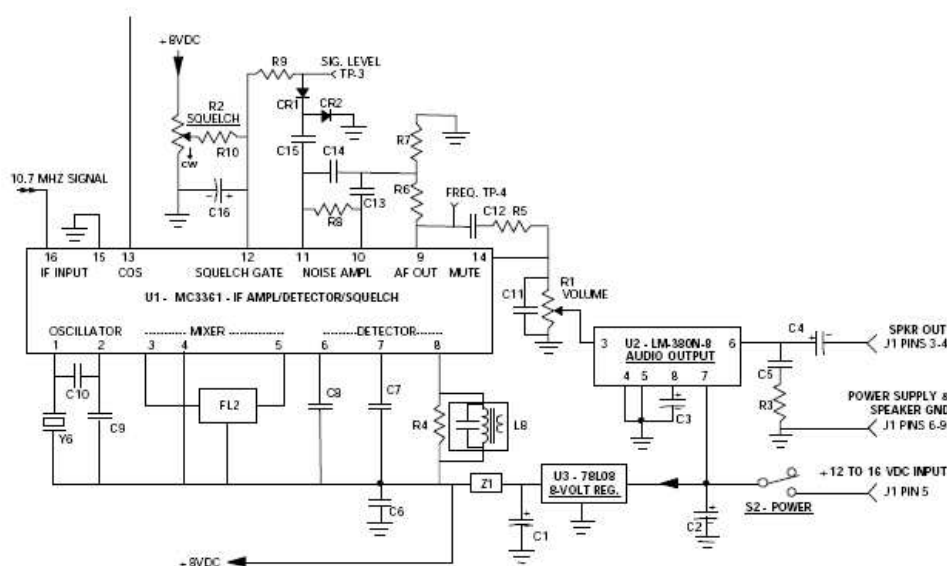


Figura 3.11: Esquema electrónico da etapa de amplificação, detecção e processamento de sinal, no receptor implementado.

oscilador de 10,245 MHz, cujo sinal é utilizado internamente para converter o sinal de entrada, no pino 16, para 455 kHz, no pino 3. Um filtro cerâmico entre os pinos 3 e 5 assegura a selectividade entre canais adjacentes. O sinal de 455 kHz é convertido para áudio a partir de um circuito de detecção entre os pinos 6 e 8. Nesse circuito, a bobina de quadratura L8, determina a frequência central do detector, ao passo que a resistência R4 determina a largura de banda de modulação.

O percurso do sinal prossegue, até ao pino 9 do circuito integrado. Assim, o sinal áudio ou ruído branco, detectados no pino 9, são aplicados ao controlo de volume, bloqueado o condensador C12, minimizando parcialmente a importância da rede constituída pela resistência R5 e o condensador C11. O pino 14 é o colector de um interruptor de *squelch*¹ dentro do circuito integrado U1. Este transistor é controlado pelo sinal de corrente contínua no pino 12, permitindo assim o silenciamento do receptor quando é detectado apenas ruído. Ainda dentro do circuito integrado U1, destaca-se a existência de um amplificador operacional entre os pinos 10 e 11 que funciona como um filtro passa-banda activo, sintonizado para uma frequência próxima de 10 kHz, detectando assim ruído branco acima da banda de frequência de áudio normal. Este filtro activo é formado pelas resistências R6, R7 e R8, bem como pelos condensadores C13 e C14.

O sinal áudio do controlo de volume é aplicado ao alto-falante e à saída de demodulação, sendo previamente amplificado pelo amplificador de potência U2 (LM380N). A malha constituída pelo condensador C5 e a resistência R3 destina-se à supressão parasitária, não

¹Um circuito electrónico que corta a saída do receptor quando o sinal desejado é demasiado fraco para a recepção da informação pretendida, devido à predominância de ruído.

tendo sido utilizada.

Já no que diz respeito à selecção de canais, esta é feita através do circuito de pesquisa, constituído pelos circuitos integrados U4 (uma porta NOR) e U5 (um contador).

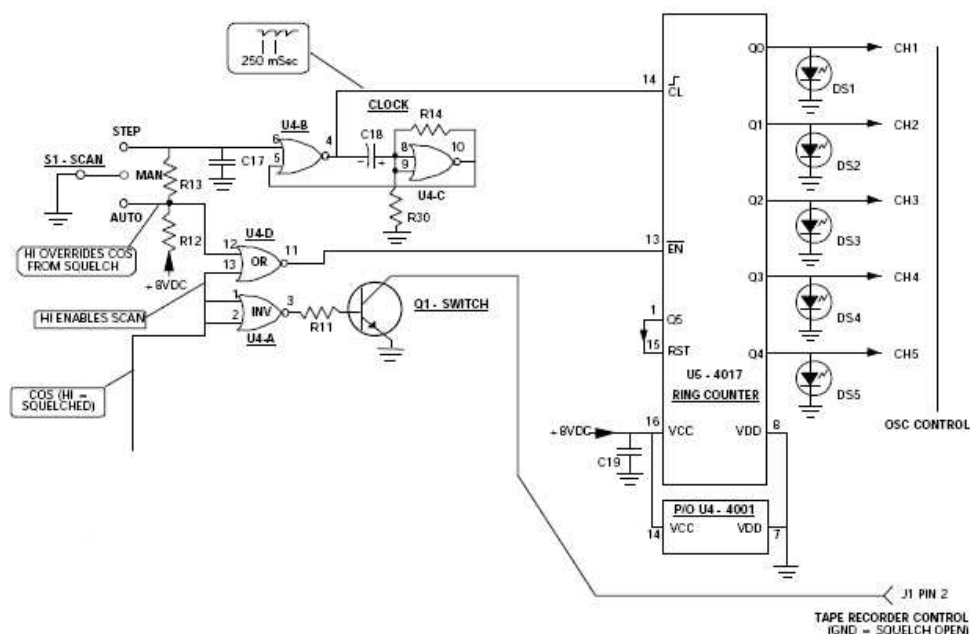


Figura 3.12: Esquema electrónico da etapa de selecção de canais e busca automática, no receptor implementado.

Assim, o contador U5 opera a uma taxa de 4 pulsos por segundo, permitindo assim a activação de cada canal por um período de 0,25 s, intervalo de tempo suficientemente longo para que o circuito de *squelch* responda, se detectar um sinal activo para a frequência em questão. Estando o pino 13 de U5 activo, o circuito de recepção alterna sequencialmente entre os cinco canais disponíveis. O contador detém-se quando o sinal de activação, ainda no pino 13, é removido. A saída seleccionada do contador é uma corrente utilizada para activar o respectivo LED e o oscilador do canal. A tensão de saída é limitada pelo LED a cerca de 2 V. Este valor de tensão actua sobre o transistor do oscilador correspondente ao canal seleccionado.

O controlo da busca de canais é feito pelo circuito integrado U4. Quando o interruptor "SCAN" do receptor se encontra na posição "AUTO", a saída é controlada pelo sinal do interruptor operado pela portadora (COS, *carrier operated switch*), proveniente do circuito de *squelch*. Quando este circuito é fechado, o contador é activado, verificando-se a mudança sequencial de canais. Por outro lado, quando o circuito de *squelch* se abre em virtude de um sinal recebido, o contador detém-se nesse canal. Quando o interruptor "SCAN" se encontra na posição "MAN", uma tensão positiva proveniente da resistência R12 é constantemente aplicada ao pino 12 de U4, mantendo assim activo o contador. Contudo, a tensão positiva

ao longo de R13 desactiva o oscilador, mantendo-se este num único canal.

Finalizada a instalação de todos os componentes do receptor, torna-se necessário proceder ao alinhamento do mesmo, verificando tensões de entrada e fazendo variar as capacidades dos condensadores variáveis e a indutância das bobinas, de forma a obter o máximo nível de saída de sinal para as frequências desejadas.

Em conformidade com o que foi referido, a etapa de alinhamento constitui um processo moroso, mas de crucial importância para o correcto funcionamento do receptor e compreende várias etapas, que foram efectuadas rigorosamente. Assim, numa primeira instância, foram verificadas as tensões de entrada no receptor, assegurando os valores correctos de funcionamento. De seguida, já na etapa de alinhamento, fez-se uso de um gerador de sinal RF, procedendo então ao ajuste fino das capacidades e indutâncias nos circuitos ressonantes de cada canal, com o objectivo de obter um óptimo ponto de funcionamento para as frequências desejadas.

3.1.4 Sistema de Processamento de Sinal

O sistema de processamento de sinal é composto, conforme já se referiu, por um computador PC convencional, sendo que a aquisição do sinal é feita directamente a partir da placa de som do computador. Posteriormente, o sinal é convertido em imagem fazendo uso de *software* específico, o *WXtoIMG*, desenvolvido pela Abstract Technologies, na Nova Zelândia. Basicamente, o *software* extrai a informação medida pelos sensores AVHRR a partir do sinal modulado em amplitude, transmitido pelo satélite, num processo habitualmente designado por demodulação. Assim, a demodulação do sinal, feita pelo programa de computador, converte os valores modulados na onda sinusoidal de 2400 Hz nos valores de pixel correspondentes. Assim, os *pixels* da imagem obtida representam, na realidade, a amplitude de cada pico na onda do sinal APT. A figura 3.13 ilustra, para benefício de compreensão do que tem vindo a ser descrito, um exemplo da versatilidade deste *software*, gratuitamente disponível na Internet (no endereço <http://www.wxtoimg.com/>).

Deste modo, o *software* *WXtoImg* possibilita a automatização de todo o processo de aquisição de imagens, disponibilizando ainda a possibilidade de actualização dos elementos orbitais, sobreposição de transparências de mapas, enriquecimentos cromáticos de imagem, transformação de projecção, entre muitas outras funções.

No que diz respeito à imagem obtida, há ainda que ser referido que o *software* utiliza os dados de telemetria das imagens APT dos satélites NOAA para calibrar a imagem obtida com bastante precisão, corrigindo a falta de linearidade na potência do sinal e fazer ajustes ao largo da passagem do satélite para melhorar as imagens. Para além disso, os dados telemétricos também são utilizados para calibrar os instrumentos a bordo do satélite, permitindo assim a leitura de valores de temperatura com bastante precisão.



Figura 3.13: O *software* *Wxtoimg*, utilizado para a demodulação de sinal.

3.2 Estação de Recepção MSG-1

O sistema EUMETCast é baseado num sistema de arquitectura cliente/servidor. O servidor encontra-se implementado num *uplink* em Usingen, na Alemanha, e entende-se como cliente o utilizador registado e licenciado, possuidor do *hardware* necessário para a recepção dos dados. O mecanismo de distribuição *multicast* via DVB é distribuído comercialmente e, no caso da estação implementada, é da responsabilidade da T-Systems. Os ficheiros de dados são transferidos do satélite através uma linha de comunicações dedicada à EUMETSAT para as instalações de Usingen. Estes ficheiros são posteriormente codificados e transmitidos para um satélite geostacionário de comunicações de forma à difusão para as estações de recepção. Cada uma dessas estações descodifica o sinal e recria a informação colectada pelo MSG-1 de acordo com directorias e estrutura de nome de ficheiro específicos.

A estação de recepção implementada é composta por dois computadores PC convencionais, sendo que um dos computadores se dedica exclusivamente à recepção dos ficheiros HRIT e LRIT ao qual se acoplou uma placa de recepção DVB alimentada por uma antena parabólica com um LNB digital universal. O outro computador é utilizado unicamente para o processamento da informação recebida. O diagrama da figura 3.14 ilustra a constituição desta estação de recepção.

Adicionalmente, é requerido o *software* de cliente *multicast*. Como a EUMETSAT

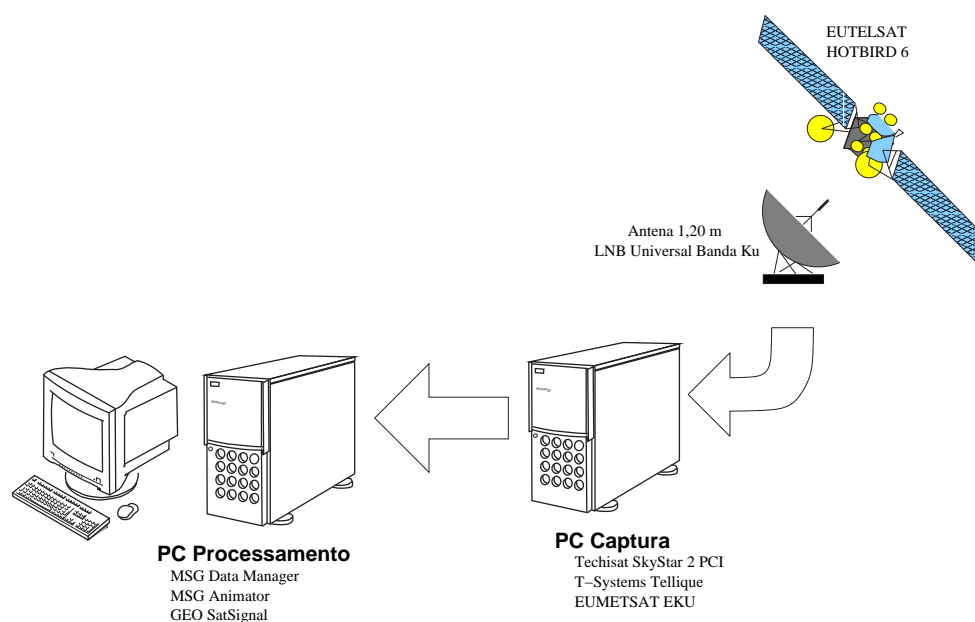


Figura 3.14: Diagrama elucidativo da constituição da estação de recepção MSG-1.

opera um servidor tq-TELLICAST, é necessário o pagamento de uma licença de utilização à própria EUMETSAT, que fornece posteriormente o *software* que opera como cliente do seu servidor.

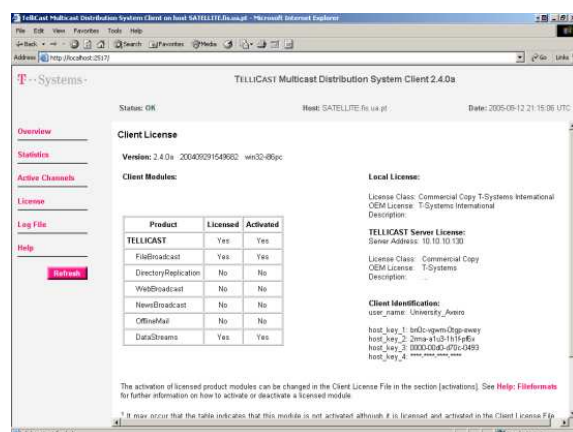


Figura 3.15: Uma visão da janela de estado do cliente *tellicast*.



Figura 3.16: A unidade de descriptação dos dados recebidos, bem como o *software* de cliente *tellicast* enviados pela EUMETSAT.

Tal como efectuado anteriormente, as subsecções seguintes dão ênfase individual a cada um dos componentes da estação instalada de raiz no Departamento de Física da Universidade de Aveiro.

3.2.1 Receptor de sinal

O coração do sistema de recepção de sinal baseia-se na placa DVB SkyStar 2 TV PVR PC, da TechniSat. Esta placa está especialmente otimizada para a recepção de informação via satélite, baseada na norma DVB. Assim, para além das suas capacidades de recepção de Televisão e Rádio via satélite, esta placa possibilita ainda a implementação de conexões de alta velocidade à Internet, via satélite.



Figura 3.17: A placa DVB SkyStar 2 PCI da TechniSat.

O *software* básico necessário para a recepção de informação via DVB é providenciado pela TechniSat, possibilitando assim a recepção de televisão e rádio via satélite. Assim, este *software* efectua a demodulação do sinal recebido em pacotes de informação, controla a banda de oscilação do LNB, entre outras funções.

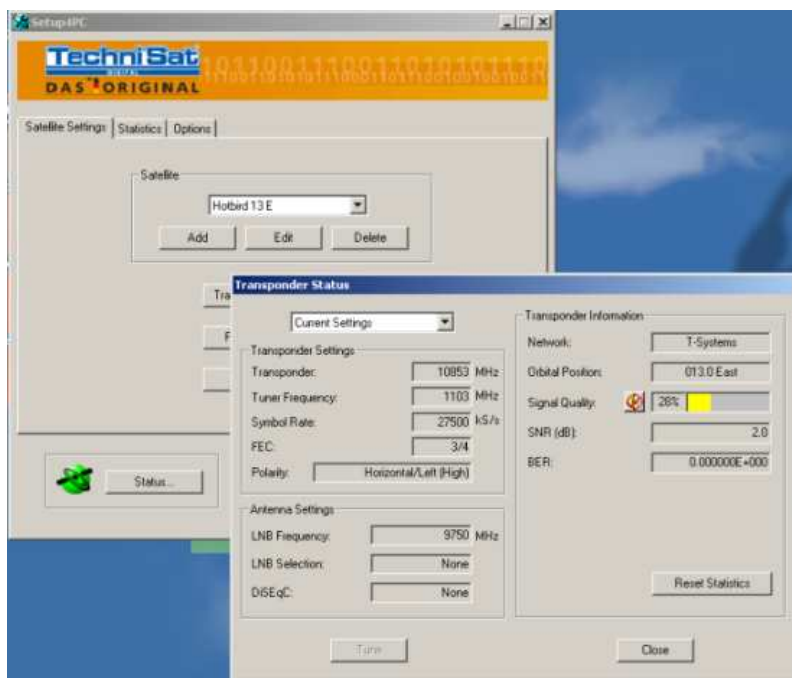


Figura 3.18: Janela de operação do *software* SERVER4PC.

Depois de se proceder ao registo junto à EUMETSAT e, assim, se receber a unidade de descriptação dos dados e o *software* de cliente *tellicast*, a placa de recepção transforma-se num potente sistema de recepção de dados MSG-1. Assim, a informação transmitida pelo MSG-1 para Usingen, posteriormente rectificada, comprimida e codificada em ficheiros HRIT e LRIT é adicionada ao serviço EUMETCast e enviada para o satélite HotBird-6, em pequenos pacotes de informação. Posteriormente, essa informação é recebida pela antena e LNB e é ingerida pela placa de recepção. O *software* de controlo da placa transforma os pacotes de informação numa corrente TCP/IP, de acordo com as informações que se pretendem receber.

3.2.2 Antena de Recepção

A cobertura geográfica do DVB é determinada pelas características do satélite retransmissor, bem como das antenas emissoras associadas ao satélite. Na actual configuração operacional, a recepção EUMETCast está disponível na banda Ku (desde Novembro de 2002) e na Banda C (desde Agosto de 2003). Para o caso específico de Portugal, é utilizada a banda Ku, com o satélite HotBird 6, cuja cobertura geográfica se ilustra na figura 3.19.

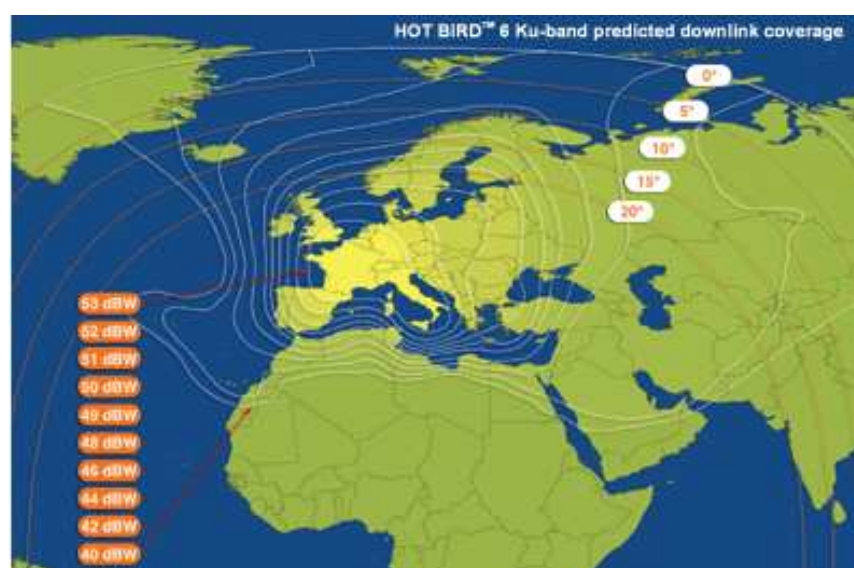


Figura 3.19: Cobertura geográfica do satélite HotBird 6. Créditos da imagem: EUMETSAT

Note-se que, uma vez que o sinal que se pretende receber se situa na banda dos 11 GHz, o alinhamento da antena é de crucial importância, pelo que se fez uso de um dispositivo electrónico para auxílio da determinação do alinhamento da antena.

No que diz respeito ao LNB, este não é mais do que um dispositivo electrónico instalado no prato da antena, cuja função é o de amplificar o sinal recebido e convertê-lo de uma



Figura 3.20: Da esquerda para a direita: Parábola de 1,20 m instalada no terraço do Departamento de Física; visão detalhada no LNB comercial utilizado para a recepção das emissões do satélite HOTBIRD.

frequência elevada para outra, relativamente mais baixa. Assim, o sinal recebido situa-se, como se disse, na banda dos 11 GHz e, à saída do LNB, o cabo que liga este componente à placa de recepção transporta um sinal cuja frequência é de cerca de 1,1 GHz.

Uma pergunta que pode, todavia, ser colocada, prende-se com a necessidade de utilização de um LNB para conversão da frequência do sinal. Para isso, refira-se o facto de, quando os sinais de rádio viajam ao longo de cabos, as perdas por unidade de comprimento são tanto maiores quanto maior for a frequência do sinal. Assim, para a região de frequências em questão, a não utilização de um LNB implicaria o recurso a cabos especiais de elevado custo e de pequeno comprimento, o que se torna fisicamente inviável. Portanto, a tarefa do LNB é, conforme se referiu, converter um bloco de frequências elevadas, amplificá-las e convertê-las em sinais similares numa frequência inferior (a chamada frequência intermédia). Estas frequências mais baixas viajam ao longo dos cabos de ligação sofrendo o sinal muito menos atenuação. Para além disso, refira-se ainda que a electrónica necessária para lidar com sinais na banda de frequências de 1,1 GHz é de mais baixo custo que os equipamentos que lidam directamente com as altas frequências de transmissão dos satélites. Finalmente, refira-se ainda que, inerente à utilização de um LNB está a preocupação na redução do ruído à saída, uma vez que quanto maior for a frequência do sinal, maior é a dificuldade de controlar o ruído não desejado.

3.2.3 Sistema de Processamento de Sinal

O sistema de processamento de sinal é baseado no *software* MSG TOOLSET PLUS, desenvolvido por David Taylor. Este conjunto de aplicações, recentemente galardoado na Conferência de Satélites Meteorológicos, organizada pela EUMETSAT, que teve lugar em Praga, em 2004.

Assim, o pacote de *software* inclui os seguintes programas:

- MSG Data Manager - O principal programa, destinado ao processamento dos ficheiros recebidos em imagens. Para além disso, é neste programa que se especifica o número

de canais que se pretende processar, bem como o tipo de informação que se pretende gravar em disco.

- GeoSatSignal - um utilitário de pós-processamento, possibilitando a obtenção de imagens compostas, transformação de projecção geográfica, entre outras funções.
- MSG Animator - que possibilita a animação em tempo real das imagens obtidas pelo MSG-1, recebidas pelo MSG Data Manager.

A figura 3.21 ilustra basicamente a esquematização do sistema de processamento de sinal.

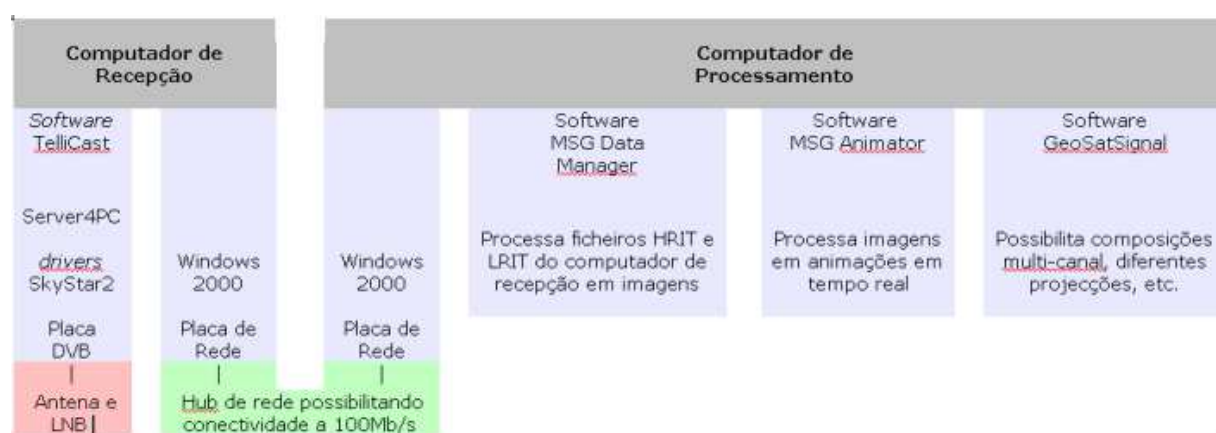


Figura 3.21: Diagrama elucidativo da constituição do sistema de processamento de sinal.

Na sequência do exposto acima, o *MSG Data Manager* constitui o núcleo-duro do sistema de processamento de sinal, razão pela qual lhe é dada, nesta secção, a atenção exclusiva.

Assim, o programa copia a informação recebida pelo sistema de recepção DVB instalado no computador de recepção para o computador de processamento, apagando opcionalmente os ficheiros recebidos no computador de recepção. Posteriormente, e de acordo com as seleções efectuadas acerca dos canais do MSG-1 a processar e de outros tipos de informação, o *software* processa a informação, de acordo com os ficheiros recebidos. Assim, à medida que os ficheiros são processados, pode verificar-se no ecrã principal, a construção de imagens no mesmo formato do varrimento do MSG-1 (isto é, de Sul para Norte, e de Este para Oeste). Finda a etapa de processamento de informação, a imagem é guardada para o disco rígido, sendo que os canais visíveis são automaticamente sujeitos à compressão JPEG, ao passo que os canais do infra-vermelho pode ser salvos de acordo com a compressão PNG (não havendo perdas de informação). A figura 3.22 exhibe a janela principal de operação do programa.

Note-se que, no que diz respeito às configurações requeridas pelo programa, estas foram efectuadas de modo a que toda a informação fosse processada, isto é, todos os doze canais

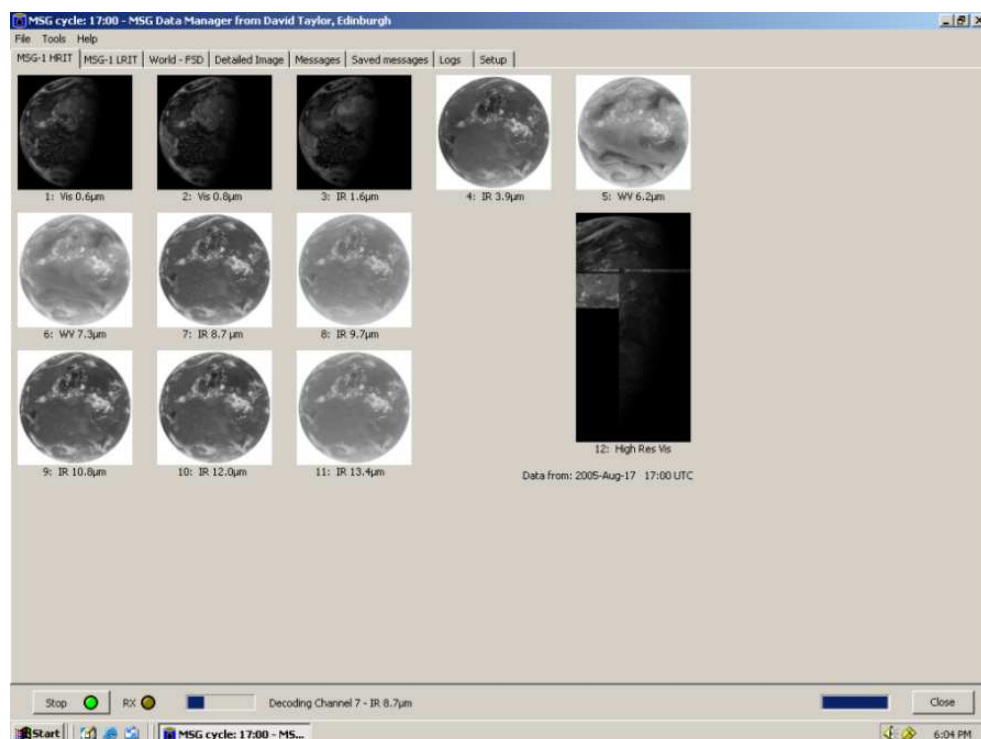


Figura 3.22: A janela principal de operação do *software* MSG Data Manager.

do MSG-1, todos os canais disponíveis de informação de outros satélites, bem como todas as informações recebidas relativamente aos dados de sondagem da atmosfera recebidos pelo serviço EUMETCast. Assim, e ainda que todo o volume de informação recebida não tenha sido utilizada no decurso deste trabalho, é mantido um arquivo da informação recepcionada, para uso futuro.

Capítulo 4

Detecção de focos de incêndio em Portugal com dados do MSG-1

Este capítulo apresenta uma das aplicações dos sistemas de recepção de imagens implementados: a detecção de focos de incêndio em Portugal. Assim, podem encontrar-se quatro secções neste capítulo. Na primeira, "**Introdução**", são tecidas algumas considerações gerais sobre a problemática dos incêndios florestais, bem como o contributo da Detecção Remota a este flagelo. São ainda apresentados alguns algoritmos de detecção de incêndios, baseados na informação recolhida por satélites. Posteriormente, é referida a situação de Portugal face aos incêndios florestais, apresentando alguns dados relativos às ocorrências de incêndio e seus efeitos, bem como o enquadramento legal dos crimes de incêndio florestal. Na segunda secção, "**O algoritmo de detecção de incêndios implementado**" caracteriza-se o algoritmo desenvolvido na sequência deste estudo, no que concerne às suas bases físicas e aos procedimentos computacionais utilizados para a obtenção de resultados. Seguidamente, na secção "**Metodologia**", explicita-se a metodologia utilizada para a detecção e validação dos incêndios ocorridos em Portugal, no período compreendido entre Julho e Agosto de 2005, bem como a sua validação, recorrendo a dados disponibilizados pela Direcção Geral dos Recursos Florestais. Na secção "**Apresentação e discussão dos resultados obtidos**", ilustra-se, de acordo com a metodologia explicitada, o estudo de caso dos incêndios ocorridos em Portugal, no período supra-citado, bem como os resultados da validação dos dados.

4.1 Introdução

Apesar de os fogos florestais poderem ocorrer como resultado de um evento natural, os seus danos não se comparam aos que resultam directamente das actividades antropogénicas para os mais variados propósitos. A incidência dos fogos florestais tem sido relacionada, entre outros, com os efeitos prejudiciais ao ambiente pela redução da biodiversidade, empobrecimento do solo pela emissão de nutrientes, erosão do solo pela maior exposição à chuva, poluição a nível local causada pelo resultante da emissão de CO, NOx e hidrocarbonetos,

mudanças climáticas regionais e até mesmo em escala global devido ao efeito de estufa decorrente da emissão de CO_2 e CH_4 . Esta última afirmação é sustentada pelo facto de a combustão de biomassa contribuir em cerca de um quarto para a emissão global de gases responsáveis pelo efeito de estufa.



Figura 4.1: Imagem de uma frente do incêndio que ameaçou a cidade de Coimbra, a 22 de Agosto de 2005.

O aumento dos investimentos à supressão do fogo tem vindo a ser uma constante nos últimos anos, em todos os países que apresentam áreas de maior susceptibilidade à ocorrência do evento em ambas as formas (natural ou pela sociedade), mormente em Portugal. Entretanto é facto que também tem sido dada uma grande importância não apenas ao combate como também à prevenção ao fogo. Os trabalhos sobre a susceptibilidade da cobertura vegetal à ocorrência de incêndios começaram a ser desenvolvidos no século passado, sendo que os primeiros índices de risco de fogo foram desenvolvidos na década de quarenta, visando aperfeiçoar as práticas de prevenção e manuseamento do fogo (Tuner et al., 1961). O conhecimento dos riscos possibilita o planeamento e a tomada de medidas preventivas mediante a optimização e alocação de recursos considerando a relação custo/benefício comparados com as medidas supressivas. Esses índices têm vindo a ser obtidos mediante suporte de modelos numéricos de previsão de tempo em mesoescala, tendo-se revelado de grande utilidade prática.

Deste modo, surge a premência do desenvolvimento de sistemas de monitorização e detecção de incêndio, sendo que o seu objectivo básico deva ser a localização de focos de forma rápida e eficaz, antes que estes se tornem demasiado extensos e causem estragos graves e perdas económicas. Os sistemas de vigilância em terra, extremamente utilizados em Portugal, sofrem de uma pobre cobertura geográfica, em termos de área, ao passo que a vigilância aérea ao longo de vastas áreas pode requerer um acréscimo dos meios logísticos (isto é, vários aviões) e do tempo de voo necessário para monitorizar fogos activos e/ou potenciais. Neste sentido, tem vindo a ser reconhecido e enfatizado pela comunidade científica internacional a importância da utilização das capacidades dos satélites meteorológicos operacionais para a obtenção de produtos relacionados com a detecção, monitorização e previsão de incêndios.

4.1.1 O contributo da Detecção Remota

A Detecção Remota desempenha um papel importante na obtenção completa, e de forma rápida, da ocorrência e desenvolvimento de incêndios. Actualmente existem diversos programas internacionais dedicados à aquisição de conhecimentos sobre o fogo utilizando dados de satélite. Salientam-se o *International Geosphere Biosphere Program, Data and Information System* (IGBP-DIS), o *World Fire Web*, o *ASTR World Fire Atlas* o *MODIS Fire Product* e muitos outros programas nacionais e regionais, conforme referido em Gregoire et al. (2000).

A detecção remota de incêndios com recurso a medições por satélites tem sido alcançada graças aos mais variados sensores disponibilizados pelos satélites. Apesar de tudo, o sensor mais referenciado na literatura para detecção de incêndios a longo prazo e larga escala é o AVHRR, a bordo dos satélites de órbita polar NOAA. Contudo, outros estudos fizeram uso de diferentes sensores a bordo de satélites como o GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellite*, um satélite geostacionário operado pela NOAA), o DMSP (*Defense Meteorological Satellite Program*, um satélite de órbita heliosíncrona da NOAA), o LANDSAT (um satélite de órbita quase-polar operado pela NASA), o TERRA, o GMS (*Geostationary Meteorological Satellite*, um satélite japonês), o SPOT (um satélite comercial francês) e o MSG-1, entre outros.

Naturalmente que cada um dos instrumentos a bordo dos diferentes satélites possui as suas vantagens e limitações específicas para a detecção de incêndios. Por exemplo, O MSG-1 possui uma frequência temporal de 15 minutos, permitindo uma detecção quase em tempo real, todavia a resolução espacial é de apenas 4 km. No extremo oposto, o LANDSAT oferece uma informação muito mais detalhada sobre a distribuição espacial de focos individuais de incêndio, contudo o seu período orbital ronda os 16 dias e a cobertura geográfica é relativamente reduzida.

4.1.2 Descrição geral dos algoritmos de detecção de incêndio

Tendo em conta a grande quantidade de algoritmos de detecção de focos de incêndio existentes na literatura, surge a necessidade de os caracterizar e descrever basicamente de acordo com alguma características próprias. Assim, e tendo em conta que a maior parte dos algoritmos de detecção de incêndio estão descritos para o sensor AVHRR a bordo dos satélites NOAA, toma-se a liberdade de transpor, literalmente, a categorização feita.

Deste modo, a maioria dos algoritmos de detecção de incêndio, podem ser agrupados em três categorias:

1. Algoritmos de *threshold* mono-canal;
2. Algoritmos de *threshold* multi-canal;
3. Algoritmos contextuais, que comparam o potencial pixel de fogo com as propriedades térmicas do fundo da cena.

Note-se que, neste contexto, os algoritmos mono e multicanal, possuem valores limiares fixos, ao passo que os algoritmos contextuais possuem limiares variáveis. De seguida, apresentam-se as características gerais de cada um dos tipos de algoritmos referidos anteriormente.

Algoritmos de *threshold* mono-canal

Os algoritmos de *threshold* mono-canal baseiam-se, tipicamente, num canal no infravermelho médio. De acordo com a função de Planck e emissão de energia por radiação térmica atinge um valor máximo para temperaturas típicas que vão desde 500 a 1000 K.

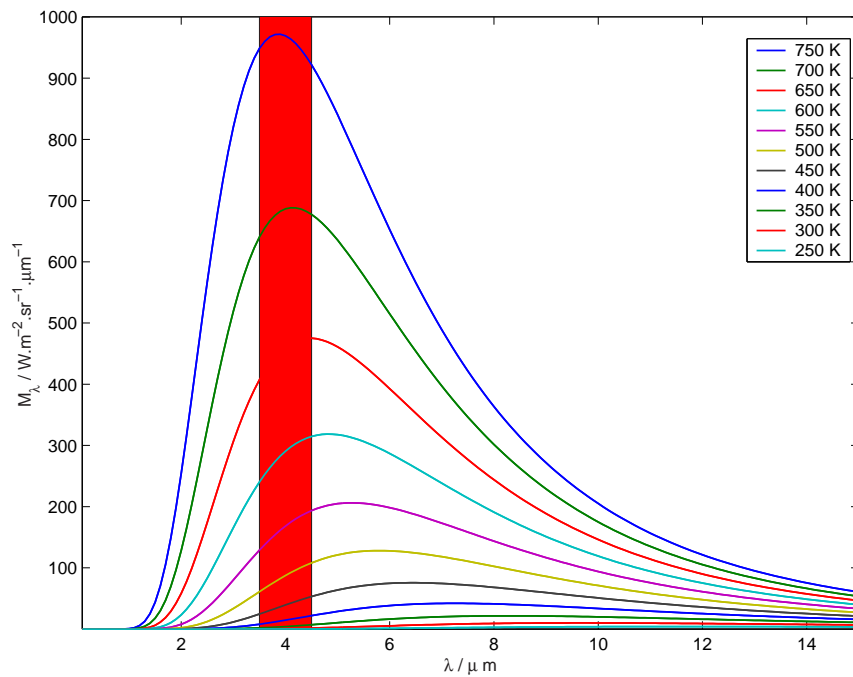


Figura 4.2: Funções de Planck e a banda onde são observados os máximos, para temperaturas elevadas.

Acontece, porém, que certos canais dos sensores a bordo dos satélites podem saturar para temperaturas de brilho inferiores à temperatura atingida pelo foco de incêndio. No caso do sensor AVHRR, essa temperatura de brilho localiza-se entre 320 e 331 K, no canal 3 (centrado em torno dos $3,75 \mu\text{m}$, ao passo que, no sensor SEVIRI, a bordo do MSG-1, o canal 4, centrado em $3,9 \mu\text{m}$, satura para uma temperatura de brilho de cerca de 336 K.

Assim, pode referir-se que a utilização destes comprimentos de onda disponibilizados nos diferentes radiómetros se reveste de extrema utilidade para a detecção de focos de incêndio activos, em especial para a região de Portugal, em virtude do seu clima ameno (quando comparado com as regiões de África, por exemplo).

Não obstante, uma ligeira contrariedade surge na monitorização de incêndios ao longo do dia, na medida em que há que ter em conta a reflectividade imposta quer por nuvens

quer por superfícies lisas e brilhantes. Por outro lado, deve dar-se especial atenção ao valor de *threshold* escolhido, na medida em que este pode variar de acordo com o tipo de cobertura do solo.

Algoritmos de *threshold* multi-canal

De forma a ultrapassar algumas limitações inerentes aos algoritmos mono-canal, foram desenvolvidos os algoritmos multi-canal. Basicamente, a grande maioria destes algoritmos consiste em três etapas:

1. Utilização de um canal para identificar todos os potenciais fogos;
2. Utilização de outro canal, também no infra-vermelho médio para eliminar nuvens;
3. Usar a diferença entre as temperaturas de brilho registadas nos dois canais para isolar os fogos do fundo quente da imagem.

Note-se que, apesar destes algoritmos permitirem uma distinção mais rigorosa entre situações de fogo e não-fogo, não contemplam ainda a possibilidade de distinguir a presença de superfícies altamente reflectoras. Apesar disso, estes algoritmos têm sido usados para aplicações regionais ou mesmo continentais com bastante êxito, em biomas como, por exemplo, a Savana do Oeste Africano e florestas boreais. É importante referir que, para além dos três testes básicos expostos anteriormente, podem ser efectuados testes adicionais, de forma a dar conta de diferentes tipos de nuvens, por exemplo.

Um exemplo deste tipo de algoritmos, ainda que contextualizado para o sensor AVHRR a bordo do NOAA-14 é relatado em Li et al. (2000), de onde se extraiu o diagrama operacional exposto na figura 4.3

Algoritmos contextuais

Os algoritmos contextuais visam expandir a capacidade dos algoritmos multi-canal anteriormente referidos e, em vez de fazerem uso de limiares fixos ao longo da região em estudo, efectuam uma abordagem mais localizada, determinando assim *thresholds* variáveis, específicos dos *pixels* em estudo. Esta tarefa envolve duas etapas: por um lado o estabelecimento dos limiares para a identificação de potenciais focos de incêndio, e, posteriormente o ajuste fino dos limiares para a confirmação efectiva da ocorrência de incêndios em torno da detecção inicial.

Deste modo, os testes efectuados na primeira etapa do algoritmo são, de certa forma, similares aos efectuados nos algoritmos multi-canal, salvaguardando alguma flexibilidade do *threshold* imposto, por forma a evitar a não-deteção de verdadeiros focos de incêndio. Já a segunda etapa engloba uma abordagem estatística, determinando-se a média e o desvio-padrão das variáveis de *threshold* a partir de *pixels* de incêndio não-potenciais envolvendo potenciais *pixels* de incêndio. Após obtenção das variáveis estatísticas, procede-se à sua utilização para a redefinição do *threshold* para a confirmação de um incêndio.

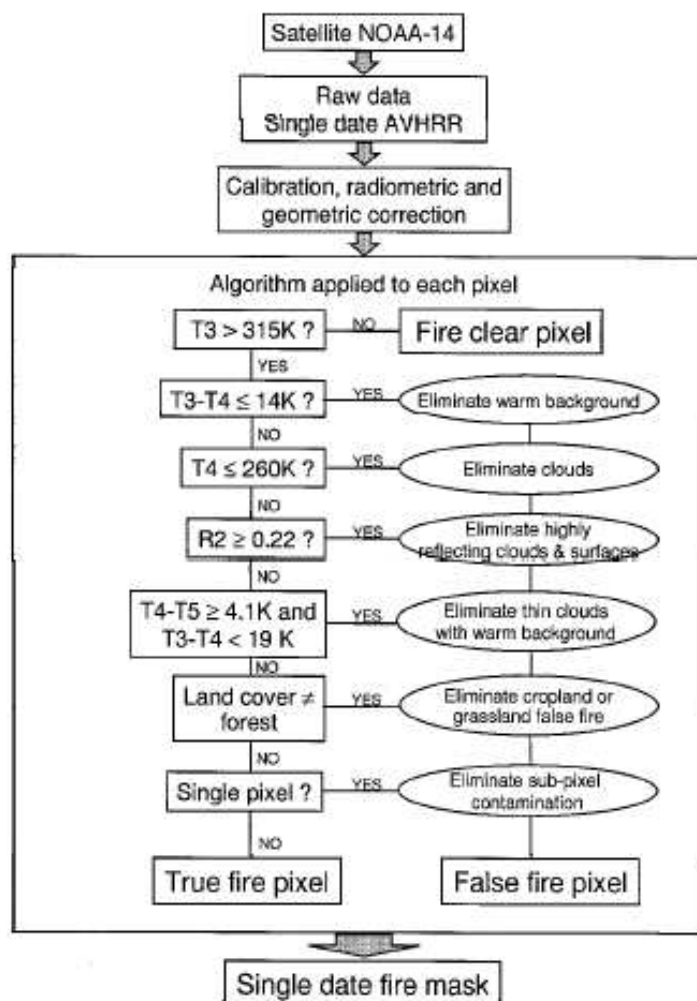


Figura 4.3: Exemplo de algoritmo de detecção multi-canal, proposto em (Li et al, 2000).

4.1.3 Os fogos florestais em Portugal

Todos os anos, os incêndios em Portugal devastam a floresta, principal recurso natural do País. Portugal tem sido, ao longo dos últimos anos, alvo de danos significativos quer em termos de áreas ardidas quer em destruição de espécies singulares devido à incidência de incêndios. O relatório provisório emitido pela Direcção Geral dos Recursos Florestais, a 28 de Agosto de 2005, compila informação que permite apreciar a evolução do número de ocorrências de fogo em Portugal, desde 1980, conforme ilustra a figura 4.4.

Como se pode verificar por análise do gráfico da figura 4.4, o número de ocorrências de incêndio tem, de um modo geral, vindo a ser cada vez mais elevado, salientando-se os anos de 1995, 1998 e 2000 como verdadeiramente calamitosos, no que concerne ao número de incêndios registados (cerca de 35000). Já no que diz respeito à área total ardida, no mesmo período temporal, o referido relatório permite o traçado do gráfico da figura 4.5

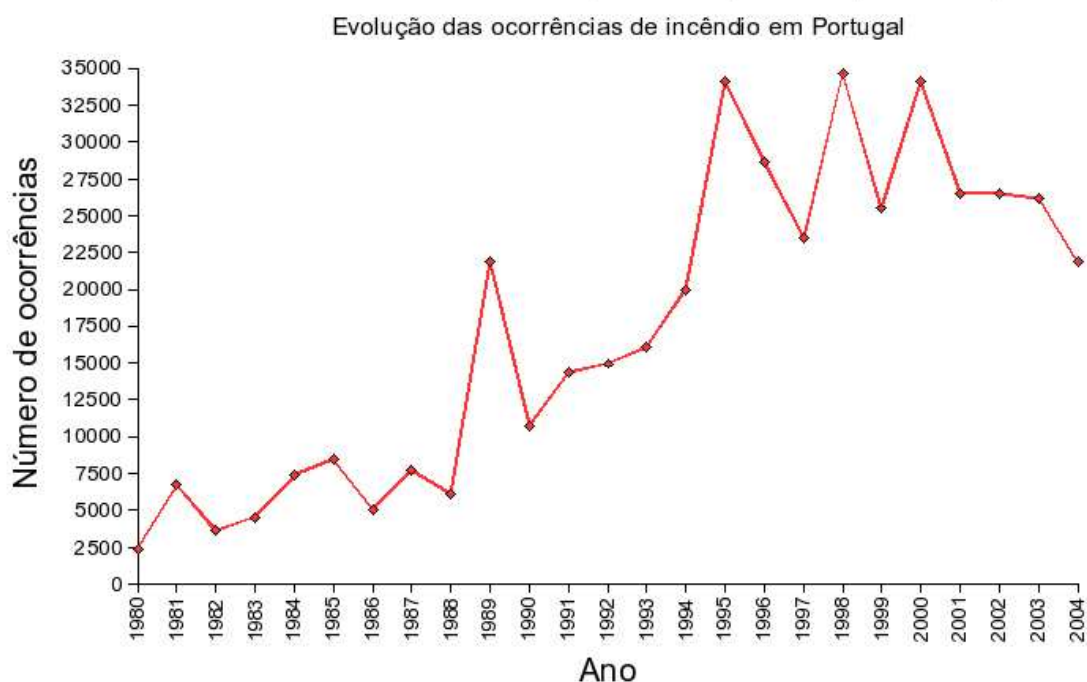


Figura 4.4: Evolução do número de ocorrência de fogos, desde 1980. Fonte: DGRF.

As espécies florestais mais afectadas pelos fogos em Portugal são o pinheiro e o eucalipto, embora também ardam grandes quantidades de mato.

Existem muitas razões normalmente apontadas para a ocorrência de incêndios e para o facto deste problema ter maior gravidade em Portugal que no resto da Europa. Apesar de intuitivamente se poder pensar no clima, há que referir que, em termos climáticos, a situação de Portugal é semelhante à de Espanha e à de outros países Mediterrânicos. Por outro lado, há sempre que considerar o problema dos combustíveis florestais, emergente da falta de ordenamento dos espaços rurais de um modo geral, aspecto estreitamente associado ao absentismo dos proprietários e ao abandono das actividades agrícolas e pecuárias, levando à criação de manchas contínuas de combustível e ao aumento da biomassa disponível para arder. Finalmente, resta expor a razão considerada por muitos fulcral para a particular incidência de fogos florestais em Portugal: o elevado número de ignições.

Assim, e segundo o Serviço Nacional de Bombeiros e Protecção Civil, 98 por cento dos incêndios florestais em Portugal têm origem humana. Destes, 25 por cento são de origem criminosa, 43 por cento acontecem por negligência e os restantes são também de origem humana mas com causa desconhecida. Refira-se ainda que, nos termos da alínea a) do número 1 do artigo 272.º do Código Penal:

"Quem provocar de incêndio de relevo, nomeadamente pondo fogo a edifício ou construção, a meio de transporte, a floresta, mata, arvoredor ou seara; e criar deste modo perigo para a vida ou para a integridade física de outrem, ou para

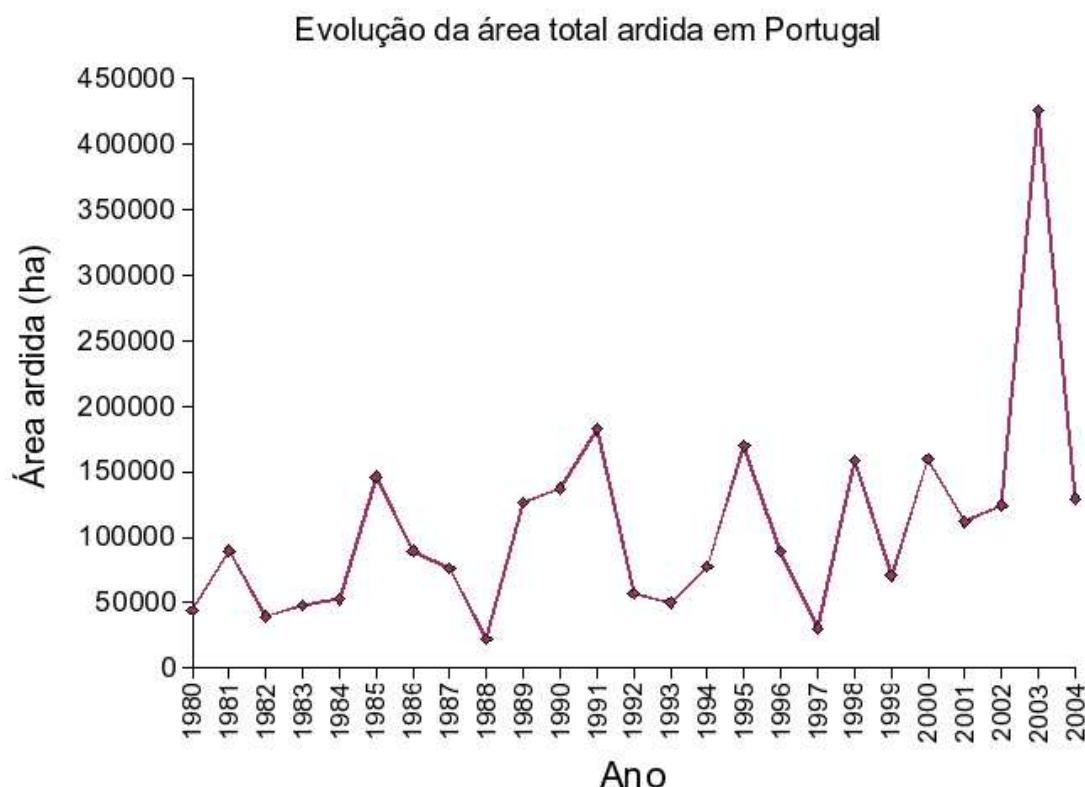


Figura 4.5: Evolução da área total ardida em Portugal, desde 1980. Fonte: DGRF.

bens patrimoniais alheios de valor elevado, é punido com pena de prisão de três a dez anos."

Mais especificamente, no que concerne aos incêndios florestais, a Lei n.º 19/86 de 19 de Julho, indica explicitamente, no seu artigo 1º, n.º 1, que

"Quem incendiar florestas, matas ou arvoredos que sejam propriedade de outrem ou que, sendo propriedade do agente, tenham valor patrimonial considerável ou possam, pela sua natureza e localização, comunicar o incêndio a florestas, mato ou arvoredo de outrem será punido com prisão de três a dez anos."

Apesar da severidade das penas previstas para os infractores, a maioria dos incêndios continua ainda a ter origem humana. Logo, pode afirmar-se que, sendo, na esmagadora maioria dos casos, o Homem o causador dos incêndios (dolosa ou negligentemente), a sua atitude deverá ser diferente, quer passando pela gestão dos combustíveis das propriedades florestais e junto às casas, quer passando pela colaboração na detecção de incêndios e de actividades de risco, quer ainda passando pela própria colaboração na extinção de pequenos focos em fase inicial.

4.2 O Algoritmo de detecção de incêndios implementado

O modelo que foi desenvolvido no âmbito desta dissertação de mestrado para a detecção de focos de calor e sua posterior localização num sistema adequado de coordenadas, tem por base um algoritmo de *threshold*, a partir do processamento das imagens do canal 4 do MSG-1, recebidas na estação de recepção MSG-1 do Departamento de Física da Universidade de Aveiro.

Deste modo, o modelo implementado implica quatro etapas básicas, a saber:

1. A aquisição de imagens de satélite;
2. A aplicação do algoritmo de detecção;
3. A conversão dos dados de saída do modelo num conjunto de coordenadas latitude/longitude;
4. A geração de um produto final, disponível via Internet, dos resultados do modelo, com todos os procedimentos de automatização inerentes, para uma operação quase em tempo real.

Note-se ainda que, em termos de performance, uma escolha criteriosa de linguagens de programação e *scripts* permitem a obtenção de novos resultados com um intervalo de tempo de cerca de vinte minutos, constituindo, portanto, um dos pontos fortes do modelo a sua elevada resolução temporal de operação.

Por forma a particularizar detalhadamente cada um dos componentes do modelo implementado, analisa-se, nas subsecções seguintes, cada uma das etapas enunciadas anteriormente.

4.2.1 Descrição do algoritmo

Conforme se referiu anteriormente, o algoritmo de detecção assenta nas capacidades do canal 4 do radiómetro SEVIRI, a bordo do satélite MSG-1. A resposta espectral deste canal do radiómetro é traçada graficamente na figura 4.6.

Deste modo, e de acordo com a resposta espectral do canal 4, centrado no comprimento de onda de $3,9 \mu\text{m}$, podem traçar-se as curvas da função de Planck, para várias temperaturas, inserindo os limiares da resposta do sensor para o comprimento de onda em questão, conforme se faz na figura 4.7.

Assim, a partir do gráfico da figura 4.7 pode afirmar-se que alvos com temperaturas na gama das atingidas em incêndios florestais (670 a 970 K) possuem uma emissividade máxima na banda de comprimento de onda do canal 4 do SEVIRI, resultando na maior concentração de energia nesse canal. Deste modo, e conforme já se referiu, os sinais térmicos originados pelos incêndios são substancialmente mais fortes no canal 4 deste radiómetro do que em canais adjacentes (o canal 3 e 5, por exemplo), tornando evidente a visualização e posterior localização de pontos quentes, isto é, pixels da imagem cuja temperatura de brilho satura a resposta espectral do sensor, visualizados a negro, sobre uma imagem adquirida.

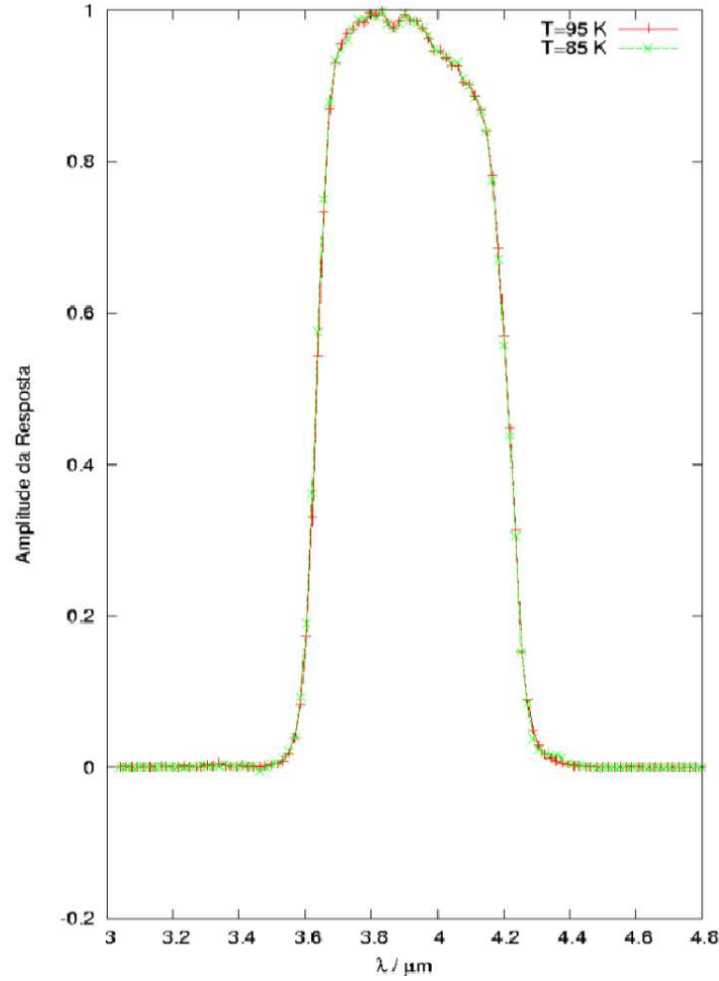


Figura 4.6: Resposta espectral do canal 4 do SEVIRI, para as temperaturas de calibração de 95 K e de 85 K. Fonte dos dados: EUMETSAT.

A questão seguinte inerente ao algoritmo implementado é a seguinte: dever-se-ão converter os valores de radiância medidos pelo sensor em temperaturas de brilho e localizar focos de incêndio de acordo com a temperatura de brilho detectada, ou, ao invés, dever-se-á fazer uso exclusivo dos níveis radiométricos (isto é, escalas de cinza) medidos directamente pelo sensor? Antes de se dar uma resposta definitiva a esta pergunta, atente-se que, a fim de realizar a conversão pretendida, há que converter os níveis radiométricos medidos pelo sensor em radiâncias e, posteriormente, converter essas radiâncias para temperaturas de brilho. De um modo genérico, essa operação pode ser feita tendo em conta que a relação entre o valor binário do pixel e a radiância se estabelece, para cada canal, através de:

$$R = CAL_{offset} + CAL_{slope} \times Contagem \quad (4.1)$$

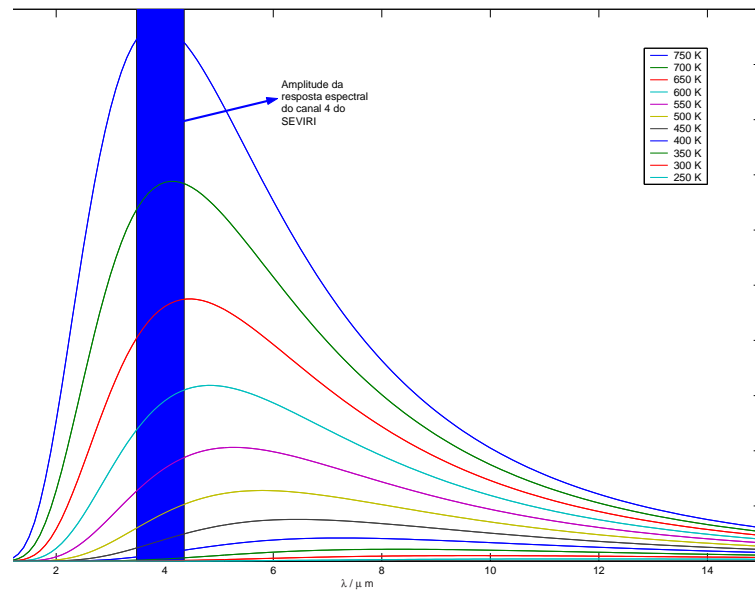


Figura 4.7: Curvas da função de Planck para várias temperaturas e respectiva resposta do canal 4 do SEVIRI.

Na equação (4.1) escrita anteriormente, R representa a radiância espectral, medida em $\text{mWm}^{-2}\text{sr}^{-1}(\text{cm}^{-1})^{-1}$. Por outro lado, CAL_{offset} não é mais do que uma constante de equivalência entre o nível radiométrico do pixel e a radiância física extraída a partir de calibração do sensor a bordo do satélite e CAL_{slope} representa o coeficiente linear de calibração, também extraído a partir da calibração do sensor a bordo do satélite. Finalmente, $Contagem$ representa o valor binário do pixel.

No que diz respeito à conversão da radiância medida para temperatura de brilho, a seguinte equação, estabelecida pela METEOSAT, ilustra o processo de conversão:

$$T_b = \frac{C_2 \nu_c}{\log \left(\frac{C_1 \nu_c^3}{R} + 1 \right)} - B/A \quad (4.2)$$

Na equação (4.2) escrita anteriormente, C_1 e C_2 são constantes ¹, ν_c designa o número de onda do canal utilizado (no caso do canal utilizado, $\nu_c = 2569,094 \text{ cm}^{-1}$) e A e B são coeficientes de ajuste, cujo valor é, respectivamente, 0,9959 e 3,471 K.

As equações (4.1) e (4.2) especificam o conjunto de cálculos necessários para a obtenção da temperatura de brilho a partir do nível radiométrico do pixel. Para além disso, os coeficientes CAL_{offset} e CAL_{slope} são diariamente transmitidos pelo satélite. Note-se, todavia, que existe uma proporcionalidade entre o nível radiométrico e a temperatura de brilho, razão pela qual não parece ser estritamente necessário, para o propósito da detecção de incêndios, a conversão entre níveis radiométricos e temperatura de brilho. Para além disso, refira-se ainda o facto de o uso de níveis radiométricos ser favorecido

¹ $C_1 = 1,19104 \times 10^{-5} \text{ mW m}^{-2} \text{ sr}^{-1}(\text{cm}^{-1})^{-4}$ e $C_2 = 1,43877 \text{ K}(\text{cm}^{-1})^{-1}$

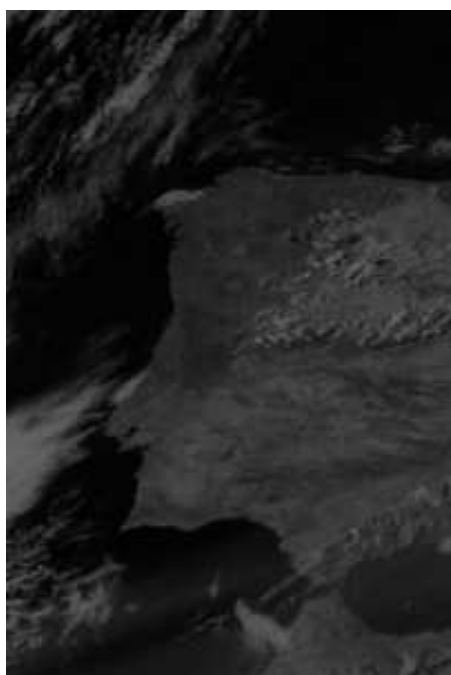


Figura 4.8: Imagem do canal 3 do SEVIRI, onde não é possível visualizar focos de incêndio

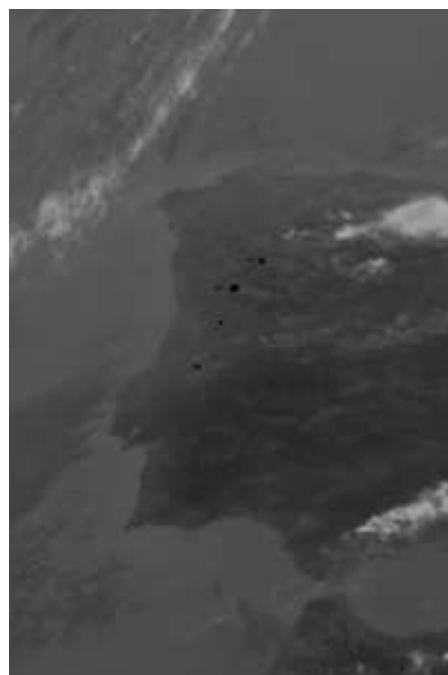


Figura 4.9: Imagem do canal 4 do SEVIRI, evidenciando claramente focos de incêndio.

para a detecção de alvos quentes em detrimento das temperaturas de brilho, na medida em que os níveis radiométricos de alvos quentes possuem valores com cerca de uma ordem de grandeza inferior aos pixels que os rodeiam. Deste modo, acredita-se que um algoritmo de selecção de alvos quentes baseado apenas nos níveis radiométricos é mais eficaz, na medida em que as diferenças entre os valores medidos são maiores. Assim, pode observar-se o gráfico de distribuição de níveis radiométricos ao longo de uma linha, para se apreciar o comportamento do sinal na presença de fogo, conforme se ilustra na figura 4.10.

Deste modo, o algoritmo de detecção de alvos quentes identifica os *pixels* da imagem com um nível radiométrico inferior a um determinado *threshold*, cuja adopção foi estabelecida de modo empírico.

Esclarecidas que estão as questões inerentes à base física do algoritmo, resta tecer algumas considerações sobre a implementação do algoritmo. Assim, a base computacional reside num computador pessoal, de arquitectura PC, dotado do sistema operativo LINUX e um compilador FORTRAN/90. A razão pela qual se adoptou esta linguagem de programação prende-se apenas com o aumento da *performance* na execução do programa. Deste modo, o bloco de código respeitante ao algoritmo de detecção de focos de incêndio reproduz-se de seguida:

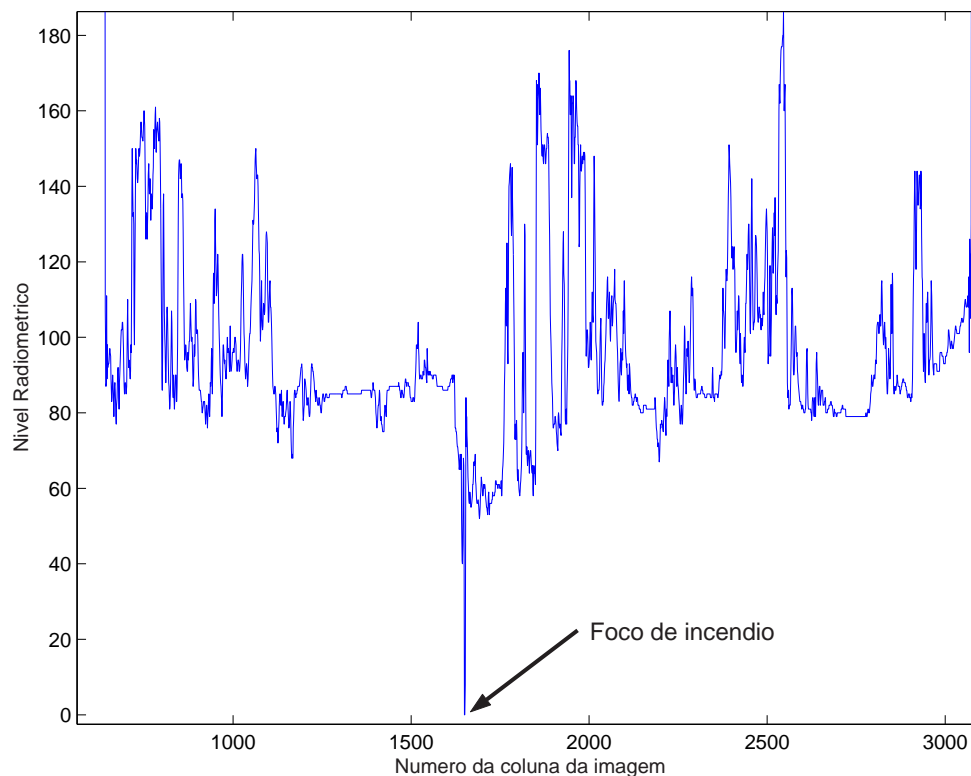


Figura 4.10: Comportamento dos níveis radiométricos medidos em função da coluna da imagem, para uma linha onde foi detectado um foco de incêndio.

```

C      NUMERO DE PIXELS COM LIMIARES ACIMA DO VALOR ESTABELECIDO
C      PROCURAR APENAS PARA O SECTOR DE PORTUGAL
DO I=1550,1750
DO J=400,700

    ITES = INEW(I,J)
    IF( ITES.LE. ITHRESHOLD ) THEN
        PRINT*, ' PTO ABAIXO LIMIAR EM :',I,',',J, ' VALOR:',ITES

    IF(INEW(I,J).LE. ITHRESHOLD) THEN
        PRINT*, ' SOMANDO..'
        IPIX = IPIX + 1
        ILIM(1,IPIX) = I
        ILIM(2,IPIX) = J
        ILIM(3,IPIX) = INEW(I,J)
    ENDIF
END DO
END DO

```

```
IREC = 1
WRITE(32,REC=IREC) IND
```

Após execução deste bloco do programa possui-se uma matriz com os valores de linha, coluna e resultado da avaliação do pixel, sujeito à condição imposta no programa. Posteriormente, o que se pretende é a conversão dos valores de linha e coluna onde se detectou o alvo quente para coordenadas geográficas (latitude e longitude). Para alcançar esse objectivo, houve a necessidade de fazer uso de uma rotina de navegação, conforme explanado na subsecção seguinte.

4.2.2 Rotina de Navegação

Conforme se referiu anteriormente, cada pixel da imagem obtida é caracterizado pelo par de coordenadas (número de coluna, número de linha). A intenção da utilização de uma rotina de navegação é a de transformar as coordenadas da imagem em coordenadas geográficas, para localização dos focos de incêndio activos.

Note-se, todavia, que a determinação das coordenadas geográficas a partir das coordenadas de imagem subentende as etapas especificadas na figura 4.11.

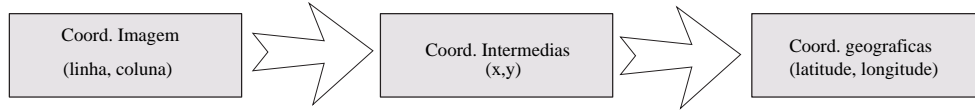


Figura 4.11: Relação entre coordenadas da imagem e coordenadas geográficas.

Deste modo, e recorrendo a (CGMS,1999), a relação linear entre as coordenadas intermédias (x, y) e as coordenadas da imagem (l, c) é estabelecida pela função:

$$\begin{cases} x = \frac{(c-COFF)}{NINT(CFAC)} \times 2 \times 10^{-16} \\ y = \frac{(l-LOFF)}{NINT(LFAC)} \times 2 \times 10^{-16} \end{cases} \quad (4.3)$$

Assim, pode dizer-se que as equações em (4.3) definem o ângulo de visão do satélite. Ainda na equação (4.3), a operação $NINT$ designa o inteiro mais próximo do argumento e $COFF$, $CFAC$, $LOFF$ e $LFAC$ são coeficientes de ajuste (inteiros) disponibilizados nos dados brutos transmitidos pelo satélite. A latitude e longitude podem ser obtidas a partir das coordenadas intermédias (x, y) a partir da equação:

$$\begin{bmatrix} lon \\ lat \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \arctan\left(\frac{s_2}{s_1}\right) + sub_{lon} \\ \arctan\left(1, 006803 \times \frac{s_3}{s_{xy}}\right) \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

Na equação (4.4) escrita anteriormente, as variáveis s_1 , s_2 , s_3 , s_{xy} , s_n e s_d são definidas de seguida, assumindo que a variável sub_{lon} representa a longitude do ponto subsatélite:

$$s_1 = 42164 - s_n \times \cos(x) \times \cos(y) \quad (4.5)$$

$$s_2 = s_n \times \sin(x) \times \cos(y) \quad (4.6)$$

$$s_3 = -s_n \times \sin(y) \quad (4.7)$$

$$s_{xy} = \sqrt{s_1^2 + s_2^2} \quad (4.8)$$

$$s_n = \frac{42164 \times \cos(x) \times \cos(y) - s_d}{\cos^2(y) + 1,006803 \times \sin^2(y)} \quad (4.9)$$

$$s_d = \sqrt{(42164 \times \cos(x) \times \cos(y))^2 - (\cos^2(y) + 1,00683 \times \sin^2(y)) \times 1737121856} \quad (4.10)$$

Tendo em conta as equações anteriores, adaptou-se o programa de navegação disponibilizado pela EUMETSAT e exibido integralmente no Apêndice A, por forma a determinar a localização geográfica dos focos de incêndio detectados. A alteração efectuada prende-se com a transformação do programa de navegação numa rotina, sendo assim possível incluí-la directamente no programa desenvolvido. Assim, a localização geográfica das coordenadas (linha,coluna) dos focos detectados são obtidas de uma forma expedita, bastando contemplar as linhas de código:

```
call navi(3713-i,3713-j,latitude, longitude)
      PRINT*, ' COORDENADA DO PTO : ', LATITUDE, LONGITUDE
```

4.2.3 Procedimento de automatização

Até esta etapa, o modelo implementado devolve, como resultado de saída, um ficheiro onde constam, conforme ilustra a figura 4.12:

- Coordenadas (linha,coluna) da localização do foco de incêndio activo;
- Coordenadas geográficas (latitude,longitude) do foco de incêndio activo;
- Nível radiométrico dos *pixels* detectados.

TOTAL DE PIXELS COM VALORES ABAIXO DO LIMAR (9) :					7
COLUNA	LINHA	LATITUDE	LONGITUDE	COUNT :	
1634	560	39.925	-8.153	8.000	
1650	524	41.414	-7.754	7.000	
1650	525	41.371	-7.748	0.000	
1651	524	41.413	-7.716	4.000	
1651	525	41.371	-7.710	0.000	
1652	525	41.370	-7.672	8.000	
1664	513	41.873	-7.281	0.000	

Figura 4.12: Um exemplo do *output* do programa de detecção de incêndios.

Deste modo, o passo seguinte implica a automatização das tarefas inerentes à execução do programa de computador. Este conjunto de procedimentos tem como objectivo a completa automatização do sistema, não sendo necessária a intervenção humana. Logo, o sistema pode ser deixado em execução contínua, tornando-se assim num precioso auxiliar à detecção e monitorização de focos de incêndio activos. As tarefas inerentes à automatização do processo de detecção fizeram recurso a um terceiro computador, sendo que o esquema de operacionalização se ilustra na figura 4.13.

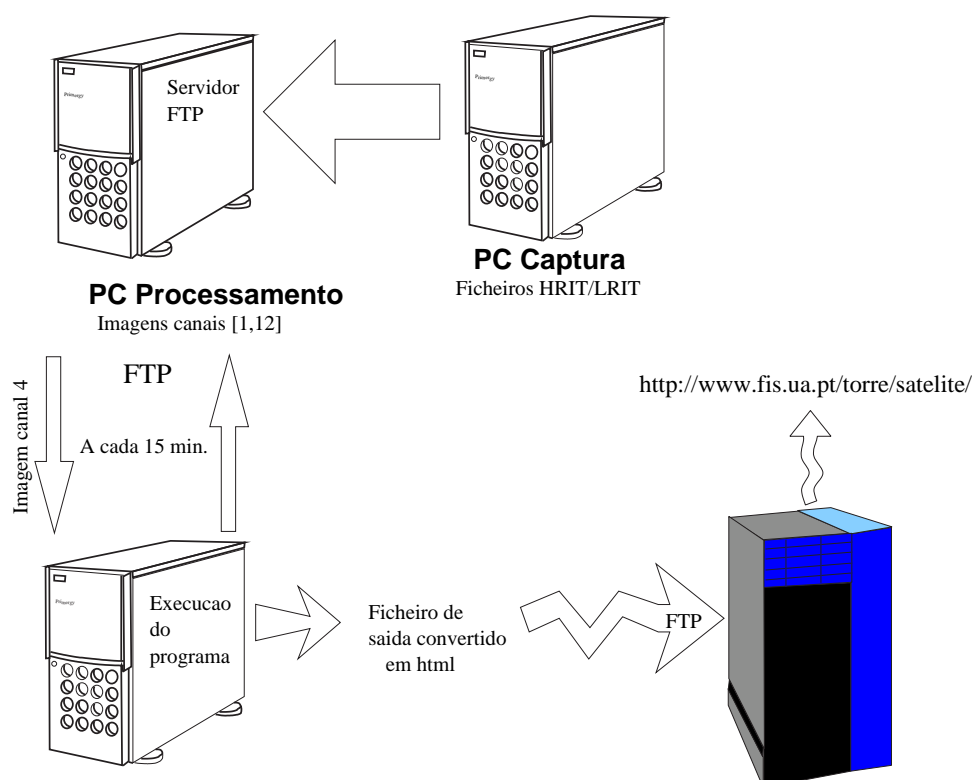


Figura 4.13: Diagrama elucidativo das tarefas de automatização.

Por forma a deixar claro o significado do diagrama da figura 4.13, atente-se numa descrição mais detalhada dos procedimentos inerentes à automatização do sistema de detecção de incêndios. Assim, o computador que aloja o código fonte obtém, via FTP, a última imagem processada do canal 4 do SEVIRI. Esta imagem é, de seguida, transformada, tornando-se assim o ficheiro de entrada para a execução do programa de detecção de incêndios. A saída do programa é convertida no formato html, para fácil publicação na Internet. Note-se que este procedimento é repetido a cada 15 minutos, de forma a dar conta da recepção de novas imagens. Deste modo, a página web referida no esquema é actualizada a cada 15 minutos, com os dados do processamento da última imagem recebida.

A automatização das tarefas esquematizadas na figura 4.13 foi levada a cabo recorrendo a vários *scripts* (*csk*) que dão conta das tarefas que se pretendem efectuar sem intervenção humana.

4.3 Metodologia

Com o intuito de verificar a robustez e a fiabilidade do algoritmo, foram escolhidos, com base no Relatório Provisório de 30 de Agosto de 2005 da Divisão de Defesa da Floresta contra Incêndios da Direcção Geral de Recursos Florestais, várias ocorrências de incêndio. Tendo em conta os resultados expostos no referido relatório, torna-se possível localizar os incêndios detectados em termos do distrito de início, concelho de início e freguesia de início da ocorrência, bem como a data de início da mesma. Considerando que não foi possível obter com exactidão as coordenadas geográficas dos locais de ocorrência de incêndio, a informação do relatório supra-citado torna-se na única forma possível de avaliar e validar os resultados do modelo de detecção, uma vez que a detecção de focos de incêndio, e posterior alerta é feito, segundo o Serviço Nacional de Bombeiros e Protecção Civil via telefónica, não se apurando, na sua detecção, a localização exacta do foco de origem do incêndio. Esta avaliação é, todavia, feita *a posteriori*, quando se procede a uma investigação das origens do incêndio, existindo suspeitas de dolo na sua origem.

Deste modo, e tendo em conta a elevadíssima resolução temporal do satélite MSG-1, foi possível acompanhar o desenvolvimento dos incêndios, desde o início da sua detecção até à sua extinção. Não se pretende, nesta dissertação, cobrir todos os focos de incêndio detectados e mencionados no relatório da DGRF. Antes, porém, pretende-se fazer uso das informações captadas e do modelo desenvolvido para verificar a sua fiabilidade. Note-se, todavia, que não é possível apresentar um resultado profundo, relativo à análise de resultados, já que, conforme se referiu anteriormente, não se teve conhecimento da existência de bases de dados com as informações das coordenadas geográficas dos locais de início e fim dos incêndios ocorridos, bem como a hora de detecção dos focos de incêndio e hora da sua extinção.

Quanto aos incêndios seleccionados, teve-se o cuidado de escolher ocorrências de várias dimensões, por forma a explorar as capacidades do algoritmo de detecção, bem como uma vasta cobertura regional (no que diz respeito aos distritos de ocorrência) e temporal (no que concerne ao período de ocorrência).

Finalmente, fez-se uso de um serviço da Internet² para localizar no mapa de Portugal os focos detectados, e assim obter uma validação do resultado do modelo.

4.4 Apresentação e discussão dos resultados obtidos

A primeira imagem de satélite que permitiu a observação de incêndios foi recebida a 8 de Julho de 2005. Por essa razão, é utilizada uma imagem desse dia 4.14, que evidencia o incêndio que ocorreu no concelho de Albergaria-a-Velha e cujo início foi reportado, no relatório da DGRF, a 8 de Julho de 2005. Neste incêndio, cuja causa é apontada pela DGRF como incendiarismo, verificou-se um total de 1447 ha de área ardida. Na mesma imagem, é ainda possível observar um alvo quente correspondente a um incêndio ocorrido no distrito do Porto. Segundo os dados do relatório da DGRF, este segundo foco detectado poderá corresponder ao incêndio que deflagrou em Valongo, no dia 7 de Julho.



Figura 4.14: Imagem do canal 4 do SEVIRI, obtida às 3:45 do dia 8 de Julho de 2005.

Tendo-se submetido a imagem exposta na figura 4.14 ao programa de detecção de focos de calor, o ficheiro de saída do modelo de detecção forneceu os resultados que se expõem de seguida:

²Disponível em <http://www.mapquest.co.uk>.

TOTAL DE PIXELS COM VALORES ABAIXO DO LIMIAR (9) : 3

COLUNA	LINHA	LATITUDE	LONGITUDE	COUNT :
1628	542	40.674	-8.482	0.000
1629	542	40.673	-8.444	0.000
1631	531	41.132	-8.435	7.000

O mapeamento dos valores de coordenadas obtidas pelo modelo de detecção permite apreciar a localização dos focos detectados, conforme se ilustra nas figuras 4.15 e 4.16.



Figura 4.15: Localização geográfica do foco de Incêndio com coordenadas de latitude 40,674 N, 8,482 W



Figura 4.16: Localização geográfica do foco de Incêndio com coordenadas de latitude 41,132 N, -8,435 W

No dia 10 de Julho, a imagem de satélite obtida às 18:45 permitiu a observação dos focos de incêndio ilustrados na figura 4.17.

Para a imagem em questão (4.17), o modelo de detecção de incêndios forneceu, como resultado:

TOTAL DE PIXELS COM VALORES ABAIXO DO LIMIAR (9) : 1

COLUNA	LINHA	LATITUDE	LONGITUDE	COUNT :
1633	551	40.296	-8.241	10.000

Finalmente, no que concerne à localização geográfica do foco detectado, a figura 4.18 permite confirmar a localização do incêndio reportado no relatório da DGRF como tendo acontecido no distrito de Coimbra, Concelho de Penacova (concelho de início), freguesia de Carvalho (freguesia de início), tendo ardido uma área total de 909 ha.



Figura 4.17: Imagem do canal 4 do SEVIRI, obtida às 18:45 do dia 8 de Julho de 2005.



Figura 4.18: Localização geográfica do foco de Incêndio com coordenadas de latitude 40,296 N, 8,241 W

Ainda no mesmo dia 10 de Julho, foi possível detectar, na imagem das 23:00, um alvo quente correspondente ao incêndio que teve início na freguesia de Paços da Serra, concelho de Gouveia, distrito da Guarda, conforme a figura 4.19 expõe.

O resultado de saída do modelo de detecção de alvos quentes permitiu a identificação de focos de incêndio nas coordenadas:



Figura 4.19: Imagem do canal 4 do SEVIRI, obtida às 23:00 do dia 10 de Julho de 2005.

TOTAL DE PIXELS COM VALORES ABAIXO DO LIMIAR (9) : 2

COLUNA	LINHA	LATITUDE	LONGITUDE	COUNT :
1649	547	40.451	-7.664	0.000
1650	547	40.450	-7.627	0.000

Para validação da saída do modelo, a figura 4.20 evidencia a localização dos alvos quentes detectados pelo modelo.



Figura 4.20: Imagem do canal 4 do SEVIRI, obtida às 23:00 do dia 10 de Julho de 2005.

Prosseguindo com a apresentação de resultados, refira-se a situação do dia 19 de Julho de 2005. O relatório da DGRF indica, para o dia em questão, a ocorrência de nove ocorrências de incêndio, distribuídas pelos distritos de Beja, Braga, Évora, Faro, Guarda, Leiria, Lisboa e Viseu. De entre as imagens recebidas nesse dia, exhibe-se a obtida às 15:00, conforme apresentado na figura 4.21, revelando o panorama da situação dos incêndios em Portugal.

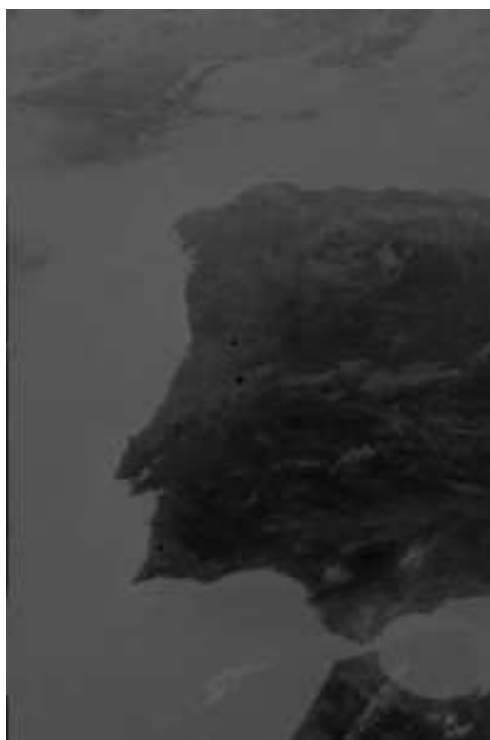


Figura 4.21: Imagem do canal 4 do SEVIRI, obtida às 15:00 do dia 19 de Julho de 2005.

Ainda que por apreciação da imagem de satélite exibida na 4.21 se consiga discernir da existência de alvos quentes nas zonas da Beira Alta, Trás-os-Montes e Algarve, os resultados obtidos pelo modelo de detecção torna mais evidente essa percepção. Assim, a saída do modelo, após processamento da imagem da figura 4.21, é a que se expõe de seguida:

TOTAL DE PIXELS COM VALORES ABAIXO DO LIMIAR (9) : 10

COLUNA	LINHA	LATITUDE	LONGITUDE	COUNT :
1630	624	37.377	-7.972	7.000
1642	536	40.914	-7.989	0.000
1643	536	40.913	-7.951	7.000
1644	551	40.288	-7.830	0.000

1645	550	40.329	-7.798	9.000
1645	551	40.288	-7.792	0.000
1645	552	40.247	-7.787	5.000
1646	551	40.287	-7.755	9.000
1683	592	38.604	-6.207	8.000
1696	624	37.342	-5.628	8.000

Por forma a dar conta dos resultados da detecção de alguns dos focos identificados pelo modelo, localizam-se de seguida, nas figuras 4.22 e 4.23 alguns dos focos com avaliação 0 do modelo. Note-se, todavia, que dado o *threshold* imposto, nem todos os focos de incêndio que se podem visualizar na figura 4.21 foram explicitamente identificados.

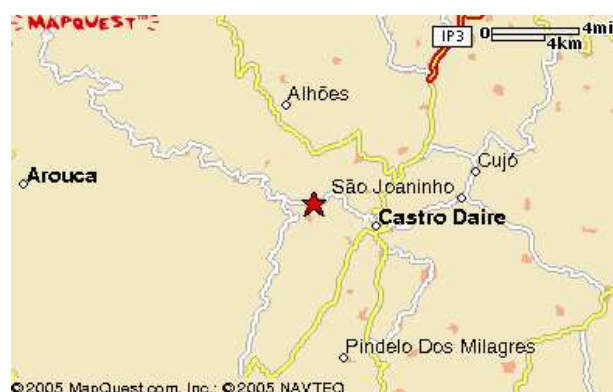


Figura 4.22: Localização geográfica do foco de Incêndio com coordenadas de latitude 40,914 N, 7,989 W



Figura 4.23: Localização geográfica do foco de Incêndio com coordenadas de latitude 40,288 N, 7,830 W

No que diz respeito aos incêndios cujos focos foram localizados nas figuras 4.22 e 4.23, pode referir-se que o incêndio localizado na figura 4.23 teve início no distrito da Guarda, concelho de Seia, freguesia de Louriga, tendo posteriormente afectado os concelhos da Covilhã e do Fundão, no distrito de Castelo Branco, bem como os concelhos de Arganil, Oliveira do Hospital e Pampilhosa da Serra, no distrito de Coimbra. A causa apontada para este incêndio, cuja área total ardida foi determinada em 15837 ha, é apontada pela DGRF cmomo vandalismo. Já no que concerne ao incêndio detectado e localizado na figura 4.22, este teve início no distrito de Viseu, concelho de Castro Daire, freguesia de Pinheiro, tendo sido consumida pelas chamas uma área total de 206 ha, sendo que as causas do incêndio estão ainda em investigação.

Avançando temporalmente, a figura 4.24 exhibe a imagem obtida no dia 21 de Julho às 13:45 dá conta de uma linha de alvos quentes sobre a região da Serra da Estrela, bem como um foco algures sobre o distrito de Leiria. Apesar de este estudo recair sobretudo no território português, não pode deixar de se referir a detecção de alvos quentes em Espanha, conforme evidenciado pela imagem.

Para a imagem da figura 4.24, o modelo de detecção identifica uma série de *pixels* com um nível radiométrico inferior ao *threshold* imposto, conforme se verifica em seguida:

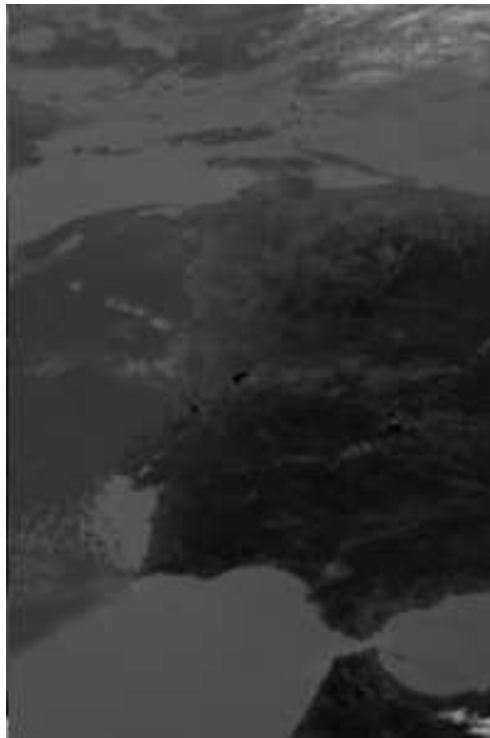


Figura 4.24: Imagem do canal 4 do SEVIRI, obtida às 13:45 do dia 19 de Julho de 2005.

TOTAL DE PIXELS COM VALORES ABAIXO DO LIMIAR (9) : 29

COLUMNA	LINHA	LATITUDE	LONGITUDE	COUNT :
1626	564	39.767	-8.428	7.000
1626	565	39.727	-8.422	2.000
1627	565	39.726	-8.385	2.000
1643	552	40.248	-7.862	0.000
1643	553	40.207	-7.856	0.000
1644	552	40.247	-7.824	0.000
1644	553	40.206	-7.819	0.000
1645	551	40.288	-7.792	4.000
1646	551	40.287	-7.755	2.000
1693	680	35.220	-5.559	4.000
1693	681	35.182	-5.556	9.000
1694	680	35.219	-5.524	0.000
1705	573	39.354	-5.480	7.000
1706	567	39.597	-5.465	0.000
1706	572	39.394	-5.447	0.000

1706	573	39.354	-5.443	0.000
1706	575	39.273	-5.436	8.000
1707	567	39.597	-5.428	5.000
1707	572	39.394	-5.410	2.000
1707	573	39.353	-5.407	3.000
1708	572	39.393	-5.374	5.000
1708	573	39.353	-5.370	7.000
1708	574	39.313	-5.367	7.000
1709	571	39.433	-5.341	8.000
1709	572	39.393	-5.337	0.000
1709	573	39.353	-5.334	0.000
1709	574	39.312	-5.330	0.000
1710	572	39.393	-5.301	7.000
1710	573	39.352	-5.297	2.000

Ainda que não se localizem todos os eventos constantes do *output* do modelo de detecção, salienta-se, em particular, o foco detectado no distrito de Leiria, visível na figura 4.24, cujas coordenadas são 39,767 N, 8,428 W e localizado no mapa de Portugal de acordo com a figura 4.25



Figura 4.25: Localização do alvo quente detectado nas coordenadas 39,767 N, 8,428 W.

Quanto à verificação deste resultado, pode dizer-se que o relatório da DGRF menciona a ocorrência de um incêndio no distrito de Leiria, para o dia em questão, tendo-se verificado o seu início no concelho de Pombal, freguesia de Redinha. No que diz respeito às causas do incêndio, encontra-se ainda em fase de investigação o motivo que levou à combustão de 345 ha de área total pelas chamas.

O distrito de Bragança é também apontado pelo relatório da DGRF como um dos mais fustigados pelas chamas, no decurso do Verão de 2005. Apenas por exemplo, considere-se a figura 4.26, que ilustra a imagem obtida por satélite no dia 18 de Agosto, às 19:30.

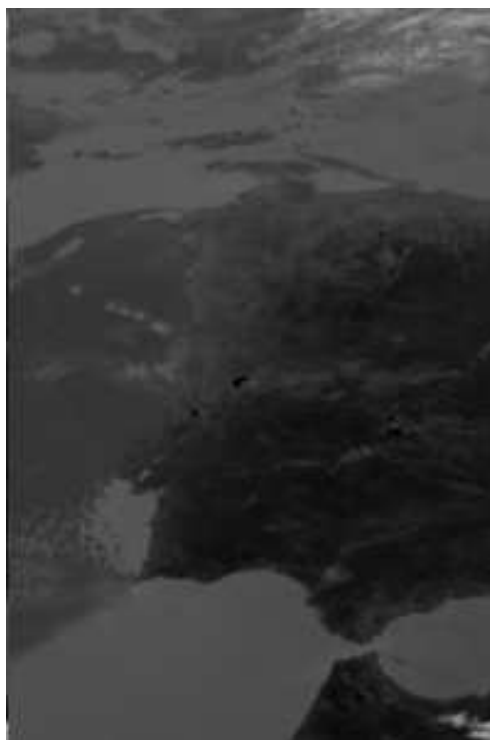


Figura 4.26: Imagem do canal 4 do SEVIRI, obtida às 19:30 do dia 18 de Agosto de 2005.

A imagem reproduzida na figura 4.26 foi propositadamente escolhida, por forma a evidenciar o foco de incêndio existente no distrito de Bragança. No que diz respeito à localização geográfica, o modelo de detecção forneceu como *output*:

TOTAL DE PIXELS COM VALORES ABAIXO DO LIMIAR (9) : 29

COLUMNA	LINHA	LATITUDE	LONGITUDE	COUNT :
1626	564	39.767	-8.428	7.000
1626	565	39.727	-8.422	2.000
1627	565	39.726	-8.385	2.000
1643	552	40.248	-7.862	0.000
1643	553	40.207	-7.856	0.000
1644	552	40.247	-7.824	0.000
1644	553	40.206	-7.819	0.000
1645	551	40.288	-7.792	4.000
1646	551	40.287	-7.755	2.000
1693	680	35.220	-5.559	4.000
1693	681	35.182	-5.556	9.000
1694	680	35.219	-5.524	0.000

1705	573	39.354	-5.480	7.000
1706	567	39.597	-5.465	0.000
1706	572	39.394	-5.447	0.000
1706	573	39.354	-5.443	0.000
1706	575	39.273	-5.436	8.000
1707	567	39.597	-5.428	5.000
1707	572	39.394	-5.410	2.000
1707	573	39.353	-5.407	3.000
1708	572	39.393	-5.374	5.000
1708	573	39.353	-5.370	7.000
1708	574	39.313	-5.367	7.000
1709	571	39.433	-5.341	8.000
1709	572	39.393	-5.337	0.000
1709	573	39.353	-5.334	0.000
1709	574	39.312	-5.330	0.000
1710	572	39.393	-5.301	7.000
1710	573	39.352	-5.297	2.000

No que toca à localização específica, no mapa de Portugal, da localização geográfica obtida com recurso ao modelo de detecção de alvos quentes, a figura 4.27 ilustra o resultado da localização do foco de incêndio detectado pelo modelo. Refira-se ainda que, segundo o relatório da DGRF, este incêndio teve incício na freguesia de Serapicos (concelho de Bragança, distrito de Bragança) e as causas que levaram à devastação de 1030 ha de área total estão ainda sob investigação.



Figura 4.27: Localização do alvo quente detectado nas coordenadas 41,492 N, 7,423 W .

Para último exemplo das capacidades de detecção do algoritmo implementado, ilustra-se o incêndio que fustigou a cidade de Coimbra. Como, até à data, o relatório da DGRF ainda não incluiu este incêndio, não é possível obter estimativas de áreas ardidas, bem

como freguesia de início. Ainda assim, ilustram-se os resultados obtidos, com a certeza de que o leitor se recordará seguramente de toda a informação veiculada pelos organismos de comunicação social. Na medida do admissível, faz-se, nas figuras seguintes, uma monitorização do incêndio, a partir das 9:00, até ao final do dia 22 de Agosto. Assim, ilustre-se, em primeiro lugar, o resultado da detecção do foco de incêndio com a imagem de 22 de Agosto às 10:00. Note-se, todavia, que o algoritmo de detecção só verificou a existência dos focos de incêndio correspondentes a este incidente com a imagem da hora referida anteriormente, muito embora o incêndio já tivesse sido detectado anteriormente, por inspecção visual das imagens de satélite obtidas.



Figura 4.28: Imagem do canal 4 do SEVIRI, obtida às 10:00 do dia 22 de Agosto de 2005.

Como já vem sendo hábito no decurso desta secção, expõe-se de seguida o resultado do modelo de detecção de alvos quentes sobre Portugal.

TOTAL DE PIXELS COM VALORES ABAIXO DO LIMIAR (9) : 2

COLUNA	LINHA	LATITUDE	LONGITUDE	COUNT :
1630	553	40.216	-8.342	0.000
1631	553	40.215	-8.304	3.000



Figura 4.29: Localização do alvo quente detectado nas coordenadas 40,216 N, 8,342 W .

De igual modo, apresenta-se na figura 4.29 a localização correspondentes às coordenadas 40,216 N, 8,342 W.

Por último, no que diz respeito a esta ocorrência, as figuras 4.30 a 4.44 dedicam-se à visualização da monitorização do incêndio.



Figura 4.30: Imagem das 9:00



Figura 4.31: Imagem das 10:00

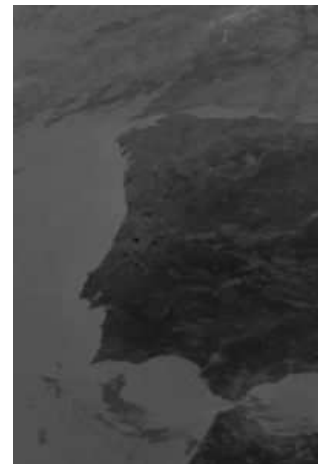


Figura 4.32: Imagem das 11:00



Figura 4.33: Imagem das 12:00

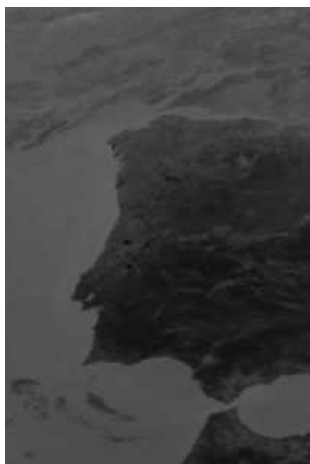


Figura 4.34: Imagem das 13:00

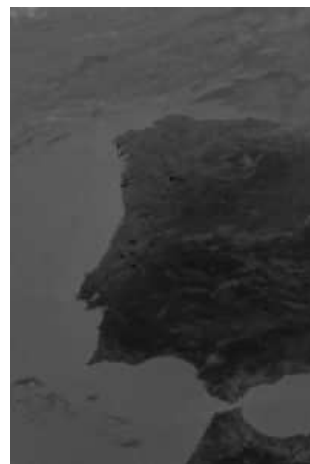


Figura 4.35: Imagem das 14:00

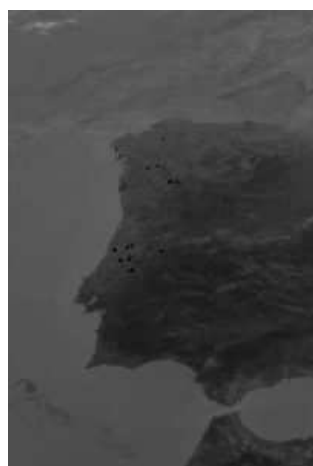


Figura 4.36: Imagem das 15:00

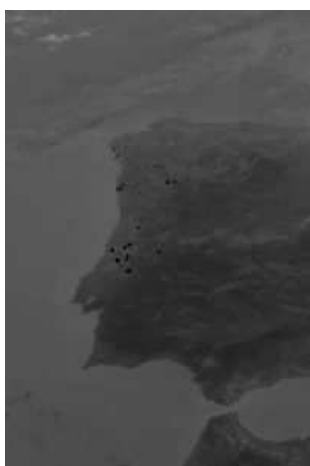


Figura 4.37: Imagem das 16:00



Figura 4.38: Imagem das 17:00



Figura 4.39: Imagem das 18:00



Figura 4.40: Imagem das 19:00



Figura 4.41: Imagem das 20:00



Figura 4.42: Imagem das 21:00



Figura 4.43: Imagem das 22:00



Figura 4.44: Imagem das 23:00

Este capítulo não poderia dar-se por completo sem se contraporem os dados observados por satélite com a verdade terrestre. Para isso, considerem-se as fotografias obtidas da cidade de Coimbra, durante uma das noites em que este incêndio assolou a cidade, conforme as figuras 4.45 e 4.46



Figura 4.45: O inferno vivido em Coimbra, na noite de 22 de Agosto



Figura 4.46: Imagem desoladora do incêndio que devastou Coimbra.

Capítulo 5

Aplicações ao Ensino

Neste capítulo explora-se a vertente educacional dos sistemas de recepção implementados, propondo assim a criação de uma rede de estações de recepção de imagens de satélite de órbita polar, bem como um conjunto de actividades que podem ser desenvolvidas ao longo da Escolaridade Básica. Assim, o capítulo inicia-se com uma primeira introdução ao assunto, referindo basicamente o estado actual das tendências no ensino das ciências. De seguida, particulariza-se a situação de Portugal face ao ensino das ciências, enfatizando o Ensino Básico como caso particular do estudo. Na secção seguinte, apresentam-se algumas considerações e reflexões sobre a organização curricular e os programas do primeiro ciclo do ensino básico, justificando, assim, a premência e a exequibilidade das actividades propostas. Mais adiante, são tecidas algumas considerações metodológicas inerentes às actividades propostas. O capítulo prossegue com uma secção dedicada à exposição das actividades propostas, onde se sugerem algumas actividades a efectuar no Ensino Básico, no âmbito de uma primeira introdução à Detecção Remota por satélite. Finalmente, apresentam-se alguns resultados preliminares, no âmbito de uma actividade levada a cabo com alunos do 4º ano de uma escola do 1º ciclo do distrito de Viseu.

5.1 Introdução

Na alvorada de um novo século é, talvez, chegada a altura de reavaliar as fundações em que o ensino das ciências se ergue, bem como o modo de pensamento que promove. Assim, tem vindo a ser reconhecida a extrema importância do facto de cada indivíduo dispor de um conjunto de saberes pertencentes ao domínio científico-tecnológico possibilitadores da compreensão dos fenómenos naturais que ocorrem no mundo quotidiano, e da tomada de decisões de modo informado, numa perspectiva de responsabilidade social partilhada. Apesar da emergência da aceitação desta posição, levantam-se inúmeras questões relativas às vias, aos modos e à extensão da sua concretização.

Em consequência do exposto anteriormente, assume-se que a educação formal em ciências assume um papel fundamental no desenvolvimento de competências que devem ser iniciadas, treinadas e exploradas desde muito cedo. Na verdade, torna-se, nos dias de hoje,

indubitável que a educação em geral e particularmente em ciências, na escola, pode ajudar as crianças a desenvolverem competências no âmbito da observação, do levantamento de questões, da experimentação, da investigação, do raciocínio sistemático e lógico, da apreciação e comunicação de resultados e do desenvolvimento de atitudes de curiosidade, cooperação, autocrítica, responsabilidade e independência de pensamento (Harlen, 1978).

Por estas razões, está já fortemente enraizada em escolas, em professores de ciências e também em investigadores a crença no trabalho experimental como veículo que permite melhorar o processo de ensino e aprendizagem, crença essa que tem levado, por parte dos governos, Universidades e escolas, a um forte investimento sobre esta temática.

Muito embora se tenham levantado inúmeras controvérsias sobre o benefício do trabalho experimental no que diz respeito à melhoria na aquisição de conceitos científicos, na sua maioria emergentes de uma concepção empirista do modo de fazer ciência, parece existir actualmente, em virtude dos inúmeros estudos sobre o trabalho experimental, um consenso em torno da sua orientação enquanto actividade investigativa.

Em particular, refira-se a teoria de Hodson (Hodson, 1994), voltada para a reconcepção do trabalho experimental de acordo com três objectivos:

- Ajudar o aluno a aprender ciência;
- Ajudar o aluno a aprender a fazer ciência;
- Ajudar o aluno a aprender sobre ciência.

Neste quadro teórico, aprender ciência significa adquirir conhecimento teórico e conceptual. Aprender a fazer ciência implica o encorajamento dos alunos para a realização de pesquisas e resolução de problemas. Finalmente, aprender sobre ciência pressupõe a compreensão da Natureza, os métodos utilizados em ciência e as suas complexas relações com a tecnologia, sociedade e ambiente.

Note-se que, de acordo com esta nova orientação do trabalho experimental, a função deste último deixa de ser apenas a mera verificação de teorias ou do objectivo megalómano de formar cientistas. Antes, porém, entende-se que o trabalho experimental deva passar a constituir uma actividade investigativa centrada no aluno com o intuito de formar cidadãos dotados de literacia científica. Neste contexto, urge esclarecer o que é entendido por literacia científica.

Deste modo, enquanto que o conceito de literacia científica tem vindo a ser aceite quase universalmente como um objectivo a alcançar, existe ainda pouco consenso no que diz respeito ao seu significado, bem como uma falta de acordo no que concerne ao significado da literacia científica em termos de provisão do currículo. Numa primeira tentativa de clarificação, Pella et al. (1966), sugeriu que o conceito de literacia científica envolvesse a compreensão dos conceitos básicos inerentes à Ciência, à Natureza da Ciência, às questões éticas inerentes ao trabalho dos cientistas, às inter-relações entre a ciência e sociedade, às inter-relações entre a ciência e as humanidades e às diferenças entre ciência e tecnologia. Volvidos vinte e três anos sobre esta primeira definição, a *American Association for the Advancement of Science*, através do *Project 2061*, nomeadamente na publicação *Science*

for All Americans, define o indivíduo dotado de literacia científica como aquele que está ciente de que a ciência, a matemática e a tecnologia são empreendimentos humanos interdependentes, com pontos fortes e limitações, que compreende os conceitos chave e os princípios da ciência, está familiarizado com o mundo natural e reconhece tanto a sua diversidade como a sua unicidade, e, finalmente, usa o conhecimento científico e os processos de raciocínio científico para propósitos individuais e sociais. (AAAS, 1989).

Nesta linha de pensamento, o Ensino Básico Português dá ênfase a três grandes objetivos gerais:

- Criar as condições para o desenvolvimento global e harmonioso da personalidade, mediante a descoberta progressiva de interesses, aptidões e capacidades que proporcionem uma formação pessoal, na sua dupla dimensão individual e social;
- Proporcionar a aquisição e domínio de saberes, instrumentos, capacidades, atitudes e valores indispensáveis a uma escolha esclarecida das vias escolares ou profissionais subsequentes;
- Desenvolver valores, atitudes e práticas que contribuam para a formação de cidadãos conscientes e participativos numa sociedade inovadora. (Currículo Nacional do Ensino Básico, 1998)

Mais ainda, é reconhecido que também as Ciências da Natureza constituem um contexto privilegiado para aprendizagens significativas noutras áreas curriculares, designadamente a Língua Portuguesa, no que concerne ao desenvolvimento da comunicação oral e escrita e a Matemática, no âmbito da compreensão dos números, das ordens de grandeza, dos processos de medição, etc. Adicionalmente, nas actividades de trabalho experimental de Ciências, as crianças são estimuladas a interagir verbalmente, descrevendo e interpretando o que observam, procuram palavras novas face à insuficiência de vocabulário para lidar com novas situações, fazem registos escritos, etc.

Neste sentido, trabalhos práticos que tenham por base o estudo de imagens de satélites de órbita polar em escolas pode permitir aprendizagens significativas, por parte dos alunos, dos processos de aquisição, armazenamento e processamento de informação do mesmo tipo que a utilizada pelos cientistas, nos seus laboratórios, para aplicações que vão muito para além da previsão do tempo.

A introdução de estações de recepção de imagens de baixa resolução de satélites de órbita polar em escolas pode, ainda, permitir a concretização de projectos de forte carácter interdisciplinar e transdisciplinar, promovendo assim a inovação educacional e a investigação metodológica assente na investigação-acção, uma das propostas para a consolidação do ensino experimental das ciências nas escolas (1º Fórum Ciência Viva, 2005).

Para além disso, a tecnologia por detrás da Detecção Remota por satélite é multicultural, multidisciplinar e tem seguramente um impacto sobre todas as áreas da Educação Básica. Por exemplo, a utilização de uma estação de recepção de imagens de baixa resolução na sala de aula ilustra a multiculturalidade que se referiu anteriormente: o estudo, por parte dos alunos, de uma imagem de satélite adquirida em tempo real, pode levá-los ao

estabelecimento de relações entre as informações disponibilizadas pela imagem e as condições meteorológicas locais, como por exemplo períodos de seca, ou, no extremo oposto, de precipitação intensa.

5.2 O ensino das ciências em Portugal

À escala global, tem vindo a ser periodicamente verificado que a Educação em Ciência não tem vindo a ser bem sucedida no seu primordial objectivo de desenvolvimento da literacia científica, pelas mais variadas razões (Osborne e Collins, 2000). Na verdade, um estudo recente elaborado por Murray e Reiss (2005), revela as críticas ao currículo tecidas por alunos do Reino Unido: os conteúdos científicos ensinados na escola não permitem a percepção da relação da ciência com o vida quotidiana; deveria ser criado algum espaço para a discussão de tópicos controversos, permitindo o seu estudo de forma mais aprofundada.

Particularizando para a realidade portuguesa, o cenário não é muito diferente do que se verifica nos demais países, isto é, os resultados são fracos, traduzindo-se, por exemplo, na continuada queda nos índices de competitividade, resultado de estudos comparativos internacionais. Assim, de 2001 a 2005, o desempenho de Portugal no WCY (*World Competitiveness Yearbook*) desceu da 32^a posição para a 45^a, num conjunto de 60 países e regiões mais desenvolvidas. Nos actuais resultados do ano de 2005, e no que concerne às infra-estruturas, importa referir que o desenvolvimento sustentado não constitui prioridade na economia portuguesa, aparecendo na 58^a posição; verifica-se uma falta de cooperação tecnológica entre empresas (56^a posição); e o ensino das ciências nas escolas não é suficientemente enfatizado, logrando Portugal uma classificação que coloca o país na 55^a posição, no que toca a este parâmetro.

Já no que diz respeito ao Relatório do Desenvolvimento Humano, publicação anual do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), refira-se o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), ferramenta que estabeleceu o ranking dos países, e que mede as realizações médias de um país em termos de esperança de vida, nível educacional e rendimento real ajustado, constituindo, deste modo, um indicador sumário de bem-estar humano. Portugal ocupa o 27^o lugar no ranking em termos de IDH, sendo que o 26^o lugar é ocupado pela Eslovénia e o 28^o é ocupado pela República da Coreia, incluindo-se, assim, nos países de alto desenvolvimento humano.

Passando a uma breve referência aos resultados do desempenho dos alunos portugueses no contexto internacional no que diz respeito à literacia científica, publicados no PISA (*Programme for International Student Assessment*), um estudo internacional sobre os conhecimentos e as competências dos alunos de 15 anos (a frequentarem a escola desde o 5^o ao 11^o ano de escolaridade) realizado em vários países industrializados, realizado em 2000 e coordenado pelos governos dos países participantes, através da Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Económico (OCDE), a figura 5.1 ilustra o desempenho médio de vários países no domínio da literacia científica.

Assim, e numa primeira análise, pode afirmar-se que os resultados médios dos alunos portugueses de 15 anos são deveras modestos, idênticos aos dos seus colegas da Letónia,

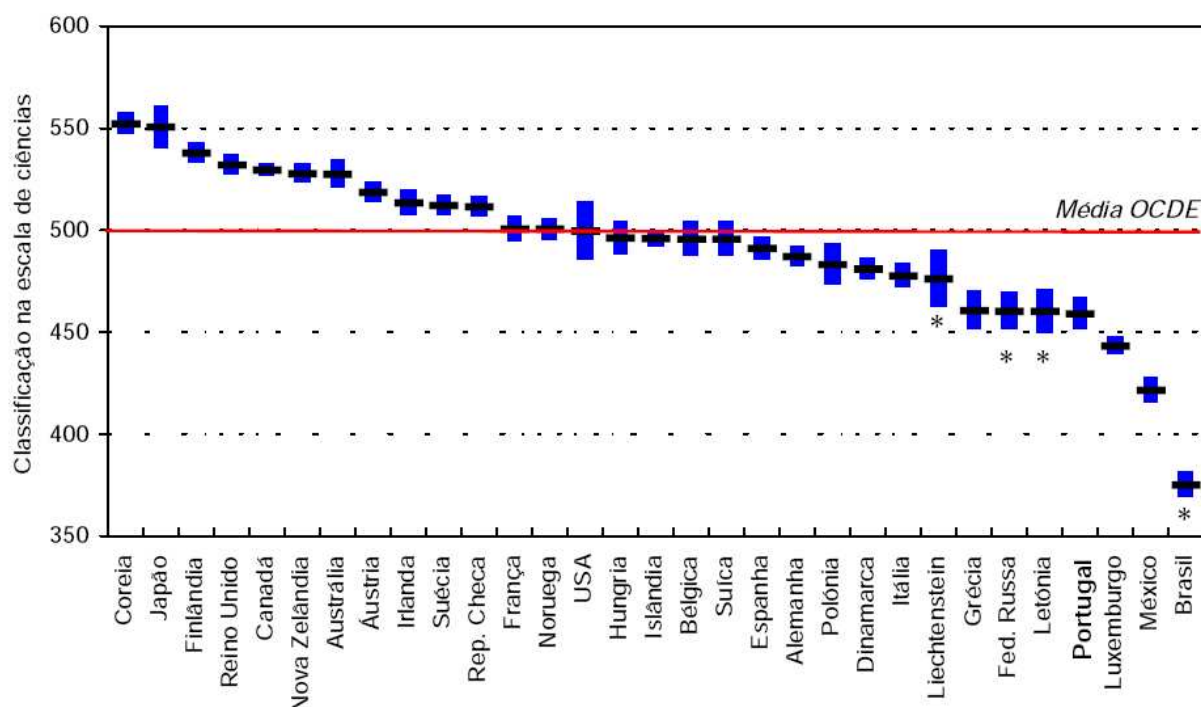


Figura 5.1: Desempenho médio em literacia científica: semelhanças e diferenças entre países. A barra horizontal indica a média, e a área a azul indica o I.C. a 95%. Os países com * não pertencem à OCDE. Fonte dos dados: Relatório Internacional PISA - OCDE, 2001.

da Federação Russa, da Grécia e do Liechtenstein. Contudo, é de salientar, em jeito conclusivo, que os alunos portugueses, em ciências, têm classificações inferiores à média encontrada para a OCDE.

Os factos apresentados anteriormente não parecem reflectir uma tendência recente. Pelo contrário, constituem uma problemática que se tem vindo a arrastar. Na década de 90 do século XX, salientava Sá (s.d.) que

"Entre nós não se conhecem ainda «esforços e entusiasmos» visíveis, quanto à causa das Ciências da Natureza na escola primária. Embora, desde há cerca de 18 anos, tópicos de ciências estejam contemplados no programa do Ensino Primário, o ensino das ciências, nesse nível de escolaridade, continua a ser um imenso deserto."

Considerando toda a amplitude do sistema educativo português, Paixão, em 1995, salientava que o ensino das ciências não se isentava de críticas, por ser muito prescritivo, impessoal, não existindo lugar para as opiniões dos alunos e para a sua criatividade. As aulas reduziam-se a séries de pequenas e triviais actividades, sendo leccionados alguns conhecimentos, sem relação com o meio onde os alunos cresciam e em que o livro de

texto e o professor eram as únicas fontes de informação válidas. Este tipo de ensino propiciaria, certamente, a inibição do desenvolvimento das personalidades dos alunos e das suas aspirações. Na mesma linha, também Martins (1996) constatava, com o retrato da Educação em Ciência no nosso país na época, uma fraca expectativa no que diz respeito à eficácia da reforma das ciências; uma mudança meramente pontual nos currículos de formação inicial de professores de ciências; e o facto de muitas iniciativas de formação no âmbito da formação contínua, ao invés de contribuírem para uma efectiva melhoria da aprendizagem por parte dos alunos, funcionavam como modo de progressão na carreira. Paralelamente, o mesmo retrato evidencia o facto de muitos professores continuarem a ensinar da mesma forma como sempre haviam ensinado, adaptando os novos materiais ou técnicas aos padrões tradicionais. As causas apontadas por Praia (1996) para este facto são, em primeiro lugar, as perspectivas de ciências dos próprios professores, bastante distantes das perspectivas à actividade científica, seguida da falta de articulação entre estratégias de ensino, actividades pedagógico-didácticas e orientações baseadas no actual paradigma de construção do conhecimento científico, evidenciando a necessidade de uma formação de professores, de natureza construtivista.

A problemática do ensino das ciências nas escolas portuguesas constituiu uma preocupação do Governo da época. Na verdade, é o próprio Ministro da Ciência e da Tecnologia de então, José Mariano Gago, que assinala, em "A Educação e o Futuro", um debate promovido pelo Presidente da República durante a Semana da Educação, a 23 de Junho de 1998, a premência de uma viragem na educação. Nas suas próprias palavras,

"A escolha a fazer implica uma opção a favor da organização da vida escolar, crescentemente, em trabalho de projectos. Implica uma relação com o concreto diferente da actual, designadamente no que diz respeito à relação directa, experimental e técnica, com a matéria. Implica que a experimentação seja considerada como o elemento central para a aprendizagem de todas as ciências, como aliás a experimentação no campo artístico, a qual partilha nesta matéria o mesmo combate com as ciências. Impõe-se a superação imediata de um bloqueio insustentável: em Portugal não é ainda obrigatório, no Ensino Básico, a experimentação na aprendizagem das ciências."

Retornando à realidade do 1º Ciclo do Ensino Básico, ao qual as actividades propostas neste capítulo se dedicam, há que referir que muito embora as orientações curriculares apontem no sentido da abordagem experimental das ciências, essa prática não tem sido generalizada, conforme relatado em Sá (2000). Na verdade, a forma como a abordagem das ciências tem vindo a ser efectuada neste nível de ensino não é, de todo, imune a críticas, apontando-se, por exemplo, o facto de a ciência surgir como uma componente lúdica muito vincada, acreditando-se que, de acordo com essa metodologia, as crianças podem efectivamente desenvolver a sua motivação e entusiasmo pelas ciências. Noutra crítica a assinalar, é vista a ciência apenas como um processo de familiarização dos alunos com determinados factos e experiências. Finalmente, ainda é assumido que a abordagem experimental da ciência vale apenas pela possibilidade que oferece à criança de efectuar manipulações

espontâneas, sem quaisquer outras consequências em termos de aprendizagem (Sá, 2000). Segundo a postura do autor citado, e numa linha antagónica, a ciência, para os alunos do 1º Ciclo do Ensino Básico, deveria ser entendida como:

"...um processo que lhes interpela o pensamento e as incita à acção na busca de superiores níveis de conhecimento e compreensão do mundo físico-natural envolvente." (Sá, 2000, p. 59)

De acordo com estas e outras críticas tecidas à actual forma de ensinar ciências, e em concomitância com um reflexão generalizada acerca das finalidades do ensino das ciências, têm vindo a surgir novas orientações que apontam no sentido de uma educação meramente centrada na aprendizagem de conteúdos e processos da ciência, mas que assegure a articulação entre essas aprendizagens e a vida quotidiana dos alunos, tendo como particular relevância a necessidade de compreensão da ciência e da tecnologia e das suas relações com a sociedade. Assim, é feito apelo a uma mudança, que corresponda às actuais representações de ciência e que tenha implicações ao nível da formação de professores (Cachapuz et al, 2000). Esta mudança deve, no entendimento dos autores, contemplar quatro componentes fundamentais: a concepção epistemológica, a história da ciência, o objectivo da aprendizagem e o trabalho experimental. Note-se, contudo, que esta perspectiva deve não só rodear-se de alguns aspectos de índole filosófica, mas, ao invés, deve também implicar uma reformulação metodológica, centrando-se na discussão entre professores e alunos acerca de problemáticas actuais, num contexto de reflexão e partilha de informação. Em termos de aprendizagem, esta perspectiva aponta no sentido de proporcionar ao aluno a familiarização com o trabalho científico, de modo a compreender as suas características e facetas, colocando-se, ao mesmo tempo, numa postura de cidadão activo perante a tomada de decisões na sociedade contemporânea. Já no que diz respeito ao trabalho experimental, defende-se que este não deva servir apenas para cumprir uma imposição do currículo, mas, sobretudo, como meio de encontrar respostas e soluções para os problemas que emergem no quotidiano. Por último, no que diz respeito às implicações desta necessidade de mudança para a formação de professores, é advogado um novo quadro de formação, em que se salientem os aspectos organizativas, sem, contudo esquecer a primazia dada à exigência de uma nova filosofia de formação.

Em suma, a mudança que se torna emergente, e que durante bastante tempo se acreditou ter-se alcançado com o desenvolvimento do objectivo da literacia científica, deveria, à partida, relevar a importância da educação na cultura, na construção dos conhecimentos e no modo como se deve exercer a cidadania. Nesse contexto, a Ciência poderia contribuir de forma preponderante, já que, na opinião de Veríssimo e Ribeiro (Verissimo&Ribeiro, 2001):

"... o simples contacto com conceitos oriundos das ciências habilita o cidadão a participar melhor (mais livre e consciente) e mais activamente no próprio processo de desenvolvimento social de que faz parte. Mas, se isso não bastasse, o contacto com a forma como a ciência é e foi construída é, porventura,

a forma mais fácil de transmitir valores como a importância e o respeito pela diversidade, que são, por si só, o próprio fundamento da Democracia(...).

O ensino/aprendizagem da ciência baseado em paradigmas modernos, capazes de valorizar a contextualização no desenvolvimento dos conceitos e que se aproxima metodologicamente dos paradigmas em que assenta a construção das próprias ciências, são um meio de excepção para desenvolver as capacidades fundamentais citadas como primordiais na sociedade do futuro".

Muito embora as críticas tecidas e expostas anteriores configurem uma emergência de readequação, reconceptualização e renovação do ensino das ciências na escolaridade a todos os níveis, parece ainda não se ter atingido o ponto de acordo suficiente para a ultrapassagem de determinados problemas. Assim, e até que o consenso não exista, torna-se importante atender às recomendações de investigadores, grupos de trabalho, bem como de todas as entidades relacionadas com a Educação, com a Ciência e a Tecnologia. É o que se faz, de seguida, parafraseando o Dr. Carlos Fiolhais, numa conversa com o jornal "O Primeiro de Janeiro" sobre o ensino das ciências, em 12 de Março de 2004:

"... ciência e cultura são indissociáveis, apesar de haver ainda quem não tenha consciência desse facto óbvio. Se há um século o problema das sociedades mais atrasadas era a iliteracia, hoje o problema das sociedades menos desenvolvidas é a iliteracia científica. A ciência é o conhecimento do mundo e só pode triunfar no mundo quem o conheça. Um cidadão de hoje e, ainda mais, um cidadão de amanhã, para poder viver melhor, tem de ter um conhecimento mínimo do mundo e ter uma ideia, ainda que rudimentar, do modo como se ganha esse conhecimento. A cultura científica é não só a posse de alguns factos da ciência mas também e sobretudo o reconhecimento do papel e do valor da ciência: trata-se de uma necessidade incontornável das sociedades modernas. (...)

A escola devia "casar-se" mais com a ciência, dando à ciência a importância que ela já tem, de facto, na vida de todos nós. Há concerteza a questão do tempo que é dedicado às ciências, mas há sobretudo a questão da qualidade da ocupação desse tempo. Há, por exemplo, que dedicar mais tempo à experimentação. Há também que pôr ao serviço das ciências - e, de resto, de outras disciplinas - o poder das novas tecnologias, em vez de pensar que essas tecnologias são um fim em si mesmo. (...)"

5.3 Organização Curricular e Programas do Ensino Básico.

A educação básica constitui um desafio a que todos os países desenvolvidos dão hoje maior atenção; por um lado, porque os estudos de literacia mostram que só uma formação inicial prolongada, sólida e consistente garante que, quaisquer que sejam os modos de

vida, não há regressão nos saberes essenciais; por outro lado, porque a escolaridade básica constitui o começo de um processo de educação e formação ao longo da vida, imprescindível para responder aos novos desafios pessoais e sociais.

Assim, há que reconhecer que é ao Estado que cabe definir orientações e metas, regular acções, apoiar iniciativas e incentivar o profissionalismo, assegurando a luta contra as desigualdades e o cumprimento do papel social e cultural da educação, bem individual e colectivo, ao serviço de cada um, de todos e da sociedade.

Neste contexto, é a Lei de Bases do Sistema Educativo (Lei n.º 46/86, de 14 de Outubro, com as alterações impostas pela Lei n.º 49/2005, de 30 de Agosto) que define o conjunto de objectivos gerais para a educação básica, explícitos nos seus artigos 7º e 8º e já enunciados anteriormente. A propósito desses três grandes objectivos, é importante salientar que estes se podem desagregar em objectivos específicos, subordinados às dimensões **pessoal**, das **aquisições básicas e intelectuais fundamentais** e da **cidadania** da formação. Assim, os objectivos do ensino básico, **educar, integrar, formar para a cidadania** são simultaneamente simples de definir e muito difíceis de concretizar. Na verdade, a instrução e a educação são indissociáveis, pois as condições em que se processa a instrução são portadoras de valores e indutoras de comportamentos. Desde a educação pré-escolar, não basta aprender, é necessário compreender e saber usar o que se aprende, é preciso que cada criança desenvolva todas as suas capacidades e a sua personalidade, aprendendo regras de convivência social que reforcem a sua integração e a sua autonomia.

Por outro lado, para que sejam realmente significativas, as mudanças na educação básica têm que se operar segundo perspectivas integradas e consistentes que articulem as aprendizagens, o currículo e a avaliação, as práticas docentes e os modos de organização e funcionamento das escolas, entendidas como o centro da vida educativa. Considera-se, assim, essencial que a organização do ensino básico consagre uma estrutura curricular integrada e sequencial, em que cada ciclo complete, reforce e desenvolva o anterior. Assim, e à luz da Lei de Bases do Sistema Educativo, o ensino básico, embora compreenda três ciclos (o primeiro, de quatro anos; o segundo, de dois anos e o terceiro, de três anos), perspectiva-se como uma unidade global.

De acordo com a organização curricular e programas do 1º Ciclo do Ensino Básico (ME/DEB, 2001), a especificidade dos ciclos, exigida pelos diferentes estádios de desenvolvimento cognitivo e sócio-afectivo que caracterizam os alunos no respectivo nível etário, projecta-se em distintas etapas de formação, cujas funções se podem sumariar do seguinte modo:

- Para o 1º Ciclo, para além do progressivo domínio de instrumentos básicos de comunicação e compreensão (leitura, escrita e cálculo), assume-se a iniciação em diferentes formas de expressão (verbal, motora, plástica e musical) e uma primeira abordagem ao meio natural e social.
- Para o 2º Ciclo, supõe-se a aquisição de noções, métodos e instrumentos de trabalho fundamentais, nas áreas essenciais do saber e do saber-fazer, a par com a formação cívica e moral, orientadas para o desenvolvimento de atitudes activas e conscientes perante a comunidade.

- Para o 3.^o Ciclo, pretende-se a aquisição sistemática e diferenciada de conhecimentos e aptidões nas áreas da cultura humanística, artística, física, científica e tecnológica e o desenvolvimento de atitudes e valores que facultem, por um lado, uma formação adequada ao ingresso na vida activa e ao prosseguimento de estudos e, por outro, a realização autónoma e responsável da pessoa humana, na sua dimensão individual e social.

Assim, e de acordo com o artigo 3.^o do Decreto-Lei n.^o 6/2001, de 18 de Janeiro, a organização e a gestão do currículo subordinam-se a vários princípios orientadores, entre os quais merecem particular destaque:

- Coerência e sequencialidade entre os três ciclos do ensino básico e articulação destes com o ensino secundário;
- Integração, com carácter transversal, da educação para a cidadania em todas as áreas curriculares;
- Valorização das aprendizagens experimentais nas diferentes áreas e disciplinas, em particular, e com carácter obrigatório, no ensino das ciências, promovendo a integração das dimensões teórica e prática;
- Reconhecimento da autonomia da escola no sentido da definição de um projecto de desenvolvimento do currículo adequado ao seu contexto e integrado no respectivo projecto educativo;
- Valorização da diversidade de metodologias e estratégias de ensino e actividades de aprendizagem, em particular com recurso a tecnologias de informação e comunicação, visando favorecer o desenvolvimento de competências numa perspectiva de formação ao longo da vida;

Assim, a leitura dos planos curriculares publicados nos Anexos I, II e III do Decreto-Lei n.^o 209/2002, de 17 de Outubro, permitem verificar o modo como se configuram estas disposições, bem como outras patentes no já referido artigo 3.^o do Decreto-Lei n.^o 6/2001, de 18 de Janeiro.

Para além do que já anteriormente foi referido, é de destacar que é deixado claro que o trabalho a desenvolver pelos alunos deve integrar, obrigatoriamente, actividades experimentais e actividades de pesquisa adequadas à natureza das diferentes áreas, nomeadamente no ensino das ciências.

Deste modo, os programas propostos para o 1.^o Ciclo implicam que o desenvolvimento da educação escolar, ao longo das idades abrangidas, constitua uma oportunidade para que os alunos realizem experiências de aprendizagem:

1. activas (que possibilitam aos alunos a oportunidade de viver situações estimulantes de trabalho escolar que vão da actividade física e da manipulação dos objectos e meios didácticos, à descoberta permanente de novos percursos e de outros saberes),

2. significativas (relacionadas com as vivências efectivamente realizadas pelos alunos fora ou dentro da escola e que decorrem da sua história pessoal ou que a ela se ligam),
3. diversificadas (que apontam para a vantagem da utilização de recursos variados que permitam uma pluralidade de enfoques dos conteúdos abordados),
4. integradas (que decorrem das realidades vivenciadas ou imaginadas que possam ter sentido para a cultura de cada aluno)
5. socializadoras (que garantem a formação moral e crítica na apropriação dos saberes e no desenvolvimento das concepções científicas) que garantam, efectivamente, o direito ao sucesso escolar de cada aluno..

5.3.1 Programas da Área Curricular de Estudo do Meio e contextualização das actividades propostas

O facto de a criança, ao entrar para a escola, ser já portadora de conhecimentos, competências, valores e atitudes adquiridos e desenvolvidos no seu meio físico e social e, ao mesmo tempo, ser já agente transformador desse mesmo meio, revela a importância da área de Estudo do Meio, desde o primeiro momento de escolaridade. Assim, o meio físico e social envolvente à criança deve constituir o quadro de fundo no qual e a partir do qual é possível fundamentar as actividades escolares no primeiro ciclo do ensino básico.

O currículo de Estudo do Meio reúne um conjunto de temáticas de interesse actual a partir das quais é possível sempre levantar novas questões e organizar actividades para lhes dar resposta. Aqueles temas reflectidos na realidade envolvente permitem abordagens curriculares inovadoras no que diz respeito aos conteúdos, às estratégias e aos recursos. Permitem, igualmente, o desenvolvimento de perspectivas integradas tocando as diversas áreas curriculares e abrangendo novas propostas da reforma curricular como a Área de Projecto, a Formação Cívica, a Formação Pessoal e Social, a Educação para a Cidadania entre outras formações transdisciplinares. Assim, e em particular para o desenvolvimento das actividades da secção 5 deste capítulo, considere-se a resenha do programa de Estudo do Meio efectuada nas linhas seguintes, que justifica e contextualiza no programa as actividades que se propõem.

No 2º ano, o Bloco 3, intitulado "À Descoberta do Ambiente Natural" dá ênfase, no seu 2º ponto ("Os Aspectos Físicos do Meio Local), ao desenvolvimento de competências que permitam aos alunos:

- Compreender o tempo que faz (registar condições atmosféricas diárias);
- Reconhecer alguns estados do tempo (chuvoso, quente, frio, ventoso);
- Relacionar as estações do ano com os estados do tempo característicos;
- Reconhecer a existência do ar (através da realização de actividades experimentais)

- Reconhecer o ar em movimento (vento, correntes de ar...);

No 3º ano de escolaridade, o mesmo bloco, no mesmo ponto ("Os Aspectos Físicos do Meio Local") preconiza o desenvolvimento do conhecimento dos alunos no que diz respeito a:

- Distinguir formas de relevo existentes na região (elevações, vales, planícies...);
- Observar directamente e indirectamente (fotografias, ilustrações...);
- Localizar em mapas.

Finalmente, no 4º ano, o mesmo bloco, no seu ponto 1 ("Aspectos Físicos do Meio") dá particular ênfase a aspectos como:

- Reconhecer e observar fenómenos de condensação (nuvens, nevoeiro, orvalho), de solidificação (neve, granizo, geada) e de precipitação (chuva, neve, granizo).

Paralelamente, o 2º ponto do bloco ("Os Astros"), refere a pertinência, do ponto de vista da construção de conhecimento por parte dos alunos, de:

- Constatar a forma da Terra através de fotografias, ilustrações...

Da mesma forma, o Bloco 4 do programa de Estudo do Meio, intitulado "À Descoberta das Inter-Relações entre Espaços" dá primazia, no 3º ano de escolaridade e no seu ponto 2 (Localizar Espaços em Relação a um Ponto de Referência) a aspectos como:

- Identificar processos de orientação (sol, bússola);
- Conhecer os pontos cardeais.

O mesmo bloco, no 4º ano de escolaridade, permite a exploração de outros conteúdos. Assim, no ponto 1 (O Contacto entre a Terra e o Mar), dá-se primazia a contextos que conduzam os alunos a:

- Observar directa ou indirectamente alguns aspectos da costa portuguesa (Ria de Aveiro, Cabo Carvoeiro, Cabo da Roca, Estuário do Tejo e do Sado, Ponta de Sagres);
- Localizar no mapa de Portugal;
- Localizar em mapas ilhas e arquipélagos (Açores e Madeira);
- Localizar no planisfério e no globo os continentes e os oceanos;
- Reconhecer o Oceano Atlântico como fronteira marítima de Portugal;

No ponto 2 (Os Aglomerados Populacionais), pretende-se a implementação de estratégias capazes de conduzir o aluno a:

- Identificar as cidades do seu distrito, localizando-as no mapa;
- Localizar no mapa a capital do País;
- Localizar as capitais de distrito.

De forma análoga, também o ponto 3 do bloco ("portugal na Europa e no Mundo"), explorado no 4º ano, se torna importante, na medida em que pretende levar os alunos a:

- Localizar Portugal no mapa da Europa, no planisfério e no globo;
- Reconhecer a fronteira terrestre com a Espanha.

Deste modo, as actividades que se propõem podem ser iniciadas no 2º ano numa perspectiva evolutiva ao longo do 1ºCEB aquando das abordagens dos tópicos sugeridos no programa, considerando a interrelação dos pontos referenciados anteriormente com a utilização de imagens de satélite.

5.4 Sugestões Metodológicas

A metodologia a empregar na exploração das actividades que a seguir se desenvolvem visa, em primeiro lugar, centrar o processo de educação em ciências em investigações, visando assim a activação de vários processos conducentes à promoção de novas aprendizagens. Por esse motivo, as actividades expostas não se devem centrar apenas no contexto da Física, da Matemática, da Geografia, mas antes porém, numa área mais ampla, integradora das disciplinas que compõem o currículo do Ensino Básico.

Assim, e de um modo geral, todas as actividades propostas têm por finalidade o fomento de uma construção pessoal assente nos valores da iniciativa, da criatividade e da persistência, a detecção e fomento de aptidões específicas e precocidades, estimulando, ao mesmo tempo, a iniciação ao conhecimento científico e tecnológico, promovendo orientações escolares e profissionais e desenvolvendo atitudes e hábitos de trabalho autónomo e em grupo. Ao mesmo tempo, as actividades a seguir apresentadas visam desenvolver capacidades de pensamento e acção, com elevado grau de transparência a outras áreas curriculares e variadas situações da vida presente e futura. Aponta-se ainda outra finalidade, inerente a toda e qualquer actividade experimental que, neste contexto, deverá assumir uma dimensão de destaque: fomentar o gosto por uma constante actualização de conhecimentos extensivos ao domínio da descoberta, oferecendo assim aos alunos a possibilidade de realizarem actividades investigativas que lhes permitam a apropriação dos processos científicos para construir conceitos e ligações entre eles, de forma a compreenderem os fenómenos e os acontecimentos observados e, deste modo, contribuir para um melhor conhecimento, compreensão e domínio do mundo que os rodeia.

Deste modo, as actividades a seguir apresentadas devem ser implementadas no sentido da exploração de questões foco que os alunos devem ser capazes de pesquisar, definindo as suas estratégias de metodologia de aprendizagem, com o auxílio do professor, para obtenção

de respostas plausíveis às questões formuladas. Adicionalmente, e não perdendo de vista que a operacionalização destas (e outras) actividades deve culminar na implementação de uma rede escolar de estações de recepção de imagens de satélite de órbita polar, deve ser dado espaço para a criação de novas questões, propostas pelos alunos, sobre assuntos desta temática que gostassem de discutir.

Sugere-se o agrupamento da turma em pequenos grupos de alunos, uma vez que esta organização provê um fórum para a discussão e troca de ideias, onde o uso da linguagem e de competências sociais para a interacção é vital. Assim, a contribuição de cada aluno para a actividade depende do seu conhecimento, bem como do seu nível de linguagem, facto que realça a importância do trabalho em grupo, o que se torna particularmente verdade quando os alunos pertencem a uma gama diversificada de contextos linguísticos e culturais.

5.5 Algumas sugestões de actividades a desenvolver

5.5.1 Os satélites: o que são? Onde estão? O que podem fazer por nós?

Esta primeira actividade, de cariz introdutório, visa familiarizar os alunos com alguns conceitos, bem como a criação de espaço para a discussão da importância dos satélites no quotidiano. Deste modo, entende-se que esta actividade deva permitir o desenvolvimento, por parte dos alunos, de um conjunto de novos conhecimentos que lhes permitam:

- Compreender o significado da palavra satélite, reconhecendo as diferenças entre satélites naturais (como a Lua) e satélites artificiais;
- Reconhecer a existência de satélites de órbita polar e de órbita geostacionária, compreendendo as diferenças nos tipos de órbita;
- Admitir a importância da utilização de satélites nas mais variadas áreas;
- Distinguir as diferentes formas de utilização dos satélites nas diversas áreas do saber.

Assim, numa fase de eliciação das ideias dos alunos sobre o conceito de satélite, o professor deverá distribuir aos alunos o material necessário (papel, lápis de cor) para a elaboração de um desenho capaz de responder à pergunta:

"O que é, para ti, um satélite?"

Adicionalmente, o professor poderá munir-se de recortes de jornais ou revistas que evidenciem a palavra "satélite" prosseguindo a aula com a apresentação dessa recolha de informação. No seguimento desta actividade, deverá entabular-se um momento de reflexão, onde os alunos recordem, do seu quotidiano, situações ou contextos em que a palavra satélite esteve envolvida (directa ou indirectamente). Nessa ocasião, deverá o professor encorajar os alunos (dispostos em pequenos grupos) à pesquisa, podendo fornecer algum

material de pesquisa, como dicionários e enciclopédias, escritos num nível de linguagem adequado à faixa etária dos alunos. Posteriormente, deverão ser expostas as conclusões (preliminares) pelos diversos grupos, culminando numa conclusão geral, partilhada por todos os elementos da turma:

Um satélite é um objecto que anda em torno de outro, maior. Assim, pode pensar-se que a Lua é o satélite natural da Terra, pois ela, efectivamente, anda em torno do nosso planeta, ou, por outras palavras, a Lua orbita a Terra. Há, todavia, satélites artificiais, que são construídos pelo Homem, que orbitam a Terra e, como transportam muitos instrumentos, podem ajudar o Homem a compreender algumas coisas que acontecem na Terra. Normalmente, no nosso dia-a-dia, quando falamos em satélites, estamos a referir-nos a satélites artificiais

Não esquecendo a importância das vinhetas históricas, o professor deverá referir que o Sputnik I foi o primeiro satélite a ser lançado para o espaço, em Outubro de 1957, tendo sido desenvolvido na União Soviética. Passando a uma segunda fase da actividade, o professor deverá questionar os alunos sobre eventuais respostas que tenham encontrado na sua pesquisa para as funções dos satélites. Para permitir a elaboração de uma primeira actividade experimental, o professor deverá questionar os alunos sobre como acham que duas pessoas muito distantes comunicam, via telefone. Após eliciação das ideias dos alunos, o papel dos satélites nas comunicações a longas distâncias poderá ser revelado a partir de uma pequena demonstração experimental, para a qual apenas é necessário um pequeno espelho e uma pequena lanterna. Assim, contextualizando o problema, o professor poderá pedir a colaboração de três alunos: um desempenhará o papel de emissor, sendo-lhe fornecida a pequena lanterna, outro o de satélite, munindo-se do pequeno espelho, e outro o de receptor. Dispondo os alunos convenientemente, o receptor será capaz de receber o sinal emitido pelo emissor (neste caso, o sinal consiste apenas no feixe luminoso da lanterna) funcionando o satélite como intermediário da comunicação, reencaminhando a "mensagem". Como conclusão final desta actividade, deve ficar claro para os alunos que uma chamada de longa distância se processa via satélite, exercendo este a função de retransmissor da informação, possibilitando assim a comunicação entre pontos longínquos.

Paralelamente, o professor deverá enfatizar o facto de os satélites permitirem o acompanhamento do estado do tempo, obtendo fotografias da Terra similares às que se podem observar diariamente no boletim meteorológico. Para além disso, deverá ser feita menção às utilizações dos satélites como ferramenta de localização, abordando-se o assunto do GPS. Para concluir, deverá o professor referir que também os satélites são utilizados a nível militar, para fins secretos.

O conjunto de novos conhecimentos que se pretende ter sido adquirido pelos alunos deve ser sistematizado numa transparência, onde se exibam fotografias de alguns satélites (com particular relevância para o Sputnik, o Tiros, os satélites NOAA e os actuais Meteosat, por exemplo).

Prosseguindo com as questões relativas ao assunto, o professor deverá interrogar os alunos sobre uma primeira estimativa da localização dos satélites. Assim, os alunos deverão ser levados a reconhecer a possibilidade de existirem satélites com vários tipos de órbita, salientando-se os satélites de órbita polar, situados entre 600 e 800 km acima da Terra, que orbitam em torno da Terra de pólo a pólo e os satélites geostacionários, que parecem permanecer imóveis, relativamente à Terra, a uma altitude de cerca de 36000 km. A fim de evitar dúvidas sobre o aparente estado de repouso dos satélites geostacionários em relação à Terra, o professor poderá efectuar uma pequena demonstração experimental, com o auxílio de dois alunos. Assim, o professor deverá explanar que o satélite geostacionário (um dos alunos) parece estar imóvel em relação à Terra uma vez que o tempo necessário para que o satélite dê uma volta completa à Terra é igual ao tempo necessário para a Terra dar uma volta sobre si mesma, explicando assim o motivo de ambos os alunos conseguirem olhar-se nos olhos mutuamente durante todo o processo.

Por forma a sistematizar estes conhecimentos, será ilustrado aos alunos uma figura (5.2) onde se esquematizam estes dois tipos de órbita, bem como as principais aplicações dos satélites com estes tipos de órbita. Deve, contudo, esclarecer-se que existem órbitas de outros tipos, mas que, para o estudo que se vai desenvolver, será suficiente conhecerem-se estas.

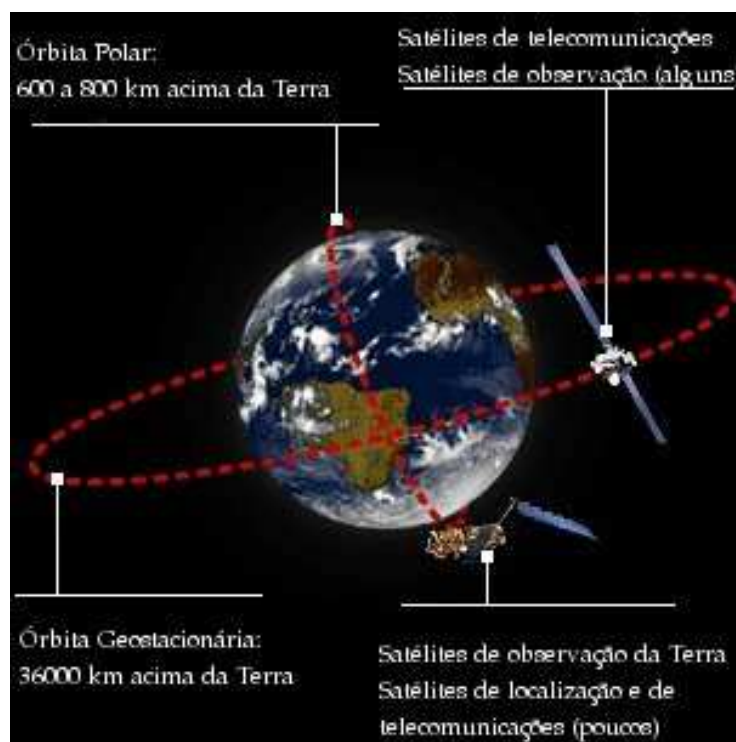


Figura 5.2: Tipos principais de órbitas de satélites, bem como utilização dos dois tipos de órbitas para diferentes finalidades.

Por último, e finalizando esta actividade, o professor poderá solicitar os alunos para uma pesquisa sobre a importância dos satélites para pessoas com profissões diferentes como, por exemplo:

- Um agricultor;
- Um meteorologista;
- Um jornalista;
- Um biólogo;

5.5.2 O que vê e como vê um satélite?

Nesta actividade, os alunos terão a oportunidade de, em contexto investigativo, construir um percurso capaz de lhes possibilitar a resposta à questão que dá título a esta secção. Assim sendo, os alunos deverão ter desenvolvido, no final desta actividade, as capacidades que lhes permitam:

- Reconhecer que satélites com órbitas diferentes têm campos de visão diferentes;
- Compreender a predictabilidade das órbitas dos satélites;
- Distinguir num mapa a trajectória de satélites de órbita polar e órbita geostacionária;
- Identificar qual o satélite mais adequado para a obtenção de uma imagem de Portugal, num determinado dia.

Deste modo, a actividade deverá iniciar-se, recordando os conceitos da actividade anterior. O professor deverá prosseguir, questionando os alunos sobre o modo como acham que os satélites "vêm" a Terra. Para tornar o processo de eliciação mais célere, o professor poderá fazer uso de algumas imagens (por exemplo, como as da figura 5.3), questionando os alunos:

**Qual ou quais destas imagens achas que é obtida por um satélite?
Porquê?**

De acordo com as respostas dos alunos, e esperando que estes reconheçam a existência de duas imagens obtidas por satélite, o professor poderá levar os alunos à compreensão das diferenças nas imagens (uma com cobertura global, obtida a partir de satélite geostacionário e outra de cobertura regional, obtida a partir de satélite de órbita polar) com uma pequena actividade. Assim, deverá disponibilizar aos alunos vários cilindros de cartão, sugerindo-lhes que utilizem o cilindro para observar, monocularmente, a realidade envolvente. Posteriormente, o professor poderá pedir a um aluno que, bem perto de um objecto, o observe através do seu cilindro e descreva o que viu. Da mesma forma, o professor deverá pedir ao aluno que repita a experiência, desta vez bastante afastado do objecto. O



Figura 5.3: No sentido dos ponteiros do relógio, e começando no topo superior esquerdo: Fotografia aérea, Imagem obtida a partir de um satélite de órbita polar, imagem obtida a partir de um satélite de órbita geostacionária, fotografia convencional.

professor deverá, com base nos resultados, levar os alunos a concluir que o campo de visão de um satélite geostacionário é bastante maior do que a área de cobertura de um satélite de órbita polar em virtude das diferentes distâncias destas órbitas. Assim, deve ficar claro que as imagens obtidas de satélite de órbita geostacionária exibem o Globo Terrestre, ao passo que as imagens obtidas a partir de satélites de órbita polar apenas mostram algumas regiões do Globo.

Prosseguindo com esta actividade, o professor deverá levantar o problema de ser necessário saber como podemos localizar os satélites. Assim, deverá iniciar a exploração deste assunto, solicitando aos alunos uma esquematização da localização dos satélites, enfatizando as diferenças entre as órbitas polares e as geostacionárias. De seguida, o professor deverá apresentar duas figuras, ilustrativas da trajectória e respectivo campo de visão dos satélites de órbita polar e geostacionária. Como possível exemplo, considerem-se as figuras 5.4 e 5.5.



Figura 5.4: Trajectória de um satélite de órbita polar e seu campo de visão.



Figura 5.5: Trajectória de um satélite geostacionário e respectivo campo de visão.

Como forma de sistematizar estes conhecimentos, o professor deverá salientar as diferenças nas duas figuras, explanando que as imagens resultam de um programa de computador que consegue simular e prever o movimento dos satélites. De fulcral importância é, também, o facto de os alunos reconhecerem o significado da trajectória dos satélites de órbita polar, em virtude do tipo de órbita que possuem e do movimento de rotação da Terra. Adicionalmente, o professor deverá colocar os alunos em contacto com o programa de acompanhamento de satélites (O Orbitron, por exemplo, já que se encontra disponível uma versão em português), proporcionando aos alunos a exploração deste *software*. Como auxiliar desta actividade, o professor deverá requerer aos alunos resposta às seguintes questões:

1. Quantos são os satélites de órbita polar que encontraste no programa?
2. Qual o nome do satélite geostacionário que encontraste?
3. Quantos satélites de órbita polar vão passar sobre Portugal no dia de hoje?

4. Qual é o primeiro satélite de órbita polar que vai passar sobre Portugal hoje? A que horas se verifica a sua passagem?

5.5.3 Onde estamos?

Com esta actividade, pretende-se a utilização de mapas e imagens de satélite como objecto de estudo para conduzir os alunos aos conceitos relativos à localização geográfica. Deste modo, torna-se possível conduzir os alunos à obtenção de respostas às pergunta que dá título a esta secção.

Como início da actividade, o professor deverá fornecer aos alunos um mapa do distrito, sugerindo-lhes que localizem, no referido mapa, a sua cidade. A mesma estratégia deverá ser seguida, desta feita, com o recurso a um mapa de Portugal e, posteriormente, com um mapa da Europa. Finalmente, a estratégia deve ser continuada, fazendo-se uso de um Mapa-Mundo. Ao longo destas actividades sugere-se que o professor dê particular detalhe ao significado das legendas assinaladas nos mapas, bem como a eventuais pontos de referência.

De seguida, o professor deverá fornecer aos alunos uma imagem obtida a partir do satélite NOAA-17, no visível, questionando-os sobre o que podem ver na imagem. O professor deve encorajar uma análise descritiva, salientando a importância das diferentes tonalidades de cinza empregues na imagem, bem como a possível identificação visual da elevação do terreno e dos rios. Após esta breve exposição, o professor deverá solicitar aos alunos a localização da sua cidade na imagem de satélite fornecida, bem como o traçado da fronteira que separa o nosso país de Espanha. Para uma exploração adicional deste recurso, poderá o professor questionar os alunos acerca da possível localização de cidades como Lisboa, Porto, Coimbra, Faro, entre outras. A validação das respostas encontradas pelos alunos poderá ser feita pelo professor, sobrepondo à imagem inicial a linha fronteira Portugal-Espanha, bem como uma marca da localização da cidade. As figuras 5.6 e 5.7 ilustram, respectivamente, a imagem de satélite sem sobreposição de mapa e a imagem à qual foi adicionada a localização da cidade (Aveiro) e as fronteiras dos países evidenciados na mesma.

Como extensão desta actividade, o professor deverá solicitar aos alunos a identificação dos países que é possível observar na imagem de satélite fornecida, bem como a identificação e localização aproximada das capitais nacionais. A súmula desta actividade deverá ser apresentada pelos diferentes grupos, dando espaço ao debate de diferentes resultados, bem como das diferentes metodologias utilizadas pelos grupos de alunos.

5.5.4 Como é constituída uma imagem de satélite? Como se obtém uma imagem de satélite?

O propósito da realização desta actividade prende-se com a necessidade de levar os alunos à compreensão da constituição de uma imagem de satélite. Assim, torna-se necessário introduzir os alunos ao conceito de *pixel*, bem como o reconhecimento, por parte dos

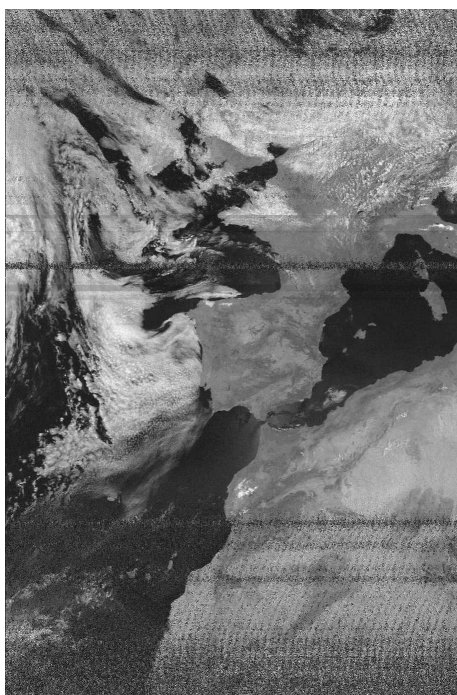


Figura 5.6: Imagem obtida pelo satélite NOAA-17 na região do visível, datada de 21 de Julho de 2005, às 11:14.

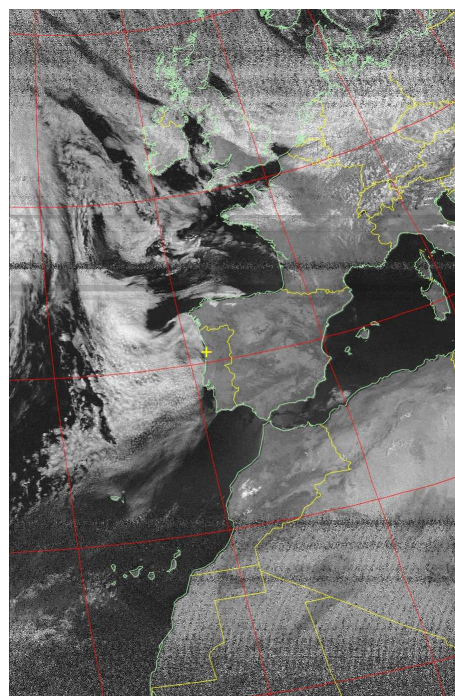


Figura 5.7: Imagem de satélite com sobreposição dos limites fronteiriços e localização da cidade de Aveiro.

alunos, da constituição de uma imagem digital. Deste modo, com esta actividade, os alunos poderão ser levados a compreender alguns conceitos relativos à natureza das imagens digitais, bem como o processo de obtenção de imagens de satélites de órbita polar.

Como forma de iniciar a actividade, o professor poderá munir-se de uma fotografia, obtida a partir de uma máquina fotográfica digital. Assumindo que a escola possui as condições necessárias para a implementação destas estratégias, seria conveniente a obtenção de uma fotografia na sala de aula, por exemplo, de toda a turma. Após o processo de transferência da imagem para o computador, o professor deverá exibir a fotografia à turma, apelando a uma observação atenta da mesma. Fazendo uso de um programa de manipulação de imagens, o professor deverá proceder à excessiva ampliação da fotografia obtida anteriormente, revelando assim que a imagem é composta por pequenos quadrados, que o professor deverá apresentar como *pixels*, referindo que estes constituem o menor ponto que forma uma imagem digital, sendo que o conjunto de milhares de *pixels* formam a imagem inteira. As figuras 5.8 e 5.9 ilustram um exemplo de aplicação desta estratégia.

Como exemplo de aplicação dos novos conceitos introduzidos, o professor poderá, por exemplo, questionar os alunos sobre o número de *pixels* que existem num ponto particular da imagem, ou mesmo a determinação do tamanho da imagem, em *pixels*.

Continuando a exploração da constituição das imagens digitais, o professor deverá distribuir pelos alunos várias folhas de papel quadriculado, sugerindo aos alunos que escrevam



Figura 5.8: Fotografia de uma orquídea num soalho de madeira.



Figura 5.9: Ampliação da fotografia anterior, evidenciando os *pixels* que constituem a imagem.

os seus nomes por preenchimento, a negro (por exemplo), das quadrículas do papel. Finda esta tarefa, deverá o professor propor aos alunos uma diferente representação para os seus desenhos: um código que consiste em escrever o algarismo 1 se uma quadrícula tiver que ser pintada de negro e o algarismo 0 se a quadrícula for deixada em branco. Assim, o professor deverá incentivar os alunos a transporem, para este novo código, o trabalho anteriormente efectuado. As figuras 5.10 e 5.11 ilustram um possível exemplo de resultado final desta actividade.

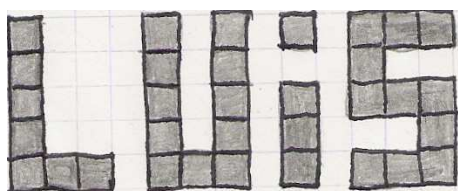


Figura 5.10: Escrita do nome a partir do preenchimento, a negro, de quadrículas num papel.

1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1
1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0
1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1
1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1
1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1

Figura 5.11: Codificação binária da imagem anterior.

Após a realização desta actividade, o professor deverá mencionar aos alunos o facto de os computadores registarem e transferirem informação utilizando um conjunto de zeros e uns, de forma similar ao efectuado na "codificação" realizada anteriormente. Deste modo, os alunos, adquirirão algumas noções relativas ao sistema binário. Na sequência desta actividade, o professor proporá a realização de um jogo entre os vários grupos de alunos da turma. Neste jogo, os diferentes grupos deverão recriar imagens "codificadas" em séries de zeros e uns, propostas entre si, sem, todavia, terem contacto visual com a imagem verdadeira. O professor deverá propor a regra de, tal como um computador, a informação ir sendo decodificada sequencialmente, isto é, partindo da primeira linha, até ao final da última coluna, e assim sucessivamente.

Alguns exemplos de exploração adicional podem ser propostos pelo professor, aos diferentes grupos, tendo por base os exemplos expostos nas figuras 5.12 a 5.14.

```

0 1 1 0
1 1 1 1
1 1 1 1
0 1 1 0

```

Figura 5.12: Exemplo 1

```

0 0 1 1 0
0 0 1 1 0
1 1 1 1 0
1 1 1 1 0
0 0 1 1 0
0 0 1 1 0

```

Figura 5.13: Exemplo 2

```

0 0 0 0 0
0 0 1 0 0
0 1 1 1 0
1 1 1 1 1
0 0 0 0 0

```

Figura 5.14: Exemplo 3

Uma possibilidade de exploração que o professor não deve descurar será referir que, sendo as imagens digitais registadas e transferidas por *pixels*, quanto maior for a quantidade de *pixels* utilizados, melhor e mais nítida é a imagem. Assim, deve o professor abordar o termo **resolução**, tão em voga nos dias de hoje, salientando o facto de este termo se referir, basicamente, ao número total de *pixels* utilizados para construir uma imagem. O professor deverá, contudo, salientar que quanto maior for a resolução de uma imagem, maior será a quantidade de memória requerida. Deste modo, e de forma a aplicar estes conceitos, o professor poderá sugerir aos alunos a determinação da resolução das imagens expostas nas figuras 5.12 a 5.14, tendo em conta as dimensões das imagens (em *pixels*) e o número total de *pixels* na imagem.

Para finalizar a actividade, o professor deverá referir que os satélites NOAA enviam, através de ondas de rádio, imagens da Terra de uma forma similar à actividade realizada anteriormente. Acontece, porém, que em vez de apenas se utilizarem as cores preta e branca, é utilizada uma escala de cinzentos, desde o branco até ao negro, num total de 256 tonalidades de cinza, conforme se ilustra na figura 5.15.

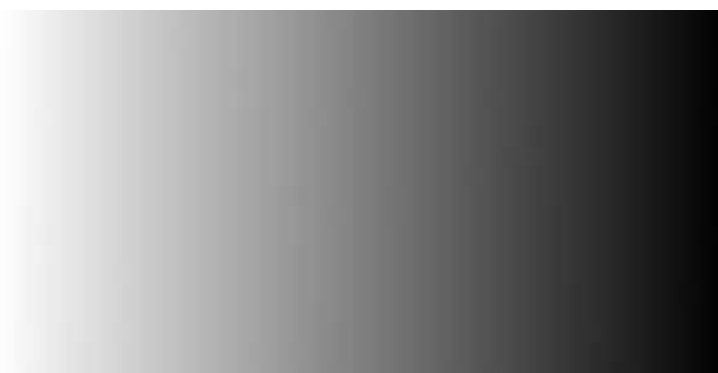


Figura 5.15: Escala de 256 níveis de cinzento.

Deste modo, o professor deverá referir que as fotografias que os satélites NOAA obtêm da Terra, podem ser obtidas se se conseguirem captar as ondas de rádio que estes emitem.

Para isso, é necessário o uso de uma antena, que capta essas ondas aquando da passagem do satélite no horizonte. Da mesma forma, o professor deverá salientar que, tal como para ouvir um programa de rádio é preciso ter um rádio e saber a sintonia da estação emissora, também para receber o sinal de satélite se torna necessário possuir um aparelho similar a um rádio, que recebe as ondas de rádio emitidas pelo satélite. Chegado a este ponto, o professor poderá reproduzir, para a turma, um exemplo de sinal APT transmitido pelos satélites NOAA, levantando à turma o problema de o que fazer com o som ouvido até à obtenção de uma imagem. Após alguma discussão, o professor deverá levar os alunos a concluir que é necessário, de alguma forma, registar o sinal áudio recebido. Assim, o professor deverá apresentar aos alunos o *software wxtoimg*, referindo aos alunos que é esse programa o responsável pela gravação do sinal emitido pelo satélite e posterior descodificação do sinal recebido em imagens da Terra.

Os alunos deverão ser encorajados a familiarizar-se com o programa, devendo o professor debruçar-se por uma análise detalhada das funções básicas do *software*. Posteriormente, deverão ser organizadas algumas sessões de gravação (de acordo com a previsão de órbitas dos satélites NOAA, já efectuada noutra actividade) em que os alunos assistam e colaborem na recepção do sinal.

5.5.5 As nuvens

Como pré-requisito desta actividade, subentende-se que os alunos adquiriram previamente algum conhecimento sobre o ciclo da água, sendo, assim, capazes de compreender o processo de formação de nuvens. Assim, o professor deverá começar a actividade com uma primeira eliciação das ideias dos alunos sobre o tema em análise. Para isso, deverá distribuir pela turma materiais diversos (canetas, marcadores, lápis, algodão, cartolinas), sugerindo aos alunos a elaboração de um desenho sobre nuvens. O professor deverá, portanto, estimular os alunos a representarem num desenho o resultado das suas observações diárias sobre o tipo de nuvens e as suas formas. Finda esta primeira parte da actividade, o professor deverá exhibir perante a turma uma série de imagens mostrando os vários tipos de nuvens. À medida que as diferentes nuvens vão sendo apresentadas, deve haver uma preocupação, da parte do professor, em explicar a etimologia do nome das nuvens. O professor deverá, contudo, abster-se de apresentar as imagens numa ordem particular, limitando-se a dar a conhecer aos alunos algumas das suas características básicas. Deve salientar-se que se encoraja o uso de termos como "parecido com bolas de algodão" em vez de cumuliforme, ou "como um lençol", em vez de estratiforme, para a descrição do aspecto das nuvens. Após esta primeira apresentação, o professor deverá começar por sugerir aos alunos que tentem comparar as nuvens dos seus desenhos com as nuvens apresentadas, discutindo assim semelhanças e diferenças. Posteriormente, e baseados nas imagens apresentadas, os alunos deverão ser incitados a elaborar vários desenhos onde exponham a sua representação dos tipos de nuvens apresentados, anexando a esses desenhos a informação sobre o nome das nuvens, a sua composição e a sua altitude. De seguida, o professor deverá sugerir aos alunos que agrupem os seus desenhos representativos de nuvens em classes, expondo, por escrito, qual a razão conducente a determinado agrupamento. Sugere-se que os argumentos

apresentados pelos alunos possam ser debatidos entre os grupos, assumindo o professor um papel de moderador.

Como forma de sistematização do trabalho desenvolvido pelos alunos, o professor deverá apresentar a classificação de nuvens tendo em conta a sua altitude. Assim, deverá referir a existência de um grupo de nuvens baixas, nuvens médias e nuvens altas¹. Paralelamente, o professor não deverá descurar as referências históricas que acompanham o sistemas de classificação de nuvens. Assim, deve ser enfatizado que a classificação de nuvens baseada na altitude da base da nuvem é bastante útil porque as imagens de satélite que se recebem via APT contêm informação sobre a temperatura, que está directamente relacionada com a altitude a que as nuvens se encontram, isto é, a temperatura da nuvem decresce à medida que a altitude aumenta. Deste modo, o professor deverá salientar que o sinal de satélite recebido contém uma imagem do visível e outra no infravermelho, que permite perceber as diferenças de temperatura. Assim, numa imagem do infravermelho a cor branca sugere uma temperatura muito baixa, ao facto que uma cor mais escura, sugere uma temperatura mais elevada. Finda esta explicação, o professor deverá exhibir, na turma, uma imagem do infravermelho, emitida em APT pelos satélites NOAA (fig. 5.16).

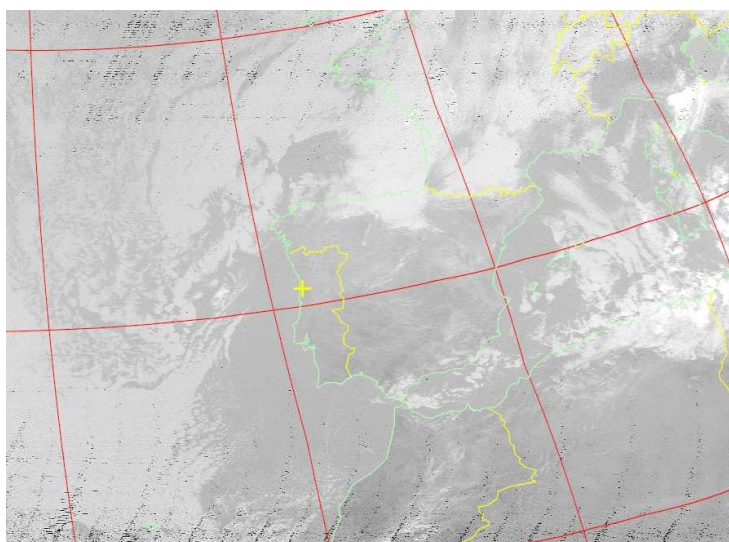


Figura 5.16: Escala de 256 níveis de cinzento.

De forma a reconhecerem o decréscimo da temperatura com o aumento da altitude, o professor deverá propor à turma a realização de um gráfico, característico da variação de temperatura na atmosfera com a altitude, a partir dos dados da tabela² 5.1.

¹Nesta abordagem, pode considerar-se que um *cumulonimbus* é uma nuvem alta, dada a extensão vertical que pode desenvolver.

²Os dados exibidos resultam da aplicação das expressões que permitem o cálculo da temperatura a vários níveis de altitude de acordo com o modelo da Atmosfera-Padrão Internacional, dentro da troposfera. Neste modelo, a temperatura varia linearmente com a altitude, a uma taxa de 0,0065 K/m, assumindo-se a temperatura à superfície como 288 K.

Altitude / m	Temperatura / °C
0	14,85
1000	8,35
2000	1,85
3000	-4,65
4000	-11,15
5000	-17,65
6000	-24,15
7000	-30,65
8000	-37,15
9000	-43,65
10000	-50,15
11000	-56,65

Tabela 5.1: Variação da temperatura na atmosfera com a altitude, para a região da troposfera.

Após o traçado do gráfico, o professor deverá questionar os alunos sobre uma estimativa da temperatura para valores de altitude não constantes na tabela, como por exemplo 4500 m, 6500, entre outros. Prosseguindo com a actividade, o professor deverá sugerir que, ao longo da recta obtida para o gráfico, os alunos disponham alguns dos tipos de nuvens analisados, consoante a sua altitude. Posteriormente, deverá o professor colocar questões para o estabelecimento de relações, por parte dos alunos. Por exemplo, o professor poderá questionar os alunos sobre quais as nuvens mais frias, ou ainda questioná-los acerca das suas ideias sobre a composição em gelo das nuvens consoante a sua altitude. Retomando a imagem de satélite já utilizada, o professor deverá sistematizar este conjunto de novos conhecimentos adquirindo, enfatizando que as diferenças na tonalidade de cinzento existentes na imagem implicam diferenças na temperatura, sendo, por isso relativamente simples distinguir nuvens baixas, médias e altas. Em jeito de conclusão, o professor deverá salientar alguns critérios de detecção de nuvens:

As nuvens baixas encontram-se a uma altitude inferior a 2 km. Dois dos tipos de nuvens baixas mais comuns são o nevoeiro e as nuvens do tipo *stratus*. Numa imagem do infravermelho, estas nuvens surgem com um tom de cinzento uniforme, sem qualquer textura, por essa razão, é difícil distingui-las do terreno, devido às semelhanças na temperatura. Já as nuvens médias podem ser encontradas em altitudes que variam entre os 2 e os 6 km. Numa imagem do infravermelho, apresentam um tom de cinza mais claro que a superfície. Dois tipos de nuvens médias são os *altocumulus* e os *altostratus*. As primeiras assemelham-se a bolas de algodão, ao passo que as segundas cobrem grandes partes do céu como se de um lençol se tratasse. As nuvens médias são as mais difíceis de detectar numa imagem de satélite porque, às vezes, são encobertas por nuvens altas. Por último, as nuvens altas podem encontrar-se a altitu-

des entre os 6 e os 12 km e são compostas por gelo. Como são muito frias, elas surgem numa imagem do infravermelho com uma tonalidade branca. Dois exemplos são as nuvens *cumulonimbus* e as nuvens *cirrus*. As primeiras são nuvens que aparecem como manchas brancas brilhantes, ao passo que as segundas surgem como se fosse leves pinceladas de branco na imagem.

Finalmente, o professor distribuirá pelos grupos de alunos imagens de satélite na região do infravermelho e do visível, salientando que, por vezes, há a necessidade de trabalhar com as duas imagens para melhor distinguir os tipos de nuvens. Deste modo, proporá aos alunos a tarefa de classificar as nuvens observadas nas imagens, assinalando-as devidamente. Por último, o professor poderá ainda abordar o tema das composições coloridas, levando os alunos a preencherem, de uma determinada cor do seu agrado, uma região do espaço onde possam encontrar determinados tipos de nuvens similares entre si, dando, por conseguinte, ênfase ao processo de obtenção de imagens coloridas como se observa diariamente, por exemplo, no boletim meteorológico transmitido pela televisão.

5.6 Resultados Preliminares

Nesta secção dá-se conta dos resultados preliminares obtidos no âmbito de uma investigação de carácter qualitativo, com o intuito de conhecer as ideias de alunos do 1º ciclo do ensino básico relativas ao tema "satélites", perscrutando, deste modo, a exequibilidade das actividades descritas na secção anterior. Para tal, recorreu-se a uma turma do 4º ano de escolaridade, de uma escola EB1 pertencente a um agrupamento de escolas da cidade de Viseu, pelo que se pode afirmar que se trata de uma escola de tipo urbano. A turma, composta por 21 alunos (16 do sexo masculino e 5 do sexo feminino), apresenta resultados de aprendizagem dentro da média, havendo um aluno que beneficia de apoio educativo.

A actividade teve por finalidade a elicitação das ideias dos alunos, tendo-se posteriormente procedido à análise de conteúdo dos resultados obtidos. Deste modo, a actividade, centrada na pergunta "o que é, para ti, um satélite?", implementou-se de acordo com a seguinte metodologia: em primeiro lugar, sem qualquer enquadramento teórico prévio, foi requerido aos alunos que elaborassem individualmente um desenho capaz de representar o seu entendimento sobre o conceito de satélite. Assim, esta estratégia possibilitou aos alunos o tempo de reflexão necessário para a representação do seu conhecimento prévio. Não foram dadas quaisquer instruções sobre que elementos devessem constar no desenho, constituindo, portanto, a própria criatividade dos alunos o limite da actividade. Após esta primeira tarefa, os desenhos foram recolhidos, tendo sido solicitado aos alunos que, num pequeno texto descrevessem, por palavras suas, o que é, no seu entendimento, um satélite. Adicionalmente, os alunos foram incentivados a incluir, no texto redigido, aspectos particulares deste tema que gostassem de ver discutidos nas suas aulas. Finda a actividade, todos os materiais elaborados pelos alunos foram analisados e as ideias extraídas dessa análise foram codificadas independentemente pelo autor do estudo, tendo a sua validação sido efectuada por uma professora da área de ciências da educação. Note-se, porém, que,

de forma a garantir o anonimato, os nomes apresentados ao longo deste texto são fictícios, tendo sido apenas respeitado o género dos alunos.

Assim, a análise do conteúdo dos dados recolhidos resultou na organização e representação das ideias dos alunos de acordo com redes sistémicas, evidenciando respostas: i) cientificamente correctas (subdivididas em respostas total e parcialmente correctas), ii) respostas cientificamente incorrectas e iii) respostas não codificadas.

No que diz respeito à representação de conhecimento dos alunos exposta nos desenhos efectuados, as figuras 5.17 a 5.19 ilustram alguns dos resultados obtidos.

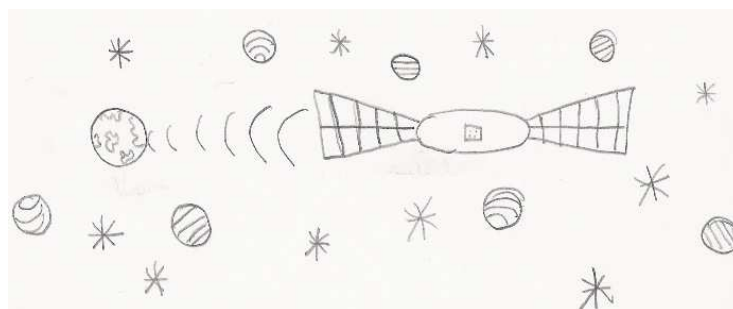


Figura 5.17: Representação da Ana do que é, para si, um satélite.

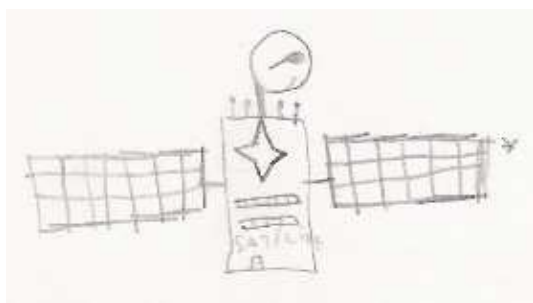


Figura 5.18: Representação do Bruno do que é, para si, um satélite.

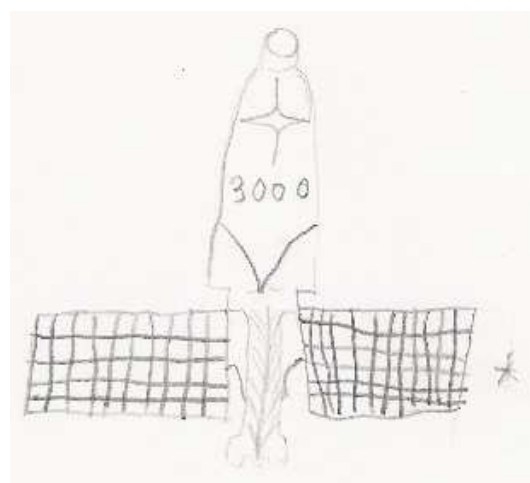


Figura 5.19: Representação do Carlos do que é, para si, um satélite.

Note-se que, numa primeira análise aos desenhos elaborados, pode verificar-se que os alunos evidenciam já algum conhecimento prévio sobre o assunto, revelando ideias sobre a estrutura de um satélite, com particular ênfase para os painéis solares, representados na grande maioria dos desenhos. Por outro lado, tendo em conta os textos elaborados pelos alunos, a análise incidiu, conforme referido anteriormente, sobre ideias cientificamente incorrectas e ideias cientificamente correctas, efectuando-se uma divisão entre respostas total

e parcialmente correctas. Assim, foram consideradas as respostas que reveladoras da ideia de "receber e transmitir" informação como totalmente correctas ao passo que respostas que evidenciaram as ideias de "receber" ou "transmitir" informação foram consideradas como parcialmente correctas. Nos resultados obtidos é de realçar que da análise dos vinte e um textos redigidos pelos alunos foram encontradas onze respostas totalmente correctas, do ponto de vista científico, seis respostas parcialmente correctas e apenas três alunos forneceram respostas não aceites cientificamente. Apenas uma das respostas fornecidas não pôde ser codificada segundo os parâmetros que possibilitaram a estruturação da rede sistémica, tendo em conta que, para o aluno, um satélite é um instrumento científico que observa a Terra e os outros planetas, para prever o tempo. Deste modo, o aluno não faz, na sua resposta, qualquer menção a processos de transmissão ou recepção de informação, razão pela qual a sua resposta não foi categorizada como cientificamente correcta ou incorrecta. A título de resumo, considere-se a figura 5.20 que evidencia os resultados da análise das respostas dos alunos.

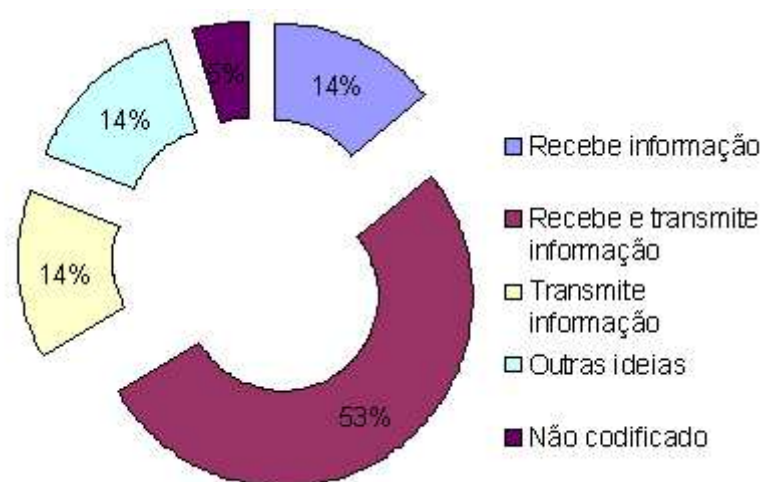


Figura 5.20: Distribuição das funções de um satélite, segundo as respostas dos alunos à pergunta: o que é, para ti, um satélite?

Dando particular ênfase aos conceitos envolvidos nas respostas, verifica-se a premência de uma análise cuidada dos resultados expostos na figura 5.20. Assim, tendo em conta as respostas parcialmente correctas, os alunos referem, por exemplo, a função de satélite enquanto receptor de informação de outros planetas e de estrelas (conforme ilustrado na figura 5.21, se bem que outras funções, como a monitorização da Terra, também foram contempladas, conforme evidenciado na figura 5.22.

No que toca às ideias reveladoras das funções exclusivas de transmissão do satélite, verifica-se uma particular sensibilidade dos alunos para o papel desempenhado pelos satélites no contexto das comunicações, conforme é possível observar na figura 5.23.

O que é, para ti, um satélite?

Um satélite para mim é uma coisa que
vai ao espaço e tira muitas imagens dos
outros planetas, das estrelas e aquelas aquelas e
que tira as imagens.

Figura 5.21: Satélite enquanto receptor de informação de outros planetas e de estrelas.

O que é, para ti, um satélite?

Para mim um satélite é um apa-
relho que vigia a Terra.
Este satélite está a ver a Terra.

Figura 5.22: Satélite enquanto ferramenta para monitorização da Terra.

O que é, para ti, um satélite?

Um satélite é um aparelho no espaço
que transmite ondas para a Terra.
Porque se não havia satélites, não
havia televisão, rádio, telemóvel.

Figura 5.23: Satélite enquanto transmissor de informação para a Terra.

No seguimento desta análise, e considerando particularmente as respostas totalmente correctas do ponto de vista científico, onze alunos evidenciaram conhecimento das funções de recepção e transmissão de informação dos satélites; todavia, as suas respostas contemplam várias possibilidades de recepção e transmissão de informação. Por exemplo, a figura 5.24 ilustra a resposta de um aluno, que entende que o satélite transmite informação sobre o espaço, as estrelas e os planetas.

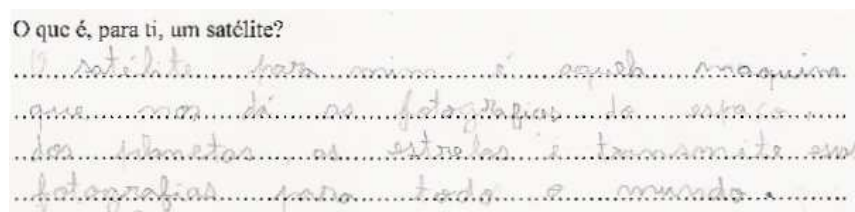


Figura 5.24: Satélite enquanto transmissor e receptor de informação de outros planetas e estrelas.

Noutra possibilidade, um outro aluno evidencia o seu conhecimento sobre a informação recebida e transmitida pelos satélites com o objectivo da previsão do tempo, conforme ilustra a figura 5.25.

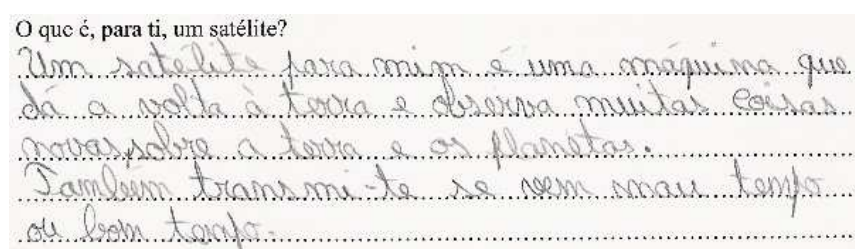


Figura 5.25: Satélite transmite e recebe informação que permite a previsão do tempo.

Reflectindo sobre os resultados cientificamente incorrectos, refira-se que os alunos revelam ideias diversas, como o aluno que entende satélite como "um sistema ligado à Terra, para saber onde o satélite está". Outra resposta particularmente interessante coloca o satélite com funções muito similares às sondas espaciais (figura 5.26)

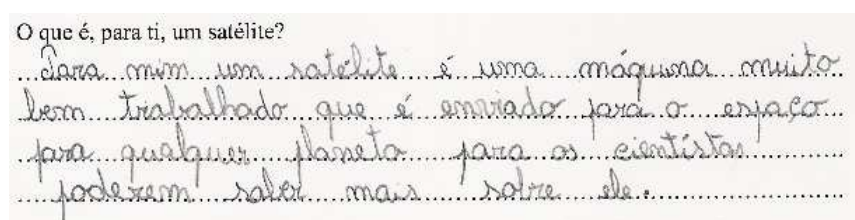


Figura 5.26: Satélite enquanto sonda espacial.

Assim, tendo em conta os resultados desta actividade, pode este capítulo culminar com a nota de esperança aos professores e investigadores na área da educação em ciências, bem como ao autor do estudo: as crianças do 4º ano do 1º ciclo do ensino básico revelam, na sua maioria, conhecimentos prévios cientificamente correctos e as questões que levantaram dão conta da motivação da turma para a pesquisa e aprendizagens sobre o tema, justificando, assim, a adequação das actividades propostas no decurso deste capítulo. Adicionalmente, a figura 5.27 ilustra o resultado da análise dos principais temas que os alunos referiram, nos

textos elaborados que gostariam de ver discutidos sobre o assunto, deixando claro quais os interesses dos alunos no que concerne a este tema.

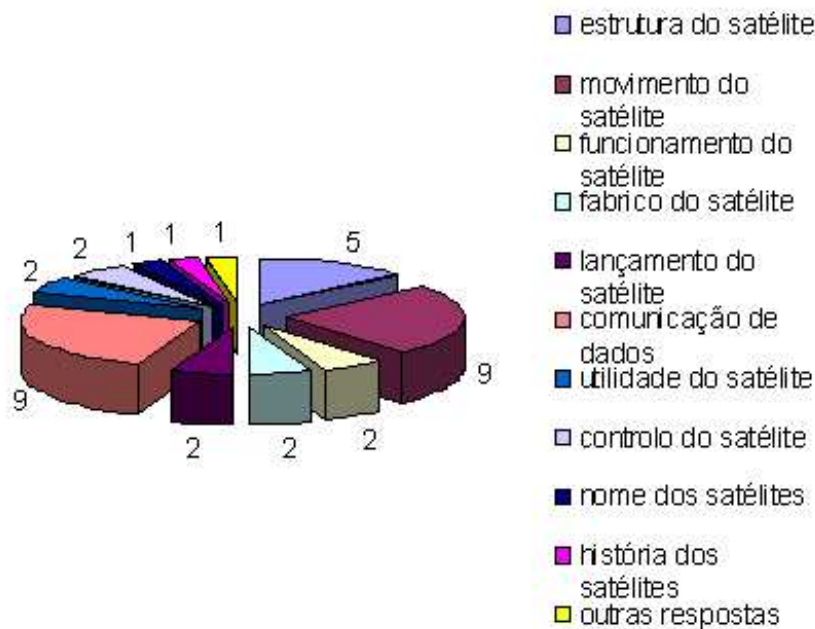


Figura 5.27: Principais temas sobre os quais os alunos manifestaram o seu interesse.

Note-se, contudo, que é de destacar o facto de os próprios alunos estarem interessados em conhecer aspectos relativos à história dos satélites, se bem que os temas inerentes à comunicação via satélite e o movimento orbital sejam os que suscitam aos maior desejo de aprender.

Capítulo 6

Validação do modelo numérico MM5 com imagens de satélite

Neste capítulo apresentam-se cinco secções básicas. Assim, na primeira secção "**Introdução**" aborda-se ligeiramente o modelo de previsão numérica MM5, contextualizando o leitor na sua implementação no Departamento de Física da Universidade de Aveiro, bem como nas suas definições gerais. A segunda secção, "**Breve Descrição do Modelo**" dedica-se à exposição detalhada das características do modelo numérico de previsão MM5. A terceira secção dedica-se à exposição de alguns princípios de interpretação de imagens de satélite, úteis para a correcta compreensão dos resultados obtidos neste trabalho. Na quarta secção, "**Metodologia**", descreve-se a metodologia empregue para o estudo realizado neste capítulo. Por fim, dá-se conta da análise e discussão dos resultados obtidos na quinta secção.

6.1 Introdução

O modelo numérico de previsão de tempo MM5 (Mesoscale Model) foi desenvolvido em conjunto pela Pensylvania State University (PSU) e pelo *National Center for Atmospheric Research* (NCAR) no final dos anos 70 do século XX e encontra-se actualmente na sua quinta versão. Este modelo tem vindo a lograr validações bem sucedidas nas mais variadas situações, entre as quais se salientam (Dudhia, 1993; Cox et al, 1998; Mass et al, 2002, White et al, 1998) tornando, assim, este modelo num dos mais utilizados em todo o mundo para previsão meteorológica. No caso particular de Portugal, salienta-se que este modelo está implementado e tem vindo a ser processado numa base praticamente operacional na Universidade de Aveiro desde 2003, graças aos esforços do Dr. Yoshihiro Yamasaki, em três domínios aninhados (D1, D2 e D3), com resoluções espaciais de 81, 27 e 9 km, conforme se ilustra na figura 6.1:



Figura 6.1: Ilustração dos domínios do modelo MM5

6.2 Breve Descrição do Modelo de Mesoescala MM5.

O MM5 é um modelo de mesoescala de área limitada, não hidrostático, com um sistema de coordenadas que segue a topografia do terreno, desenvolvido para simular ou prever a circulação atmosférica em mesoescala ou em escala regional. O modelo é constituído por vários programas de pré e pós processamento, que são referidos, colectivamente, como sistema de modelação MM5. A relação entre os vários programas pode ser esquematizada na figura 6.2

No que diz respeito à etapa de pré-processamento, o sistema de modelação MM5 é, conforme se verifica no diagrama da figura 6.2, constituído por vários programas:

- TERRAIN ;
- REGRID;
- LITTLE_R;
- INTERPF;
- INTERPB.

O processamento dos dados, integração temporal das equações e obtenção das previsões é feito fazendo uso de um programa que tem o mesmo nome, MM5. Já no que diz respeito

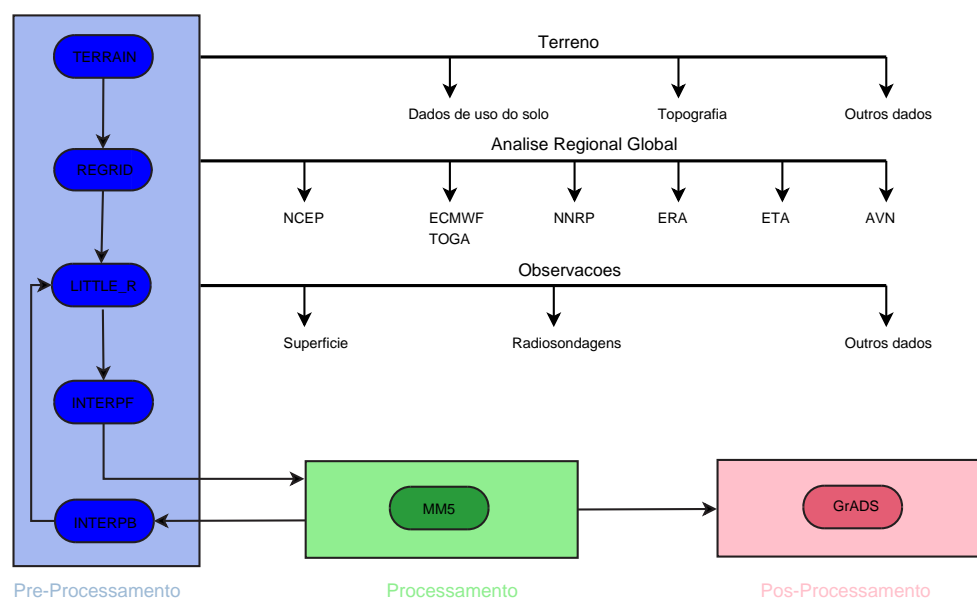


Figura 6.2: Esquematização global da constituição do modelo MM5 (adaptação de Dudhia et al., 2005)

ao pós-processamento, isto é, à visualização dos resultados obtidos, esta etapa pode ser feita com recurso a vários programas, salientando-se, por ter sido o *software* utilizado neste trabalho, o GrADS (*GRids Display and Analysis System*).

Passando a uma exposição mais detalhada dos vários programas de pré-processamento enunciados anteriormente, refira-se que o programa TERRAIN define todos os domínios terrestres que serão usados no processamento, bem como a relação entre eles, sendo, por isso, o primeiro programa a utilizar numa sessão de utilização do modelo MM5. Assim, deve definir-se neste primeiro programa, para cada domínio, a sua extensão e número de pontos da malha. Deste modo, para o domínio maior devem definir-se a latitude e longitude do ponto central, o número de pontos da malha e a distância entre pontos consecutivos da malha, sendo que a relação entre os vários domínios pode ser unidireccional, em que a informação é transmitida do domínio maior (domínio-mãe) para o mais pequeno (domínio-filho) só através das condições fronteira, ou bidireccional, em que adicionalmente os resultados do domínio mais pequeno substituem os do domínio maior na zona comum. Este programa processa, para todos os domínios, a informação relativa à topografia do terreno e ao tipo de usos do solo/vegetação. A informação é recebida numa malha regular de latitude/longitude e interpolada horizontalmente para os domínios escolhidos. Em cada ponto, a informação de usos do solo corresponde a uma percentagem para cada tipo de solo. O tipo de solo controla as seguintes propriedades: albedo, emissividade, disponibilidade de água, inércia térmica e rugosidade.

A interpolação pode ser feita segundo o método de Cressman, disponível para a topografia, ou segundo o método bi-parabólico disponível para a topografia e para os usos

do solo. Este método faz um ajuste bidimensional de duas parábolas e considera que o valor para o ponto desejado é uma média pesada dos valores dados pelas duas parábolas. No método de Cressman estipula-se um raio de influência e a importância dos valores dos pontos dentro dessa área para o ponto que se está a estimar é inversamente proporcional à distância. Este método permite controlar a atenuação dos gradientes.

Na definição dos domínios especifica-se a projecção desejada: Lambert-Conformal, Estereográfica Polar ou Mercator.

A escolha dos domínios tem como preocupação o tempo de computação, que é especialmente importante para a previsão meteorológica em tempo real. Naturalmente, o tempo de execução do modelo é proporcional ao produto do número de pontos no tempo pelo número de pontos no espaço. O passo no tempo, devido a contingências resultantes da estabilidade dos métodos numéricos, deve ser (em segundos) o triplo do passo no espaço (em km), o que significa que os domínios mais finos são, por cada ponto, muito mais dispendiosos em tempo de computação que os domínios mais grosseiros. Ora, já que a relação entre os vários domínios é bi-direccional, o passo espacial tem que diminuir de 1/3 para cada domínio aninhado em relação ao seu domínio-mãe. Três malhas aninhadas em *two-way* com o mesmo número de pontos têm um custo computacional de 1:3:9 para um dado intervalo de tempo o que significa que a malha mais fina é nove vezes mais pesada que a malha maior, do ponto de vista do tempo de processamento.

Já no que concerne ao programa REGRID, refira-se que a sua função é a leitura de análises meteorológicas e previsões de tempo gravadas em ficheiro ao longo dos vários níveis de pressão, interpolando-as posteriormente ao longo da grelha horizontal definida previamente com o programa TERRAIN. Assim, com o recurso aos dados climatológicos referidos anteriormente, o REGRID proporciona uma primeira inicialização do modelo, executando, posteriormente, as interpolações dos parâmetros meteorológicos para todos os pontos da grelha definidos, quer para o domínio principal, quer para os sub-domínios.

Prosseguindo com a descrição dos programas de pré-processamento do MM5, refira-se o LITTLE_R, cujo principal propósito é o de executar uma análise objectiva, combinando, assim, os valores de palpite obtidos no programa REGRID com os resultados de observação de radiossondas e de superfície. Deste modo, através da assimilação dos dados através de uma análise objectiva, o LITTLE_R possibilita o aperfeiçoamento dos valores de primeira inicialização, eliminando, através de variados testes, baseados nas técnicas de Cressman ou multiquadrática primeiros palpites incoerentes ou mesmo errados, permitindo assim uma melhoria no detalhe da interpolação em mesoescala.

De seguida, o próximo passo na execução do modelo recai sobre o programa INTERPF. Assim, e num sentido lato, pode referir-se que este programa funciona como interface entre as rotinas de análise e o modelo de mesoescala. Assim, o programa INTERPF utiliza os dados de saída do programa LITTLE_R, que se encontram dispostos em níveis de pressão *standard* e interpola esses dados na grelha vertical definida pelo utilizador. Essa grelha é definida em termos de coordenadas sigma, onde os níveis mais baixos seguem aproximadamente o terreno, ao passo que a superfície superior é plana, conforme ilustra a figura 6.3.

Assim, e por inspecção da figura 6.3, pode verificar-se que os níveis intermédios tendem

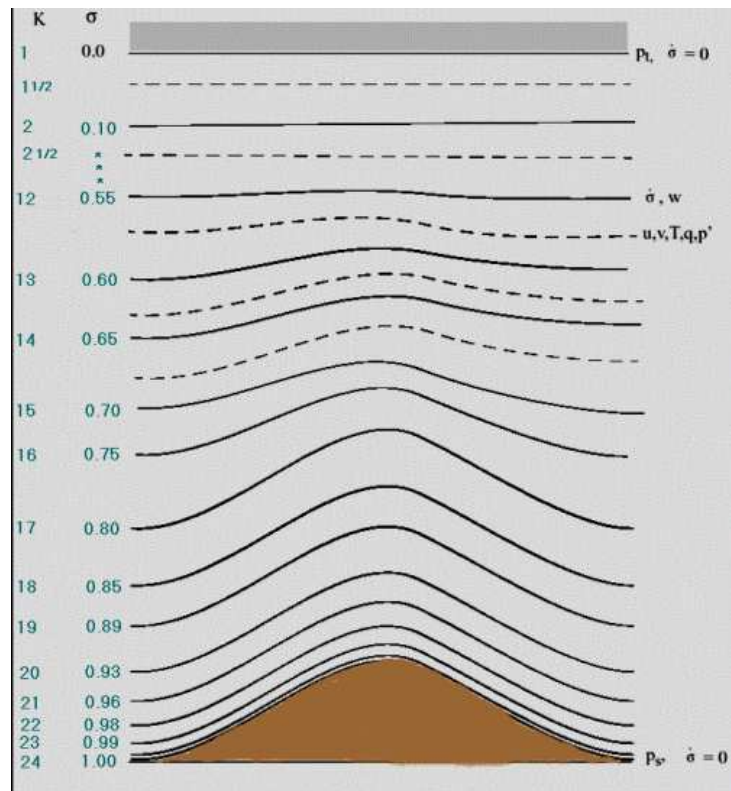


Figura 6.3: Representação esquemática da estrutura vertical do modelo.

progressivamente a sre planos, à medida que a pressão tende para o valor escolhido de pressão no topo. A grandeza adimensional sigma σ utilizada para definir os níveis do modelo é, portanto,

$$\sigma = \frac{p_0 - p_t}{p_{s0} - p_t} \quad (6.1)$$

Na equação 6.1 escrita anteriormente, p_0 representa a pressão de referência, p_t a pressão no topo e p_{s0} a pressão de referência na superfície. Assim, por análise da equação 6.1 é relativamente simples discernir que o valor 1 define a superfície e o valor 0 o topo da atmosfera do modelo.

Adicionalmente, o INTERPF gera as condições fronteira inicial, lateral e de superfície.

Finda a etapa de pré-processamento, todos os dados de saída obtidos pelos programas de pré-processamento referidos anteriormente são utilizados pelo programa MM5 para integração numérica das equações constitutivas do modelo, permitindo assim a obtenção da previsão numérica do tempo. No programa MM5 são ainda definidos os parâmetros dos processos físicos, nuvens, precipitação, camada limite e radiação.

Posteriormente, os dados de saída do modelo podem ser sujeitos a representação gráfica imediata, ou ainda à execução do programa INTERPB, cuja principal função é a de transformar os dados que ermitem a passagem do modelo de mesoescala, em coordenadas

σ , para níveis de pressão.

6.3 Breve abordagem à interpretação de imagens de satélite.

A interpretação e análise visuais remontam aos inícios da Detecção Remota, através da interpretação de fotografias aéreas. No caso das imagens de satélite, a sua interpretação pode permitir a extração de um rol de informações respeitantes ao estado actual do tempo. Assim, pode dizer-se que uma imagem de satélite pode ser vista, em sentido figurado, como uma radiografia da atmosfera, possibilitando assim aos meteorologistas, previsores de tempo e outros, a compreensão do estado do tempo, bem como a sua previsão.

Na sua grande maioria, as imagens de satélite, compostas por milhares de *pixels*, possuem uma resolução radiométrica de 8 ou 10 bits. No caso das imagens utilizadas neste trabalho, estas caracterizam-se por uma resolução radiométrica de 8 bits, sendo, portanto, constituídas por $2^8 = 256$ tons de cinza diferentes, cada um deles representando uma quantidade de energia detectada pelo sensor a bordo do satélite. Deste modo, diferentes características na Terra ou na atmosfera possuem diferentes níveis radiométricos, razão pela qual o grau de contraste entre um objecto e o seu fundo é tão importante.

Conforme referido em 2.5.1, o modo APT dos satélites de órbita polar NOAA permite a recepção de imagens do visível e do infravermelho do AVHRR, pelo que se dá particular ênfase, de seguida, a estas duas bandas espectrais, no que diz respeito à interpretação de imagens.

As imagens na região do visível indicam, basicamente, a quantidade de radiação solar reflectida pela Terra. Uma imagem do visível constitui, portanto, uma aproximação ao albedo terrestre ¹. Assim, numa imagem de satélite na banda do visível, tons claros representam áreas de elevada reflectividade, ao passo que tons mais escuros representam áreas de reflectividade mais baixa. Na figura 6.4, uma imagem obtida a partir do sinal APT do satélite NOAA-17, a 18 de Fevereiro de 2005, às 11:10, as nuvens espessas e volumosas surgem brancas, uma vez que possuem um elevado albedo. As nuvens mais delgadas surgem num tom de cinza claro até cinza médio. O oceano, com o seu reduzido albedo, surge quase negro. Finalmente os continentes, caracterizados por albedos que dependem das características da superfície, adquirem várias tonalidades de cinzento.

Já no que diz respeito às imagens na banda do infravermelho, refira-se que, tendo em conta que a quantidade de energia emitida depende da temperatura da superfície, as imagens do infravermelho são essencialmente ilustrativas das temperaturas da superfície e do topo das nuvens, em termos de escalas de cinza. Assim, a informação disponibilizada por estas imagens pode ser utilizada para observar as propriedades da Terra e da atmosfera. Numa imagem convencional no infravermelho, áreas frias surgem com uma coloração branca

¹Numa definição mais ampla, considera-se albedo a razão entre a radiação electromagnética reflectida e a radiação electromagnética incidente sobre um corpo ou uma superfície. No caso da Terra, esta possui um albedo que se situa entre 37 e 39%

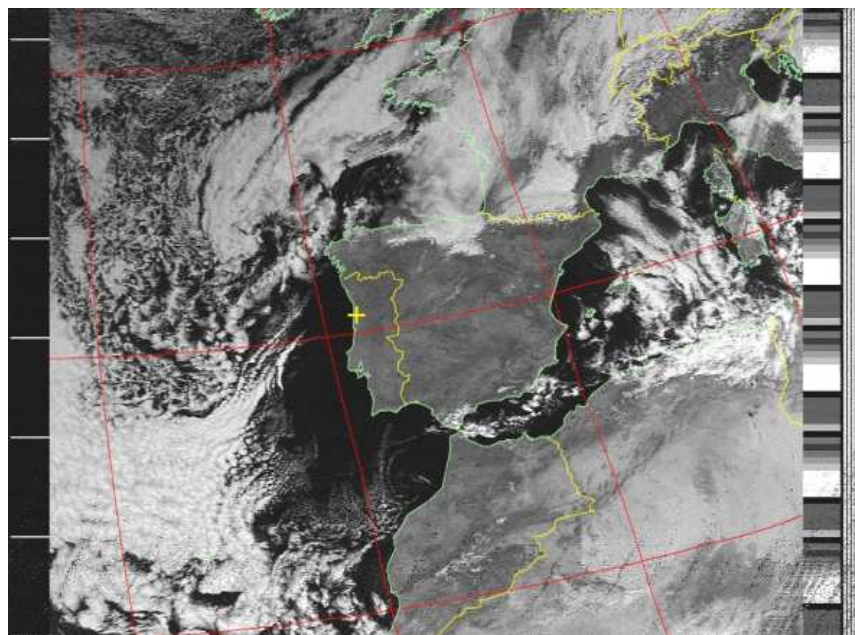


Figura 6.4: Imagem do visível, captada a partir do sinal APT recebido do satélite NOAA-17 às 11:10 do dia 18 de Fevereiro de 2005.

ou cinzento claro, ao passo que áreas mais quentes possuem tonalidades de cinzento mais escuro.

Tendo em conta a resolução radiométrica das imagens obtidas, os 256 níveis de cinzento variam do branco (temperaturas mais baixas) ao negro (temperaturas mais elevadas), sendo que a correlação entre o nível de cinza da imagem e a temperatura de brilho é estabelecida de forma linear. Na figura 6.5 é ilustrado um exemplo de uma imagem na região do infravermelho.

Assim, na imagem da figura 6.5, os topos de nuvens altas (com uma temperatura de brilho baixa) surgem com cor branca, nuvens baixas surgem com tons de cinza claros e a superfície dos continentes, bem como a dos oceanos, se caracteriza por uma tonalidade de cinzento mais escura.

Passando à identificação concreta dos tipos de nuvens, e reconhecendo a sua formação a partir do arrefecimento do ar até ao ponto de orvalho², onde o vapor de água existente no ar condensa em torno de núcleos de condensação, refira-se que existem determinados parâmetros de uma imagem do visível que permitem a identificação individual de certos tipos de nuvens. Entre outros parâmetros, podem ser considerados:

- O brilho;
- A textura;
- O padrão de organização;

²A temperatura em que o vapor de água fica saturado

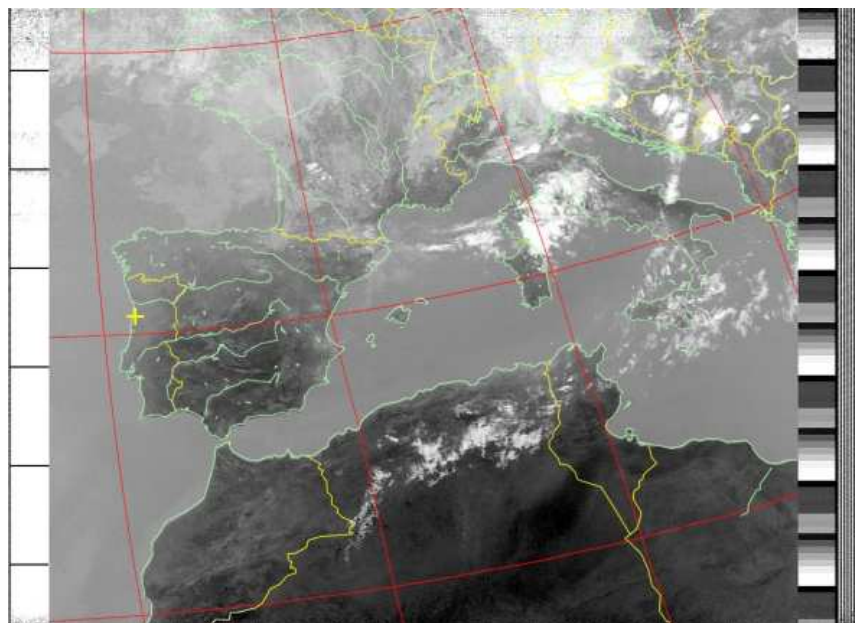


Figura 6.5: Imagem do infravermelho, captada a partir do sinal APT recebido do satélite NOAA-17 às 10:32 do dia 1 de Julho de 2005.

- A definição dos contornos;
- O tamanho;
- A forma individual.

Assim, e de um modo geral, o método mais eficaz para a identificação de tipos de nuvens consiste na utilização de imagens do visível e do infravermelho. Logo, a imagem do visível permite a identificação da forma, da textura e do padrão de organização das nuvens, a par com a sua espessura. Concomitantemente, esta informação pode ser comparada com a imagem do infravermelho, de forma a determinar a altura das nuvens. Deste modo, cruzando toda esta informação, torna-se possível, na maior parte dos casos, a identificação rigorosa dos tipos de nuvens visualizadas numa imagem de satélite, bem como a previsão do tempo, associada ao tipo de nuvens presentes.

A classificação básica das nuvens tem por base a aparência e a altitude das nuvens. Assim, desenvolveu-se originalmente um método de classificação de nuvens segundo quatro categorias básicas, isto é:

- Nuvens do tipo *stratus*, dispostas em camadas;
- Nuvens do tipo *cumulus*, cuja ocorrência se verifica em montes;
- Nuvens do tipo *cirrus*, assemelhando-se a tufo de pelo;
- Nuvens do tipo *nimbus*, associadas a chuva intensa.

A partir do século XIX, reajustou-se o sistema de classificação existente para inclir termos contabilizadores da altitude das nuvens. Assim, actualmente, considera-se a existência de quatro grupos principais de nuvens, contabilizando um total de dez géneros. Num primeiro grupo, o das **nuvens altas**, podem encontrar-se nuvens dos tipos *cirrus* (Ci), *cirrostratus* (Cs) e *cirrocumulus* (Cc). Este tipo de nuvens encontra-se frequentemente acima de 5 a 6 km do solo, sendo constituídas predominantemente por cristais de gelo. Noutro grupo, o das **nuvens médias**, incluem-se as nuvens de género *altostratus* (As) e *altocumulus* (Ac), cuja altitude varia entre os 2 e os 6 km acima do solo, sendo que a sua constituição é fundamentalmente de gotículas de água. No que diz respeito ao grupo das **nuvens baixas**, cuja altitude se situa abaixo dos 2 km, podem incluir-se as nuvens dos géneros *stratus* (St), *stratocumulus* (Sc) e *nimbostratus* (Ns). Na composição destas nuvens predominam as gotículas de água líquida. Um último grupo inclui as **nuvens de desenvolvimento vertical**, cuja base se situa em níveis de baixa altitude, mas que atingem uma extensão vertical suficientemente grande para atingir os demais níveis de altitude. Assim, incluem-se neste grupo os *cumulus* (Cu) e os *cumulonimbus* (Cb).

Note-se, contudo, que numa descrição mais pormenorizada das nuvens podem distinguir-se algumas espécies entre os géneros e, entre as espécies, as nuvens podem ainda diversificar-se em variedades. Adicionalmente, pode ainda considerar-se a existência de particularidades complementares nas designações das nuvens. Embora o objectivo deste capítulo não passe pela descrição e categorização exaustiva dos tipos de nuvens existentes, ilustram-se, na tabela 6.1, alguns exemplos de espécies, variedades e particularidades frequentes das nuvens referidas.

Espécies	Variedades	Particularidades
<i>Congestus</i>	<i>Undulatus</i>	<i>Arcus</i>
<i>Castellanus</i>	<i>Translucidus</i>	<i>Praecipitatio</i>
<i>Fibratus</i>	<i>Opacus</i>	<i>Mamma</i>

Tabela 6.1: Alguns tipos de espécies, variedades e particularidades mais comuns dos diversos tipos de nuvens

Em conformidade com o que tem vindo a ser referido, as subsecções seguintes dedicam-se à exposição das características que permitem a identificação de tipos particulares de nuvens, a partir de imagens de satélite, tendo em conta uma categorização baseada na sua localização na atmosfera, isto é:

- Nuvens baixas (abaixo de 2 km do solo), onde se podem encontrar nuvens estratiformes e cumuliformes;
- Nuvens médias (situadas entre 2 a 6 km acima do solo);
- Nuvens altas (localizadas entre 5-6 a 12 km acima do solo), onde se podem encontrar nuvens cirriformes.

6.3.1 Identificação de nuvens baixas

Os três tipos básicos de nuvens baixas, *stratus*, *stratocumulus* e *nimbostratus* exibem características que permitem a sua identificação através de uma imagem de satélite. Assim, as nuvens cumuliformes surgem como células individuais ou agregados de células individuais, que possuem um diâmetro na ordem de 1 km. Já as nuvens estratiformes cobrem largas áreas, possuindo normalmente uma textura lisa. As nuvens de tipo *stratocumulus* encontram-se frequentemente em bandas, ou em grandes agregados. Por outro lado, os topos de nuvens cumuliformes possuem uma textura mais granulosa do que as nuvens estratiformes.



Figura 6.6: Nuvens de tipo *stratus*. Créditos da imagem: http://www.meteo-world.com/dossiers/dossier2_1.php



Figura 6.7: Nuvens de tipo *stratocumulus*. Créditos da imagem: <http://www.fisica-potierj.pro.br/Fotos%20de%20Nuvens/Fotos%20de%20Nuvens.htm>



Figura 6.8: Nuvens do tipo *nimbostratus*. Créditos da imagem: <http://www.fisica-potierj.pro.br/Fotos%20de%20Nuvens/Fotos%20de%20Nuvens.htm>

Numa imagem de satélite, as nuvens estratiformes são caracterizadas por topos lisos e planos, revelando a falta de um padrão organizado. Os contornos destas nuvens são frequentemente aguçados e definidos pela topografia. Tendo em conta que se tratam de nuvens que se desenvolvem em baixa altitude, as suas temperaturas tendem a ser elevadas, razão pela qual apresentam uma tonalidade de cinza médio a escuro, numa imagem do infravermelho. As nuvens do tipo *stratus* são, por vezes, difíceis de distinguir da superfície dos continentes, tendo em conta que o contraste de temperatura entre a superfície terrestre e a nuvem é pequeno. Numa imagem do visível, todavia, estas nuvens podem surgir bastante claras, quando são espessas.

No que diz respeito às nuvens cumuliformes, refira-se que estas se formam numa atmosfera instável, resultando num grande desenvolvimento vertical. Assim, as nuvens deste tipo tendem a possuir uma forma irregular, assemelhando-se a bolas de algodão. Este tipo de nuvens está, habitualmente, associado a bom tempo. A partir do espaço, as nuvens de tipo *cumulus* mais baixas surgem como elementos de forma irregular e de vários tamanhos. No que diz respeito ao padrão de organização, estas nuvens podem encontrar-se em bandas, em agregados celulares ou ainda exibir um padrão em forma de onda. Caracterizam-se por um aspecto granuloso nas imagens do visível, devido às sombras criadas nos topos irregulares das nuvens. Nas imagens do infravermelho, as nuvens cumuliformes exibem tons de

cinzento que vão desde o cinza escuro ao cinza médio.

Quando as nuvens cumuliformes se formam numa atmosfera instável, o ar em ascensão rápida proporciona o desenvolvimento vertical das nuvens, podendo, eventualmente, culminar na formação de nuvens do tipo *cumulonimbus*, associadas a fortes ventos, granizo, precipitação intensa ou mesmo tornados. Numa imagem de satélite, estas nuvens surgem com uma organização globular, em forma de cenoura, ou em forma triangular, dependendo da intensidade dos ventos de nível superior. Uma nuvem do tipo *cumulonimbus* surgirá bastante clara tanto numa imagem do visível como no infravermelho, uma vez que estas nuvens se caracterizam por serem bastante espessas, possuírem um grande desenvolvimento vertical e topos altos e bastante frios. Adicionalmente, numa imagem do visível, os topos destas nuvens são granulosos.

6.3.2 Identificação de nuvens médias

As características das nuvens médias são similares às das nuvens baixas descritas anteriormente, à excepção do facto de não se tornarem tão difíceis de distinguir da superfície numa imagem na banda do infravermelho, uma vez que são mais frias que a superfície. De um modo geral, às nuvens médias é dado o prefixo "alto", incluindo-se, portanto, nuvens do tipo *altocumulus* (com uma aparência cumuliforme, ou celular) e *altostratus* (com uma aparência lisa, estratiforme).



Figura 6.9: Nuvens do tipo *altocumulus*. Créditos da imagem: http://www.meteo-world.com/dossiers/dossier2_1.php



Figura 6.10: Nuvens do tipo *altostratus*. Créditos da imagem: http://www.meteo-world.com/dossiers/dossier2_1.php

Os *altocumulus* podem exibir um padrão de onda idêntico ao dos *stratocumulus*, com a única diferença de serem mais altos e mais frios. Em termos operacionais, torna-se difícil detectar estas nuvens, na medida em que estas surgem frequentemente em conjunto com nuvens altas que tendem a bloquear a sua detecção pelo satélite. Numa imagem do visível, tanto os *altostratus* como os *altocumulus* podem ser consideravelmente brilhantes e lisos, sendo, muitas vezes, identificados pelas sombras que projectam sobre nuvens mais baixas, particularmente quando o ângulo solar é mais baixo. Nas imagens do infravermelho, caracterizam-se por uma tonalidade de cinza médio.

6.3.3 Identificação de nuvens altas

As nuvens altas são compostas exclusivamente de cristais de gelo, e algumas exibem características únicas. A maioria das nuvens altas são estratiformes, no que diz respeito à textura e possuem uma grande extensão. Alguns *cirrus* podem ser tão finos que não são observáveis numa imagem do visível. É todavia, a informação disponibilizada pela imagem do infravermelho, reveladora da composição em cristais de gelo destas nuvens, que permite a sua identificação, já que se verifica um grande contraste entre as nuvens frias e o fundo quente.

De um modo geral, as nuvens do tipo *cirrus* possuem a forma de filamentos brancos e delicados, ou de bancos ou faixas estreitas, brancos ou quase brancos. Estas nuvens têm aspecto fibroso e fino, em consequência da sua formação em elevadas altitudes, onde existe muito pouco vapor de água. Frequentemente, os *cirrus* ganham a alcunha de "caudas de cavalo", pois é o que parecem quando são arrastados por ventos muito fortes (a que estão quase sempre associados). A existência destas nuvens isoladas no céu constitui o prenúncio da ocorrência de uma mudança de tempo dentro de 24 horas, geralmente para pior, com chuvas de frentes quentes e de baixas pressões. Observando-as no seu percurso torna-se, inclusivamente possível detectar a proveniência das condições adversas do tempo.

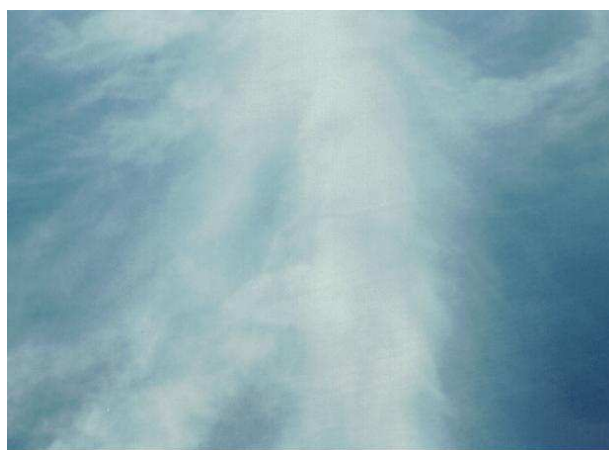


Figura 6.11: Nuvens do tipo *cirrus*. Créditos da imagem: <http://www.fisica-potierj.pro.br/Fotos%20de%20Nuvens/Fotos%20de%20Nuvens.htm>

No que diz respeito à sua identificação por satélite, refira-se que, numa imagem do visível, os *cirrus* revelam a sua estrutura fibrosa, sendo possível a observação do solo por debaixo da nuvem. Já no infravermelho, estas nuvens caracterizam-se por uma tonalidade muito clara, em virtude da sua baixa temperatura. Uma observação curiosa acerca das características destas nuvens, em imagens do infravermelho, prende-se com o facto de estas parecerem ser mais extensas do que na imagem do visível. Este facto deve-se apenas ao efeito de mancha, causado pela resolução inferior dos sensores na gama do infravermelho.

Prosseguindo com as características gerais das nuvens altas em imagens de satélite,

refiram-se as nuvens do tipo *cirrostratus*, nuvens estratiformes desenvolvidas a partir dos *cirrus* e que, como eles, possuem a mesma cor branca, a forma de um véu, ou um lençol fibroso, sendo também constituídos inteiramente por cristais de gelo. Como acompanham quase sempre os *cirrus* na aproximação de chuvas quentes, também se pode dizer que são indicadores de tal fenómeno meteorológico. Numa imagem do infravermelho, os *cirrostratus* surgem com uma tonalidade clara, ao passo que no visível, estas nuvens tendem a apresentar-se com uma tonalidade cinza clara.

Nuvens altas com um padrão celular são denominadas por *cirrocumulus* e resultam da degeneração de *cirrus*, encontrando-se geralmente junto a estes, embora possuam algumas diferenças. Por exemplo, enquanto que os *cirrus* possuem um desenvolvimento horizontal, os *cirrocumulus* caracterizam-se pelo seu desenvolvimento vertical. Assumem a forma de um lençol, composto por bolas brancas e pequenas (estrutura celular), que geram um efeito ondulado e rugoso. Tal como as outras nuvens da sua família, os *cirrocumulus* são constituídos por cristais de gelo, sendo, todavia de difícil detecção numa imagem de satélite, em virtude do pequeno tamanho da sua estrutura celular. Por estas razões, os *cirrocumulus* constituem um tipo de nuvem raro de encontrar, sendo, por vezes de difícil distinção de nuvens do tipo *cirrostratus*.



Figura 6.12: Nuvens do tipo *cirrocumulus*. Créditos da imagem: http://www.meteo-world.com/dossiers/dossier2_1.php



Figura 6.13: Nuvens do tipo *cirrostratus*. Créditos da imagem: http://www.meteo-world.com/dossiers/dossier2_1.php

6.3.4 Identificação de sistemas de alta e baixa pressão

Conforme é sabido, todos os processos meteorológicos, como os ventos, a formação de nuvens, as mudanças de temperatura e a precipitação justificam-se, em termos energéticos, com base na radiação solar. Assim, na ausência da energia transportada pela radiação solar, a Terra arrefeceria rapidamente até à temperatura do espaço exterior, transformando-se numa massa inerte de gelo e rocha.

O aquecimento diferencial da superfície terrestre tem origem em virtude da geometria esférica do planeta. Assim, nas regiões polares, uma unidade de radiação solar incidente distribui-se por uma área maior do que nas zonas equatoriais. Por conseguinte, pode dizer-se que existe uma maior quantidade de energia disponível nas latitudes baixas. É, portanto,

devido a este facto que se pode afirmar que é desigual distribuição de energia, o motor que dita a circulação da atmosfera. Deste modo, a diferença de temperatura entre as massas de ar originadas nas latitudes tropicais e polares, acarreta diferenças de densidade do ar, sendo, portanto, o ar tropical menos denso que o ar polar.

Devido aos efeitos do campo gravítico terrestre, o ar tropical, quente e menos denso, tenderá, por conseguinte, a deslocar-se para latitudes mais elevadas, ao passo que o ar polar, frio e mais denso, tenderá a deslocar-se para as regiões equatoriais. Se não se verificasse o movimento de rotação da Terra, este deslocamento daria origem a uma célula de circulação directa, a célula de Hadley, onde se verificaria a subida de ar quente e a descida de ar frio, em todo o hemisfério norte. Todavia, reconhecendo o efeito da força de Coriolis devida ao movimento de rotação da Terra, há que reconhecer a existência de zonas de pressão à volta do planeta, resultantes da divisão em 3 grandes células de circulação em cada hemisfério, conforme ilustra a figura 6.14.

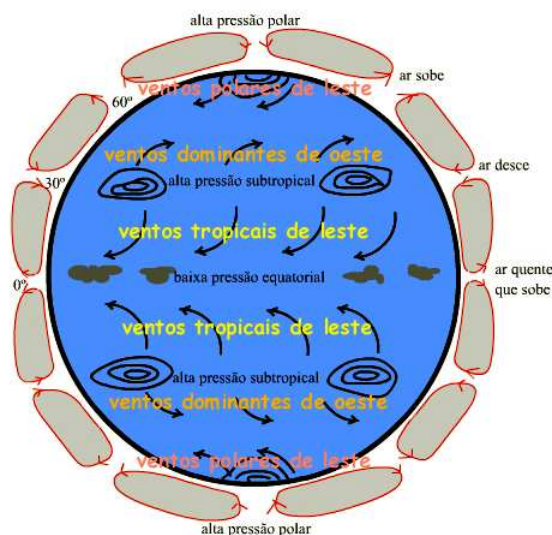


Figura 6.14: Esquematização do modelo de circulação global da atmosfera. Créditos da imagem: <http://to-campos.planetaclix.pt/nuvens1/ventos/ventos1.htm>

Ao modelo de circulação com três células exposto anteriormente está associado o seguinte modelo de distribuição de pressão:

- Baixas Pressões Equatoriais - Uma cintura de baixas pressões associada à ascensão do ar na Zona de Convergência Inter-Tropical (ZCIT). A ascensão do ar quente aquecido no equador provoca uma região de baixa pressão denominada de depressão Equatorial. À medida que o ar sobe formam-se nuvens e ocorre precipitação.
- Altas Pressões Subtropicais - Uma cintura de altas pressões associada à subsidência

do ar nas latitudes dos cavalos³. Nas latitudes subtropicais o ar arrefece e desce criando áreas de alta pressão com céu limpo e pouca precipitação, denominada de Anticiclones Subtropicais. A subsidência do ar seco (após precipitação na ZCIT) e quente (devido à própria subsidência) estão na origem dos desertos nestas latitudes.

- Baixa Pressão Subpolar - Uma cintura de baixas pressões associadas às frentes polares.
- Alta Pressão Polar - O sistema de altas pressões associado ao ar polar frio e denso.

Note-se, todavia, que à escala sinóptica, a pressão atmosférica, a temperatura e a humidade do ar, condicionam, em simultâneo, o tempo meteorológico. Assim, o ar que se encontra junto à superfície terrestre quente, aquece e sobe em virtude da diminuição da sua densidade, rarefazendo-se junto ao solo. Deste modo, a pressão atmosférica diminui, criando-se uma zona de baixas pressões, também conhecida por zona depressionária ou ciclónica. O ar quente, ao subir, arrasta consigo grandes quantidades de vapor de água e, ao longo da sua ascensão, vai arrefecendo e, por conseguinte, condensando, o que dá lugar à formação de nuvens e demais meteoros aquosos. Por estas razões, é comum associarem-se as zonas de baixas pressões a más condições meteorológicas.

Nas regiões de baixa pressão atmosférica, o vento circula no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio no hemisfério norte e circula no sentido do movimento dos ponteiros do relógio no hemisfério sul, porque a pressão atmosférica é mínima no seu centro e aumenta à medida que a distância ao centro aumenta. Este facto constitui uma forma expedita de identificar estes sistemas numa imagem de satélite, observando a tendência da circulação.

Por outro lado, quando o ar frio desce, comprime-se contra o solo e aquece. Em consequência, a pressão atmosférica aumenta e o ar diverge pelas zonas vizinhas. Cria-se, portanto, uma zona de altas pressões, ou zona anticiclónica. Como o ar aquece ao ser comprimido e se expande pelas regiões contíguas, a humidade relativa diminui. O tempo nas vizinhanças de uma alta-pressão é, por conseguinte, seco e livre de nuvens.

Em torno de uma região de alta pressão atmosférica, o vento circula no sentido do movimento dos ponteiros do relógio no hemisfério norte (e em sentido contrário no hemisfério sul), porque a pressão atmosférica é máxima no centro e diminui à medida que a distância ao centro aumenta.

Os sistemas de altas e baixas pressões são relativamente simples de localizar numa imagem de satélite, bastando, para isso, verificar o espiralamento das nuvens e a tendência da rotação numa sucessão de imagens. Em consonância do que foi referido anteriormente, e no hemisfério norte, a rotação no sentido horário implica a presença de uma zona de alta pressão no centro da região em análise, ao passo que uma rotação anti-horária evidencia a presença de uma zona de baixas pressões. Para além disso, na detecção de zonas de alta pressão deve atentar-se no facto de a área central do núcleo de altas pressões se encontrar

³As latitudes dos cavalos constituem a região entre os ventos alísios e os ventos predominantes de oeste. Apesar de ser uma zona variável, refere-se tipicamente a sua localização como estando compreendida entre 10° norte e sul do Equador.

livre de nuvens. As figuras 6.15 e 6.16 exemplificam situações de identificação de sistemas de baixas e altas pressões, respectivamente.

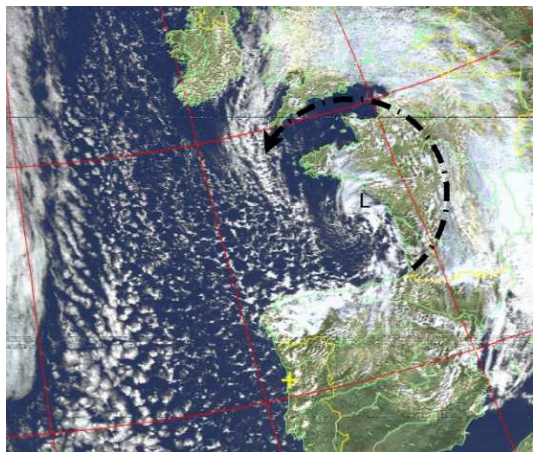


Figura 6.15: Evidência de um sistema de baixas pressões sobre França. Imagem captada do satélite NOAA-17 a 15 de Abril de 2005, às 11:32 horas locais.

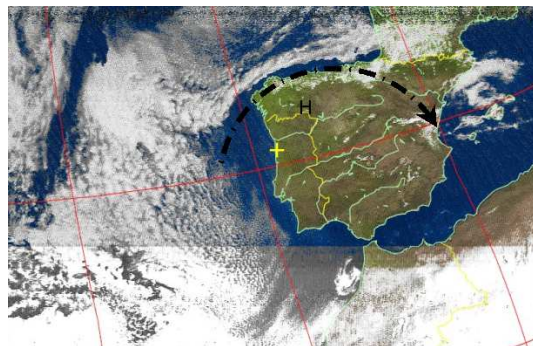


Figura 6.16: Evidência de um sistema de altas pressões sobre Portugal. Imagem captada do satélite NOAA-17 a 7 de Julho de 2005, às 11:34 horas locais.

6.4 Metodologia

Para este estudo foram utilizadas imagens de satélite do visível e do infravermelho, obtidas directamente na estação de recepção NOAA do Departamento de Física da Universidade de Aveiro, datadas de 20, 21 e 22 de Julho de 2005. Assim, foram escolhidas imagens do satélite de órbita polar NOAA-17, cujas órbitas sobre a estação de recepção se verificaram nas seguintes datas:

- 20 de Julho de 2005, às 11:37 (hora local);
- 21 de Julho de 2005, às 11:14 (hora local);
- 22 de Julho de 2005, às 10:51 (hora local).

Posteriormente, utilizou-se o MM5 para gerar previsões de tempo, com data de início de 20 de Julho de 2005, com um passo temporal de 60 minutos, para cada um dos dias referidos anteriormente. Assim, e tendo em conta que as previsões obtidas são válidas para dois dias, possui-se uma forma expedita de colocar à prova o resultado das previsões do modelo para intervalos de tempo curtos e para escalas temporais próximas do limite temporal de utilização do modelo. Assim, utilizaram-se para as imagens de dia 20 e 21, previsões lançadas para a data de 20 de Julho, ao passo que para a imagem de dia 22 se lançaram previsões tendo por ponto de partida o dia 22 de Julho. No que concerne ao

domínio utilizado, as figuras utilizadas neste capítulo foram obtidas com dados oriundos de simulações nos domínios 1 e 2 do modelo.

Paralelamente, fez-se uso dos boletins meteorológicos diários publicados pelo Instituto de Meteorologia, por forma a complementar a análise com dados de observação.

Deste modo, tornou-se possível contrapor a previsão do modelo numérico de previsão com o estado do tempo nos dias em questão, permitindo assim avaliar-se a performance do modelo MM5, bem como utilizar as imagens de satélite como forma de validação dos resultados do modelo.

6.5 Análise e discussão dos resultados obtidos

De forma a tornar o processo de consulta da análise efectuada o mais simples e claro possível, exibem-se, nas subsecções seguintes, os resultados individuais das análises da situação meteorológica, das imagens de satélite utilizadas e das previsões do MM5 para cada um dos dias em estudo. Assim, as três subsecções seguintes individualizam os resultados obtidos para o período compreendido entre 20 e 22 de Julho de 2005.

6.5.1 Dia 20 de Julho

De acordo com o Boletim Meteorológico Diário, publicado pelo Instituto de Meteorologia,

"o estado do tempo em Portugal continental foi condicionado pela acção conjunta de um anticiclone localizado a norte da Península Ibérica e por vale depressionário que se estendia desde o norte de África até ao território do continente, dando origem a uma fraca corrente de leste. Assim, no continente, o tempo esteve seco com céu limpo e registou-se uma pequena subida de temperatura, em especial da mínima. O vento foi fraco, soprando por vezes moderado de noroeste durante a tarde, em especial no litoral oeste. Ocorreram neblinas ou nevoeiros matinais no litoral entre o Cabo da Roca e o Cabo Mondego. Na Madeira, influenciada pelo referido anticiclone, o céu esteve pouco nublado e o vento soprou de nordeste fraco a moderado. Os Açores foram condicionados por ondulações frontais associadas a uma depressão centrada a noroeste do arquipélago. O céu apresentou períodos de muito nublado e ocorreram aguaceiros fracos. O vento soprou fraco a moderado do quadrante sul e registou-se uma pequena subida da temperatura."

No que concerne aos resultados do estudo, atente-se nas figuras 6.17 e 6.18, que exibem as imagens no visível e no infra-vermelho captadas a partir do satélite NOAA-17.

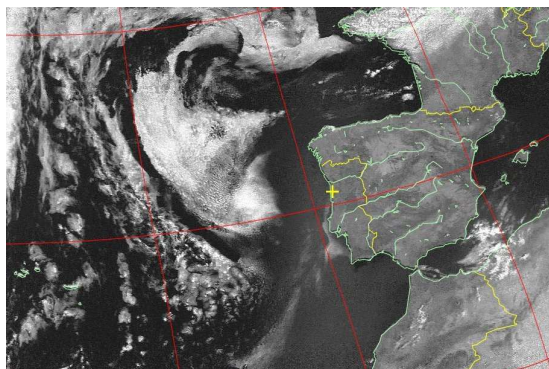


Figura 6.17: Imagem do visível, para o dia 20 de Julho de 2005, às 11:37

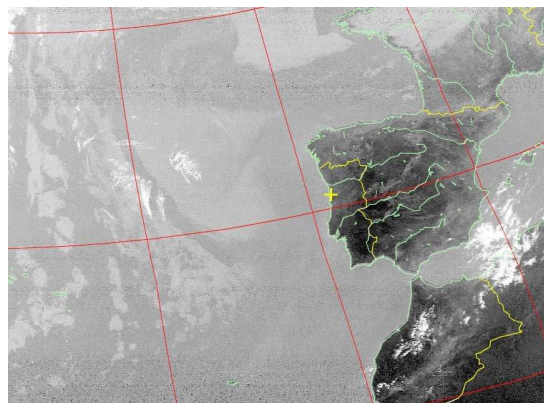


Figura 6.18: Imagem do infravermelho, para o dia 20 de Julho de 2005, às 11:37

Combinando as informações disponibilizadas pelos dois canais transmitidos no sinal APT do satélite NOAA numa imagem multi-espectral, torna-se possível a obtenção de uma imagem colorida que permite observar os sistemas de alta e baixa pressão mencionados no boletim meteorológico do dia. Para isso, observe-se a figura 6.19.

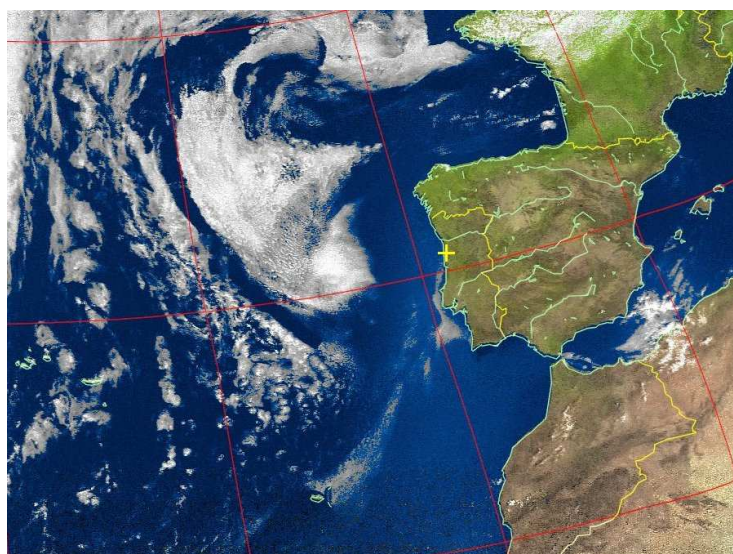


Figura 6.19: Composição colorida do sinal de satélite adquirido, evidenciando núcleos de altas e baixas pressões.

Por conseguinte, e de acordo com as figuras 6.17, 6.18 e 6.19 observa-se a presença de uma região de altas pressões no Cantábrico, com uma crista sobre a cornija Cantábrica, em extensão para as ilhas Baleares, bem como uma infiltração de baixa pressão atlântica que penetra sobre Portugal desde o norte de África.

No que concerne aos resultados da previsão do MM5, estas observações são contempladas, no traçado do mapa de distribuição de pressões ao nível médio das águas do mar, conforme se ilustra na figura 6.20.

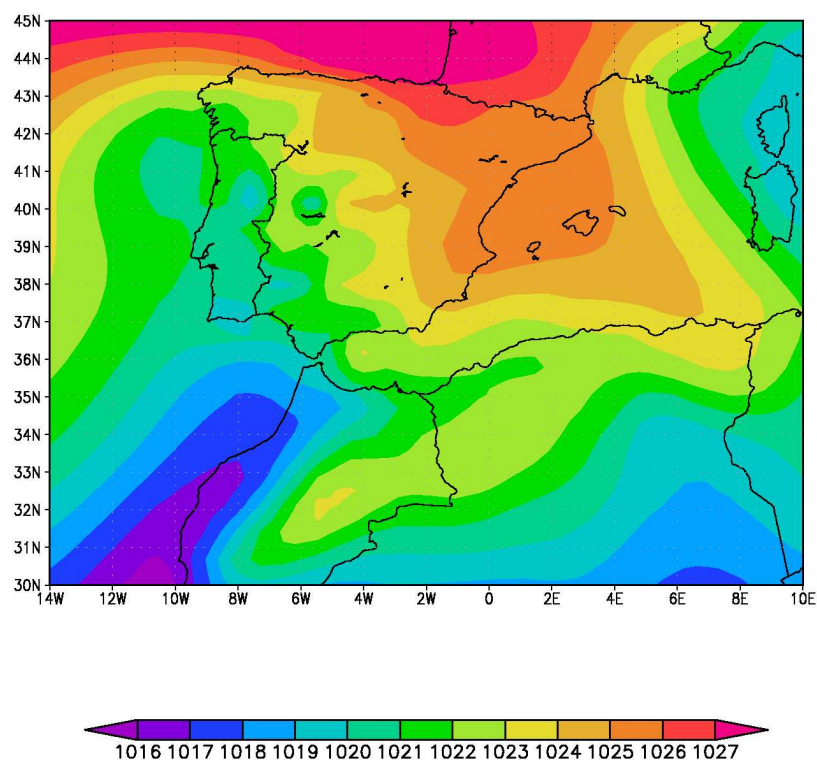


Figura 6.20: Campo de pressão atmosférica ao nível médio das águas do mar, segundo a previsão do MM5, para o dia 20 de Julho de 2005, às 11:00 locais.

A fim de se efectuar uma contraposição dos dados obtidos com os dados do Instituto de Meteorologia, publicados no boletim meteorológico, refira-se a figura 6.21, onde se ilustra a distribuição da pressão ao nível médio das águas do mar, bem como o vento a 10 m, tornando possível, em conjunto com as imagens de satélite recepcionadas, validar os níveis de pressão previstos pelo MM5 .

4A FEIRA 20 JULHO 2005 12H ECMF ANALISE
Pressão ao NMM / Vento a 10m /

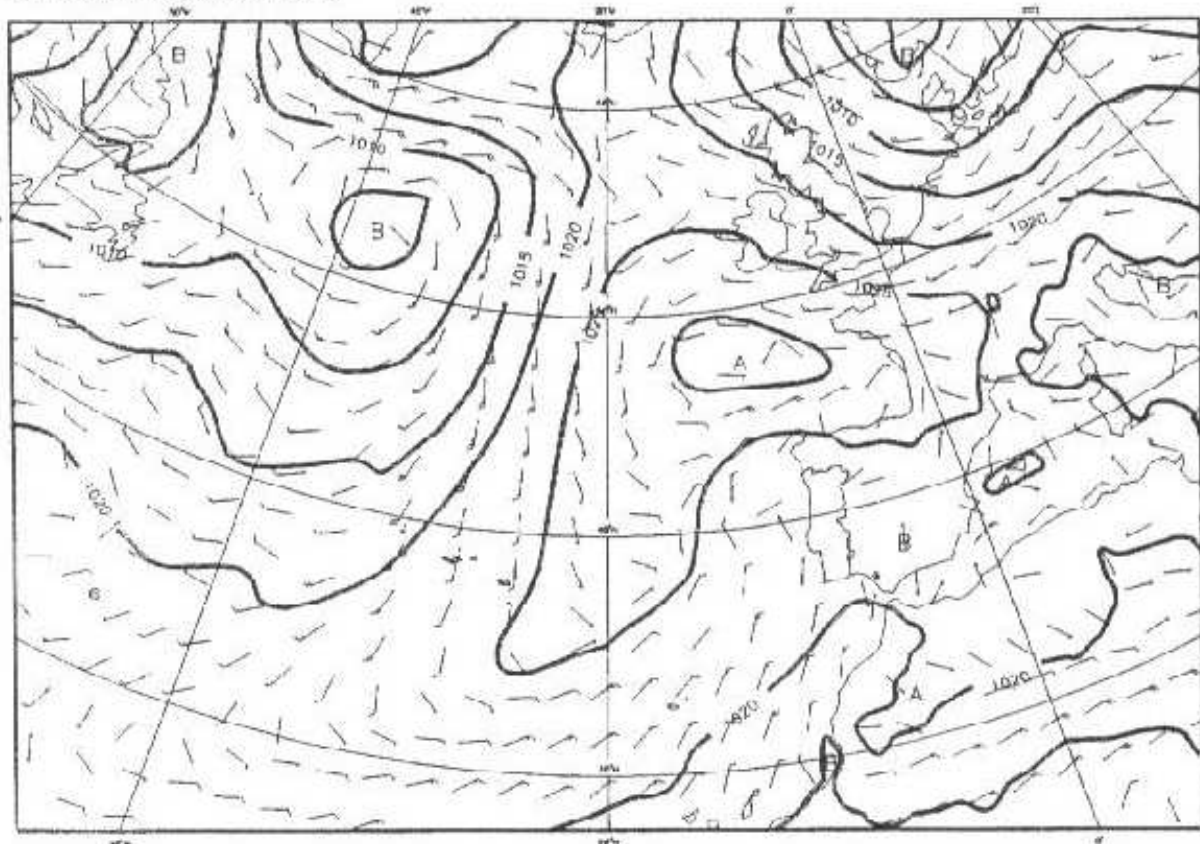


Figura 6.21: Campos de pressão atmosférica ao nível médio das águas do mar e vento a 10 m, de acordo com os dados publicados no boletim meteorológico do Instituto de Meteorologia.

De igual importância é a análise das temperaturas previstas pelo MM5. Assim, reproduzindo o resultado da análise da previsão do campo de temperatura a 2 m, é nítida a previsão de baixas temperaturas sobre a costa e nordeste e norte da Península Ibérica, conforme ilustrado na figura 6.22.

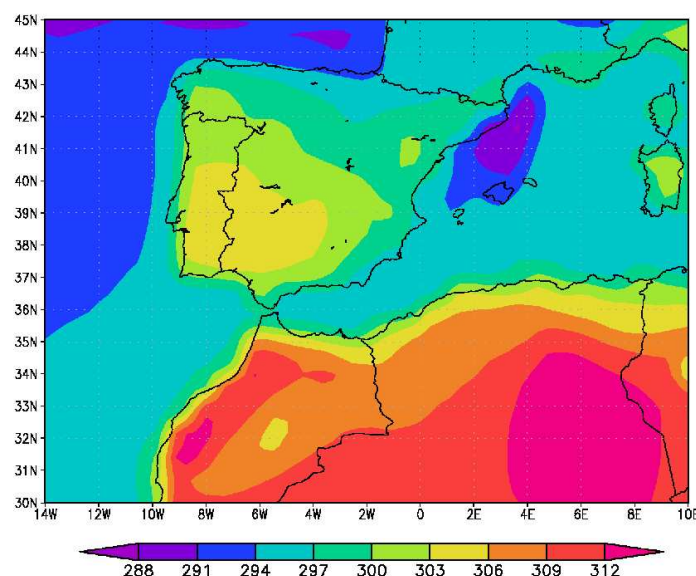


Figura 6.22: Previsão do MM5 para as temperaturas do dia 20 de Julho de 2005, às 11:00 locais.

Passando à análise das fracções de nuvens altas, médias e baixas, as figuras 6.23 a 6.25 dão conta da previsão do MM5 para o dia em questão. Como forma de comparação, considerem-se novamente as figuras 6.17 e 6.18.

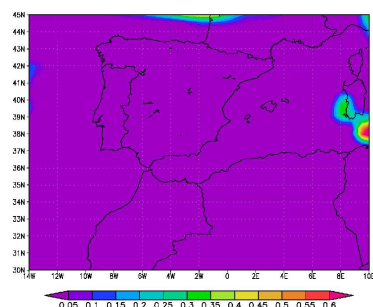


Figura 6.23: Previsão de fracção de nuvens baixas pelo MM5.

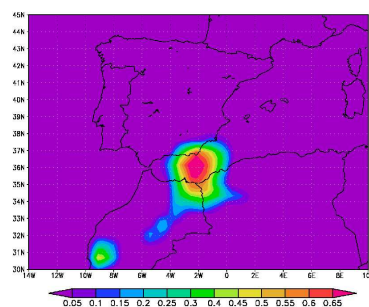


Figura 6.24: Previsão de fracção de nuvens médias pelo MM5.

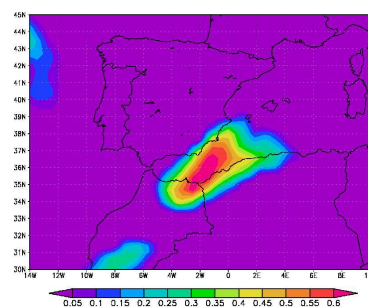


Figura 6.25: Previsão de fracção de nuvens altas pelo MM5.

Facto de especial importância para demonstrar a robustez das previsões geradas pelo MM5 é, por exemplo, o caso das temperaturas. Assim, há que ter em conta os dados de observação de temperatura do ar, publicados no já mencionado Boletim Meteorológico diário, que deram conta de 37 ° C (310 K) às 12:00, em Évora e Beja. Processando as previsões do MM5 no domínio 2 para as 12:00 do mesmo dia, pode-se apreciar a concordância entre os dados observados e os valores previstos de temperatura para as regiões mencionadas (fig. 6.26)

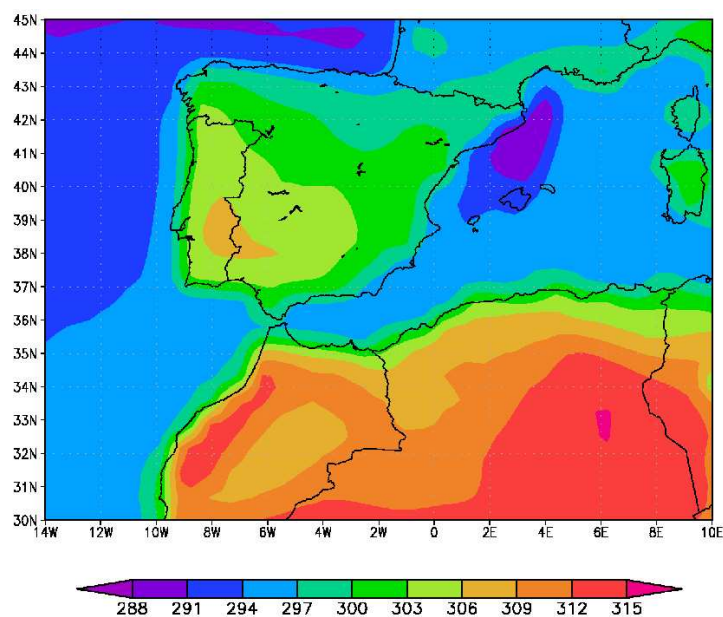


Figura 6.26: Distribuição de temperaturas de acordo com as previsões do MM5, para as 12:00 do dia 20 de Julho de 2005.

6.5.2 Dia 21 de Julho

De acordo com a mesma metodologia empregue anteriormente, expõem-se, nas figuras 6.27 e 6.28 as imagens do visível e do infravermelho captadas pelo NOAA-17 no dia em questão, nas quais se evidencia a penetração de um sistema frontal. De seguida, ilustra-se na figura 6.29 a composição colorida das duas imagens obtidas anteriormente. Na figura 6.30 representa-se o campo de pressões obtido através da previsão do MM5 para as 11:00 do mesmo dia.

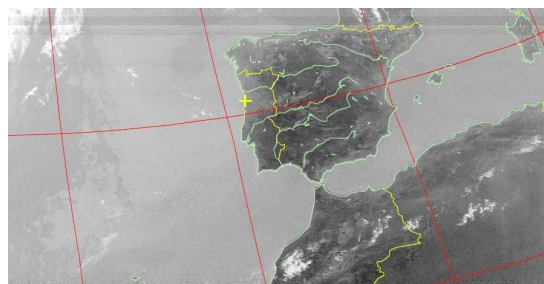
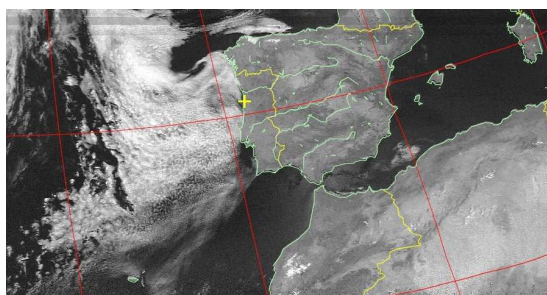


Figura 6.27: Imagem do visível, para o dia 21 de Julho de 2005, às 11:14

Figura 6.28: Imagem do infravermelho, para o dia 21 de Julho de 2005, às 11:14



Figura 6.29: Composição colorida das imagens expostas nas figuras 6.27 e 6.28.

Tendo em conta a análise das figuras 6.27, 6.28 6.29, infere-se a presença de um sistema de baixas pressões sobre a Península Ibérica, juntamente com um sistema anticiclónico sobre os Açores. Os resultados da previsão do MM5 para o campo de pressões ao nível médio das águas do mar ilustram-se na figura 6.30.

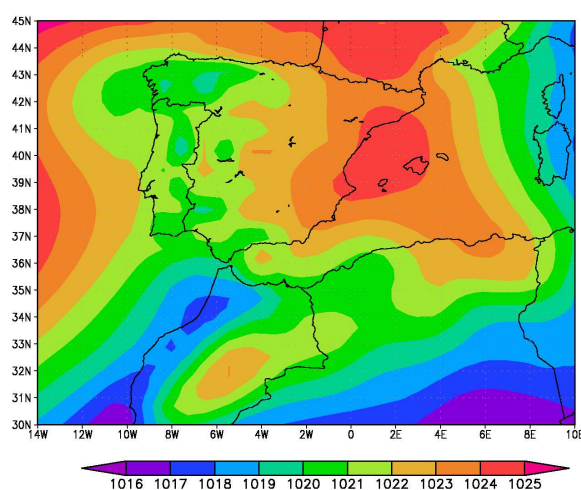


Figura 6.30: Campo de pressões ao nível das águas do mar obtido a partir da previsão do MM5 para as 11:00 do dia 21 de Julho.

No que diz respeito aos dados publicados no boletim meteorológico do Instituto de Meteorologia, para o dia 21 de Julho, pode observar-se a plena concordância entre as condições previstas pelo MM5 e os sistemas de altas e baixas pressões observados na imagem de satélite. Assim, considere-se o mapa de isóbaras e vento a 10 m da figura 6.31, evidenciando o anticiclone sobre os Açores e o sistema de baixas pressões sobre a Península

Ibérica, conforme já ilustrado na figura 6.27.

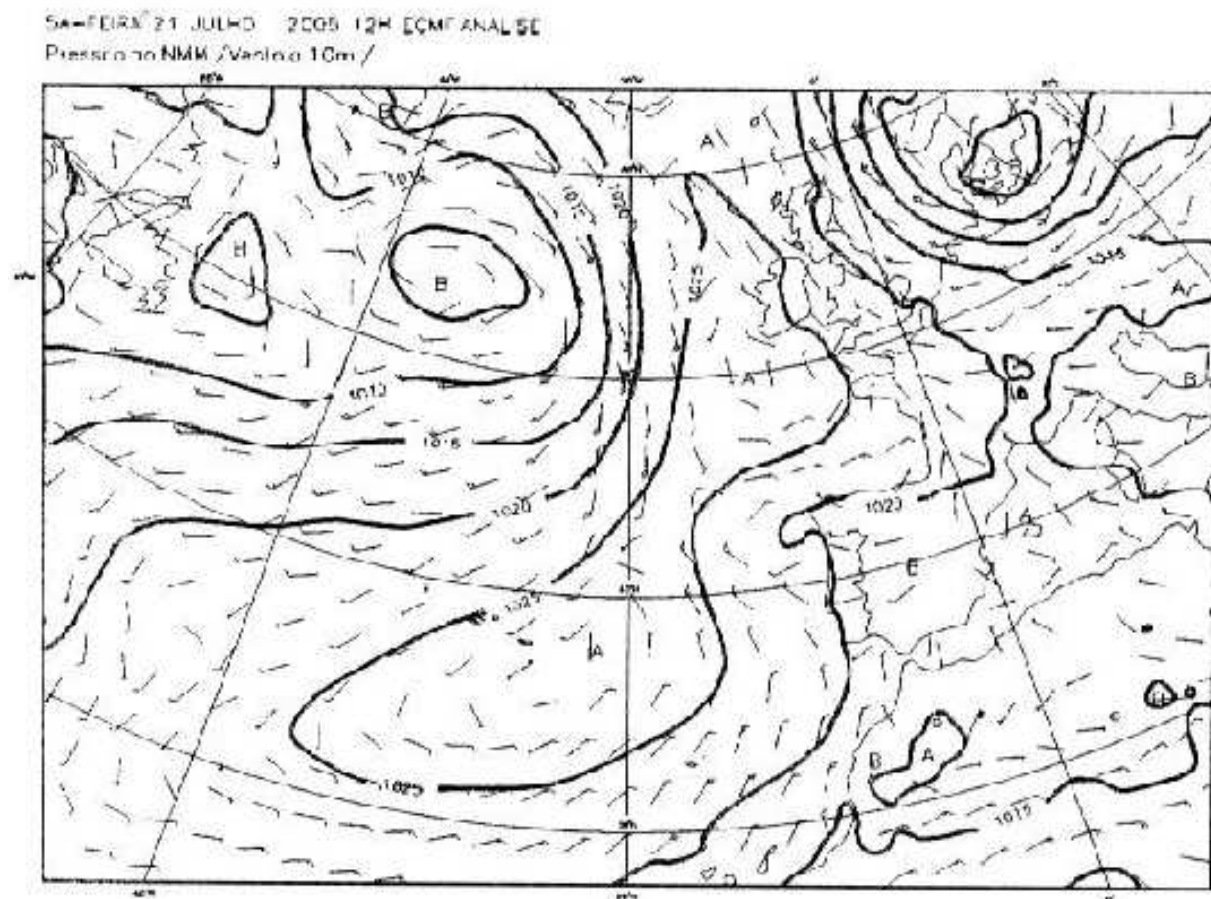


Figura 6.31: Campo de pressões ao nível das águas do mar e vento a 10 m constante no boletim meteorológico do Instituto de Meteorologia, para as 12:00 do dia 21 de Julho.

Em completa analogia com o que se fez na subsecção anterior, o ponto seguinte de análise prende-se com o estudo da fracção de nuvens. Assim, ilustram-se as previsões do MM5 para as fracções de nuvens baixas (fig. 6.32), médias (fig. 6.33) e altas (fig. 6.34). Comparando essas imagens com o estado actual da atmosfera, evidenciado pelas figuras 6.27 e 6.28, pode observar-se uma ligeira discrepância face aos dados observados e previstos, nomeadamente no que diz respeito à fracção de nuvens altas. Apesar disso, os resultados previstos pelo modelo constituem uma boa aproximação às condições meteorológicas verificadas.

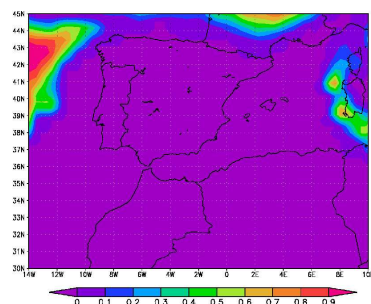


Figura 6.32: Previsão de fracção de nuvens baixas pelo MM5.

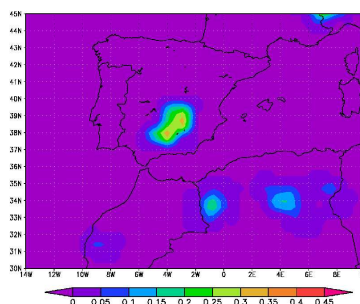


Figura 6.33: Previsão de fracção de nuvens médias pelo MM5.

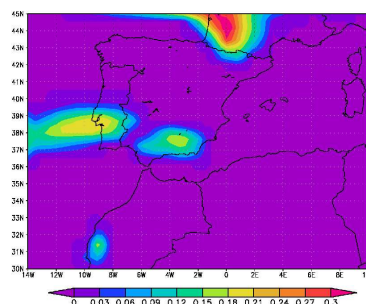


Figura 6.34: Previsão de fracção de nuvens altas pelo MM5.

Para finalizar a exposição dos resultados obtidos, resta apenas fazer menção às previsões da temperatura a 2 m, para as 12:00, obtidas pelo MM5, conforme ilustrado na figura 6.35.

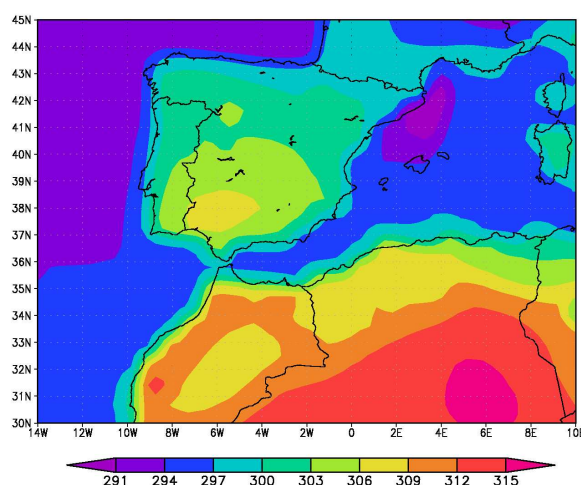


Figura 6.35: Previsão das temperaturas às 12:00 do dia 21 de Julho efectuada pelo MM5.

Tendo em conta um comentário aos resultados obtidos e expostos, pode fazer-se alusão à descrição do Instituto de Meteorologia, que refere que o tempo em Portugal continental foi condicionado pela acção conjunta de um anticiclone localizado a leste do arquipélago dos Açores e de uma depressão centrada sobre a Península Ibérica. A figura 6.27 ilustra uma situação anticiclónica sobre o arquipélago dos Açores, situação também contemplada pelas previsões do MM5 (fig. 6.30), onde são visíveis as áreas anticiclónicas, cobrindo os Açores, sobre as ilhas Baleares e no Cantábrico, em concordância com as figuras 6.27 e 6.28. Para além disso, a figura 6.27 ilustra ainda uma área nebulosa com forma de circulação depressionária, cuja subida de ar húmido não se verifica até altitudes muito elevadas, conforme se verifica na fracção de nuvens baixas exposta na figura 6.32. A aproximação desta depressão para a Península Ibérica é verificada pela descida das isóbaras sobre o

Oeste da Península (Portugal e Galiza), assinalada na figura 6.30. De acordo com os dados do Instituto de Meteorologia, a pressão atmosférica oscilou entre 1021 e 1012 hPa, entre as 0 e as 18 horas. No que concerne à análise das temperaturas, os dados colhidos pelo Instituto de Meteorologia indicam a ocorrência de 294 K de temperatura do ar, no Porto, às 12:00, afastando-se ligeiramente dos valores ilustrados na figura 6.35. Por outro lado, para a mesma hora, os valores de temperatura registados na estação de Beja confirmam a previsão do MM5 (305 K), o que também pode ser inferido por análise da figura 6.28, que evidencia uma área mais quente a sudoeste da Península Ibérica.

6.5.3 Dia 22 de Julho

De acordo com as observações do Instituto de Meteorologia, o estado do tempo em Portugal foi condicionado pela acção conjunta de uma crista anticiclónica que se estendeu desde o sudeste da Irlanda até aos Açores. Estas condições são facilmente visualizadas nas imagens de satélite recepcionadas às 10:51 locais, reproduzidas nas figuras 6.36 e 6.37.

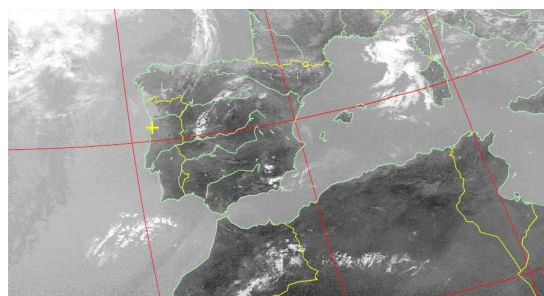
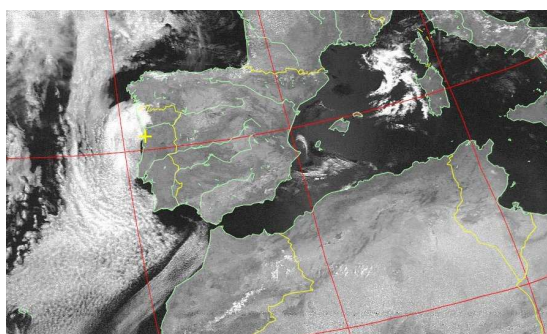


Figura 6.36: Imagem de satélite na região do visível, captada a partir da órbita do satélite infravermelho, captada a partir da órbita do NOAA-17 sobre a estação de recepção APT da Universidade de Aveiro, às 10:51 de dia 22 de Julho de 2005.

Figura 6.37: Imagem de satélite na região do visível, captada a partir da órbita do satélite infravermelho, captada a partir da órbita do NOAA-17 sobre a estação de recepção APT da Universidade de Aveiro, às 10:51 de dia 22 de Julho de 2005.

A crista anticiclónica referida no boletim meteorológico referenciado anteriormente é, todavia, mais visível numa outra imagem, obtida na órbita seguinte do mesmo satélite, cujo sinal de emissão foi possível captar, e que se reproduz na figura 6.38.

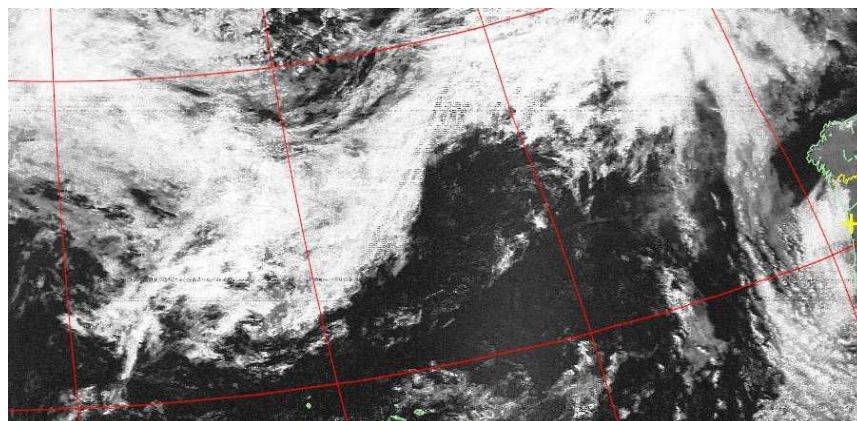


Figura 6.38: Evidência de uma crista anticiclónica estendida desde o sudesta da Irlanda até aos Açores. Imagem gerada a partir do sinal APT do satélite NOAA-17, recebido às 12:32 na estação de recepção APT da Universidade de Aveiro.

Com a justaposição da imagem reveladora do estado presente da atmosfera e da previsão do campo de pressões do MM5, torna-se possível observar a concordância entre as condições verificadas no dia e as previsões do modelo. Assim, atente-se nas figuras 6.39 e 6.40, possibilitadoras de uma tal comparação.

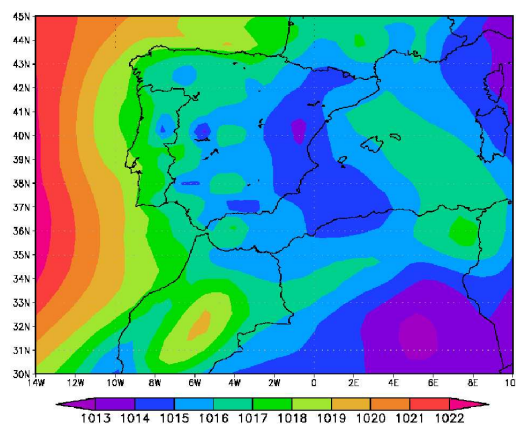
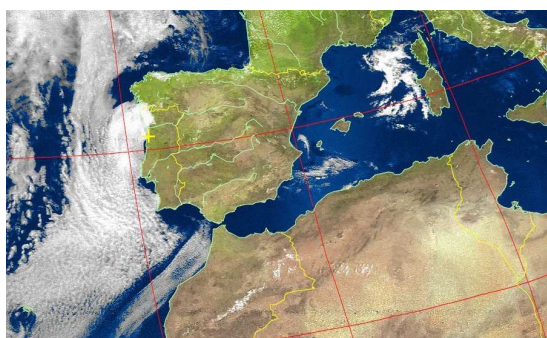


Figura 6.39: Composição colorida do sinal de Figura 6.40: Previsão da distribuição da pressão ao nível das águas do mar, pelo MM5.

Já no que se refere aos dados publicados no boletim meteorológico diário, a figura 6.41 dá a conhecer o resultado da análise da pressão atmosférica ao nível das águas do mar, bem como do vento a 10 m.

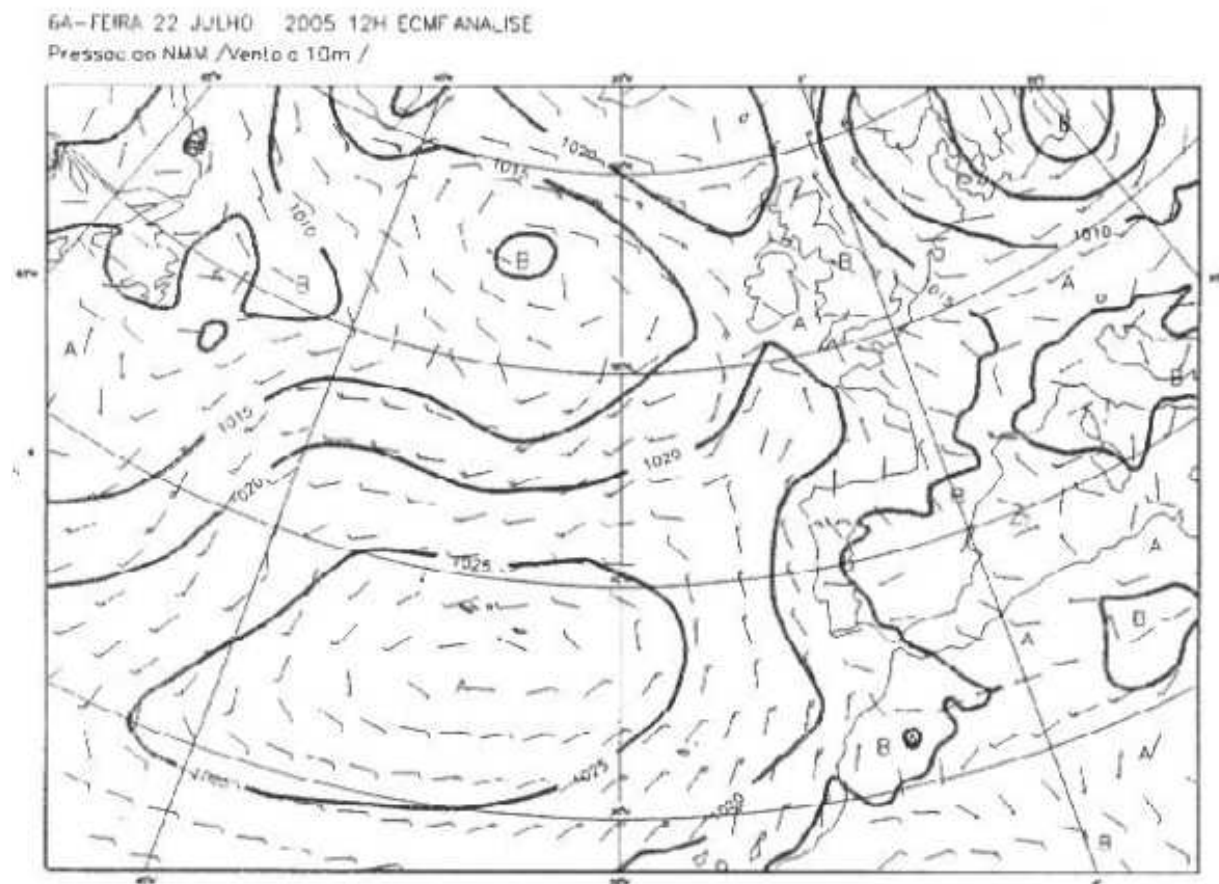


Figura 6.41: Mapa sinóptico publicado no boletim meteorológico de dia 22 de Julho de 2005.

Prosseguindo com o relato do boletim meteorológico, é importante fazer alusão à referência de o céu ter estado, em geral, limpo no continente, temporariamente muito nublado ou encoberto no litoral Oeste, em especial a norte do Cabo Raso e entre Sines e Sagres, durante a noite, o início da manhã e a partir do fim da tarde. Para além disso, é ainda referida a ocorrência de neblinas ou nevoeiros, em especial no Litoral Oeste, e que, em alguns locais do Norte, persistiram durante todo o dia. Estas condições podem ser inferidas a partir da análise das figuras 6.36 e 6.38, permitindo também a apreciação das fracções de nuvens previstas pelo MM5, conforme ilustrado nas figuras 6.42 a 6.44.

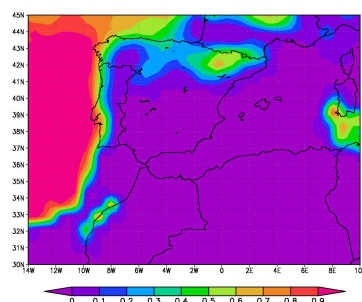


Figura 6.42: Previsão de fracção de nuvens baixas pelo MM5.

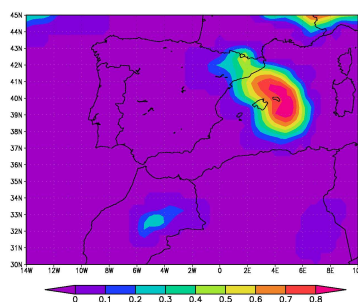


Figura 6.43: Previsão de fracção de nuvens médias pelo MM5.

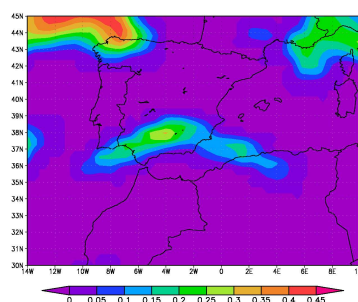


Figura 6.44: Previsão de fracção de nuvens altas pelo MM5.

Finalmente, ilustra-se na figura 6.45 o resultado da previsão de temperaturas pelo MM5.

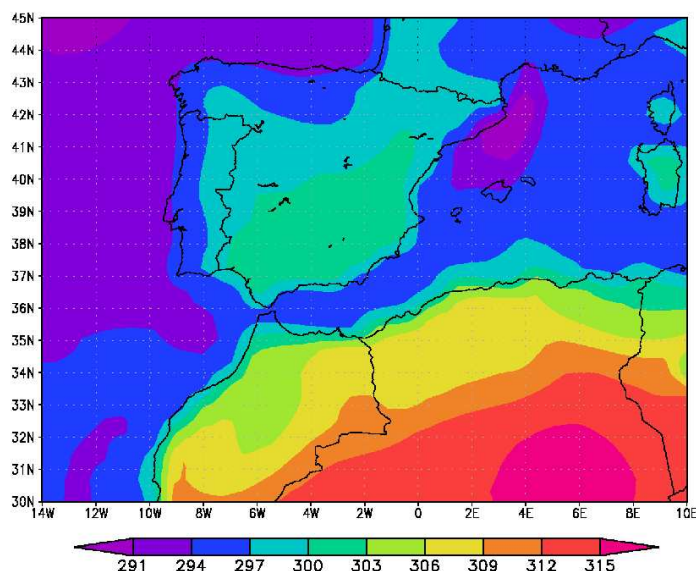


Figura 6.45: Previsão de temperaturas efectuada pelo MM5, para as 11:00 do dia 22 de Julho.

Assim, podem contrapor-se as previsões com os resultados publicados no boletim meteorológico e com as imagens de satélite, sendo possível comparar o registo de 301 K em Beja (às 12:00) e os valores de temperatura previstos pelo modelo MM5 (muito embora a previsão se refira às 11:00). Para além disso, é conveniente referir que, em analogia com as figuras 6.36 e 6.38, também a previsão de distribuição de temperaturas pelo MM5 aponta no sentido de as temperaturas mais elevadas serem atingidas no interior africano, bem como o interior da Andaluzia e o Algarve, fazendo crer num máximo para o sul de Badajoz.

Capítulo 7

Conclusões

Neste capítulo final reúnem-se todas as componentes em que este estudo se baseou. Os resultados das diversas etapas do trabalho, após terem sido expostos nos respectivos capítulos, são discutidos de uma forma geral no presente capítulo. Antes, porém, de se tecerem quaisquer considerações conclusivas sobre o trabalho como um todo, são recapitulados os propósitos gerais alcançados com o trabalho, à luz dos objectivos delineados no início deste estudo. De seguida, particularizam-se as conclusões para cada uma das aplicações desenvolvidas, salientando a sua premência para a sociedade, discutindo métodos alternativos e apresentando uma reflexão sobre eventuais fontes de erro. Para finalizar este capítulo, incluem-se, em jeito de epílogo, algumas perspectivas futuras para o prosseguimento do trabalho nesta área auspiciosa.

7.1 Revisão global dos resultados do estudo

Nesta dissertação escrita apresentou-se, numa organização em sete capítulos, um estudo relacionado com sistemas de recepção de imagens de satélites de órbita polar e geostacionária.

Por conseguinte, após algumas considerações introdutórias sobre o tema e sobre os objectivos do trabalho desenvolvido tecidas no primeiro capítulo, estabeleceram-se no segundo capítulo as bases teóricas em que todo o trabalho assentou, abordando-se questões inerentes ao movimento dos satélites, às bases físicas do sinal medido por satélite, à história dos satélites NOAA e METEOSAT, à caracterização dos dispositivos sensores a bordo dos satélites em questão e da tecnologia de aquisição de informação coligida por satélite. Tendo, portanto, o segundo capítulo como objectivo a contextualização teórica de todo o trabalho exposto nos capítulos seguintes, e tornando-se evidente uma necessidade de exposição de novos conhecimentos adquiridos pelo autor do estudo, que se assume como debutante nesta área, pode, à primeira vista, parecer excessiva a quantidade de tópicos abordados. Contudo, o autor mantém a sua convicção na importância de um forte enquadramento teórico como veículo que permita guiar o leitor pela estrutura da dissertação. Existem, todavia, aspectos cuja exploração poderia ter sido mais profunda, nomeadamente no que

diz respeito à interacção da radiação com a matéria. Não obstante, e por forma a não cair num absolutismo preciosista, optou-se por deixar de lado questões como a equação de transferência radiativa, entre outras, já que estes conceitos não se tornaram estritamente necessários para a exploração dos propósitos deste trabalho.

No terceiro capítulo fez-se uma descrição exaustiva dos sistemas de recepção de imagens implementados. Assim, o capítulo debruça-se exclusivamente sobre a exposição do equipamento utilizado para a instalação das duas estações de recepção implementadas. Desenvolveu-se, portanto, a estação de recepção de imagens de baixa resolução dos satélites NOAA de órbita polar a partir do receptor Hamtronics R139, integralmente assemblado e ajustado no decurso deste trabalho, uma antena VHF omnidireccional do tipo *turnstile* e um pré-amplificador da mesma gama de frequências, reabilitado após alguns anos em desuso. No que toca ao *software* inerente à demodulação do sinal e automatização do funcionamento da estação, foi feito uso do *wxtoimg*, um programa disponível gratuitamente na internet, e de um computador convencional, equipado com uma placa de som, em ambiente Linux. Já no que diz respeito à estação de recepção de imagens do MSG-1 foi utilizada, para a sua operacionalização, uma antena parabólica comercial e respectivo LNB digital universal (na banda Ku). O sinal recebido pelo sistema antena e LNB é ingerido, posteriormente, pela placa DVB TechiSat SkyStar2, instalada num computador PC convencional. O *hardware* de descriptação dos dados oriundos do sistema *eumetcast*, bem como o *software* que permite a autenticação do sistema como cliente, foram obtidos via EUMETSAT. Os ficheiros recebidos, após descriptação, são processados num segundo computador com o *software MSG Data Manager*, adquirido especialmente para o efeito. Deste modo, o sistema possibilita a aquisição, com uma periodicidade de quinze minutos, de imagens dos doze canais do MSG-1, bem como outros dados de satélite, não utilizados no decurso deste estudo.

Note-se que, tendo em conta a preocupação de obtenção de um produto final de custo reduzido, pode referir-se que o custo final de implementação das duas estações de recepção de imagem rondou, exceptuando os computadores utilizados, a quantia de 900 Euros, valor francamente baixo, tendo em conta toda a panóplia de *hardware* e *software* utilizado. Outro ponto que se deve salientar é que, embora inicialmente se tenha procedido à captura de sinal recorrendo à reabilitação de uma antena existente no Departamento de Física da Universidade de Aveiro, esta acabou por ser substituída por outra equivalente, em termos de princípio de funcionamento, uma vez que se verificou uma avaria irremediável do equipamento anterior. Contudo, todas as considerações efectuadas no capítulo 3, inerentes à antena de recepção, se mantêm válidos, constituindo a única diferença o aspecto da antena.

Ainda no contexto do terceiro capítulo, poderia, eventualmente, questionar-se o porquê da utilização de um receptor comercial (apesar de totalmente assemblado e ajustado pelo autor do estudo) em vez do desenvolvimento integral do receptor para as frequências de emissão APT dos satélites NOAA. Na verdade, e reconhecendo uma miríade de circuitos existentes na literatura da especialidade, da qual (Westerwelle, 1989) é um exemplo, há que admitir que a diferença de preço final entre estas duas possibilidades não é justificativa. Foram, portanto, considerações de ordem económica que levaram à escolha do Hamtronics

R139, já que, do ponto de vista dos conhecimentos adquiridos, se tornou igualmente necessária a compreensão do funcionamento de todos os circuitos para a sua assemblagem. Outra questão, de uma natureza similar, pode ser colocada: por que motivo não foram explorados, neste trabalho, os serviços de aquisição directa de informação dos satélites METEOSAT, via WEFAX? A justificação é simples: a EUMETSAT recomenda a todos os utilizadores o *upgrade* dos seus sistemas de aquisição para o sistema EUMETCast. Na verdade, foi já anunciado o término do serviço WEFAX dos satélites METEOSAT, prevendo-se a suspensão total deste serviço para finais de Dezembro de 2005. Deste modo, não faria sentido, do ponto de vista operacional, desenvolver um sistema de aquisição baseado num serviço cuja suspensão estivesse já anunciada.

No quarto capítulo da tese aborda-se a utilização das imagens recebidas na estação de recepção MSG-1 com o intuito de desenvolver uma aplicação destinada à detecção e monitorização dos incêndios florestais em Portugal, bem como a sua localização geográfica, num produto final, disponível via internet. Deste modo, reportam-se as bases físicas do algoritmo de detecção elaborado, assente nas imagens do canal 4 do radiómetro SEVIRI, a bordo do MSG-1, bem como as posteriores etapas de identificação de alvos quentes numa imagem e geolocalização. Note-se, contudo, que, para garantir a operacionalização do algoritmo implementado, procedeu-se também à automatização de tarefas, expondo-se, portanto, todas as rotinas computacionais necessárias para garantir a autonomia do processo. O algoritmo implementado destaca-se pela sua simplicidade, caracterizando-se pela resposta radiométrica do canal 4 do SEVIRI. Assim, as etapas que constituem o modelo compreendem: 1) a aquisição da imagem de satélite; 2) a identificação de *pixels* da imagem com um nível radiométrico inferior a um determinado limiar, estabelecido empiricamente; 3) a conversão dos dados de saída em coordenadas de latitude e longitude; 4) a geração de um produto final, disponível via internet e actualizado no final de cada ciclo de processamento, garantindo, deste modo, uma resolução temporal de aproximadamente vinte minutos, no que toca à periodicidade de apresentação de resultados. Naturalmente que, tendo por base um algoritmo de *threshold* monocal, o modelo implementado revela algumas limitações. Assim, e pela própria definição do algoritmo, apenas determinados alvos quentes conseguem provocar a saturação do canal 4 do SEVIRI o que, naturalmente, implica que nem todos os focos de incêndio sejam detectados. Assim, pode reconhecer-se que o algoritmo apresenta a lacuna de não ser capaz de detectar focos de incêndio pequenos, quando comparados com a resolução espacial do canal 4 do SEVIRI (3 km). Não obstante, há que ter em conta que dada a elevada rapidez de processamento de resultados, a limitação apresentada anteriormente pode ser resolvida. Outra limitação inerente à aplicação desenvolvida prende-se com a validação dos resultados obtidos, isto é, não se torna possível verificar com precisão a eficácia da rotina de navegação utilizada, uma vez que não existem dados rigorosos sobre a localização geográfica dos incêndios ocorridos em Portugal. A Direcção Geral dos Recursos Florestais (DGRF), responsável pela publicação do relatório "Incêndios Florestais", identifica as ocorrências de incêndio tendo apenas por base a freguesia, concelho e distrito de início dos incêndios ocorridos, o que significa que não existe forma de confirmar se os valores de coordenadas devolvidas pelo modelo são completamente verdadeiras, ou afectadas por qualquer erro. Todavia, os dados de saída

do modelo são, num sentido lato, concordantes com os constantes no relatório da DGRF. Deste modo, e apesar das limitações existentes, pode referir-se que o modelo desenvolvido pode perfeitamente ser utilizado numa base completamente operacional, tendo em conta algumas das suas características: a robustez, a rapidez, a altíssima resolução temporal das imagens de satélite que estão na sua base, e a completa automatização de funcionamento do modelo, o que significa que pouca ou nenhuma supervisão humana é requerida para a execução do modelo, facto que, aliado ao relativo baixo custo do sistema global, permite reconhecer esta aplicação como extremamente promissora.

Passando ao quinto capítulo da tese, dissertou-se sobre a possibilidade de exploração do tema "satélites" no primeiro ciclo do Ensino Básico. Assim, foi desenvolvido um conjunto de actividades enquadradas nos conteúdos programáticos do 1º Ciclo do Ensino Básico. Por conseguinte, reflectindo sobre as actividades como um todo, há que realçar o facto de o tema poder ser tratado numa perspectiva interdisciplinar em contexto sala de aula, mas que poderia ser reforçado se implementado no contexto da área de projecto, tornando-se num elemento catalisador no processo de educação e formação ao longo da vida. Adicionalmente, neste capítulo, deu-se conta de resultados preliminares de uma experiência feita com uma turma do 4º ano de uma escola do concelho de Viseu, destinada à eliciação das ideias dos alunos sobre o tema em análise. Os resultados obtidos, decorrentes da análise dos materiais elaborados pelos alunos na experiência, permitiram a elaboração de uma rede sistémica para agrupamento das ideias expostas pelos alunos em 1) cientificamente correctas (com uma posterior subdivisão em respostas total e parcialmente correctas); 2) cientificamente incorrectas; 3) não codificadas. Note-se que, dada a subjectividade inerente à análise das respostas obtidas pelos alunos, optou-se por, na rede construída, contemplar a capacidade de recepção e transmissão de informação por um satélite como um parâmetro fulcral de análise. Outras redes sistémicas poderiam ser construídas, assentes sobre outro tipo de ideias reveladas pelos alunos. Todavia, o critério adoptado justifica-se por estar na base da esmagadora maioria das respostas analisadas.

As conclusões deste estudo revelam a existência, nos alunos, de um conjunto de ideias prévias sobre o tema bastante satisfatório: no total de vinte e uma respostas à pergunta "o que é, para ti, um satélite?", foram encontradas onze respostas cientificamente correctas na sua totalidade, seis respostas parcialmente correctas cientificamente e apenas três respostas incorrectas do ponto de vista científico, sendo que apenas uma resposta não foi codificada segundo os parâmetros em análise. Assim, os resultados obtidos justificam, *per se*, o desenvolvimento de aplicações no contexto educacional; umas com relevância directa na sala de aula (como as apresentadas), ao passo que outras podem estar mais relacionadas com o desenvolvimento curricular.

Urge, todavia, deixar claro um aspecto que poderia constituir uma crítica à actividade efectuada: o facto de um aluno fazer menção a determinados conceitos científicos não significa, necessariamente, que este compreenda o seu verdadeiro significado. Sobre este aspecto, há porém, que referir que não foi feita qualquer menção prévia aos conceitos científicos utilizados pelos alunos, nem, tão-pouco, a actividade foi apresentada previamente aos alunos. Assim, devem reconhecer-se os resultados apresentados como oriundos de uma fase de eliciação, na mais pura acepção do termo. Paralelamente, deve recordar-se que

a actividade desenvolvida se destinou, também, a testar a exequibilidade de algumas das actividades propostas, procurando, assim, algum *feedback* dos alunos no que concerne à sua motivação para o tema. Na verdade, não só se encontrou um interesse entusiástico, como também se verificou o desejo dos alunos de ver algumas das suas inúmeras questões, relativas ao tema, respondidas.

No sexto capítulo desta dissertação, fez-se uso de um conjunto de imagens de baixa resolução, obtidas via APT, para validar as previsões do modelo de previsão numérica de tempo MM5, que tem vindo a ser processado numa base praticamente operacional desde 2003, em virtude do trabalho desenvolvido pelo Dr. Yoshihiro Yamasaki. Deste modo, esta aplicação visa demonstrar, por um lado, o suporte adicional que as imagens de baixa resolução podem fornecer a analistas e previsores de tempo no sentido de constituírem uma orientação para melhorar o processo de previsão do tempo, e, por outro, a validade das previsões efectuadas pelo MM5, na sua actual configuração. Por conseguinte, o estudo incidiu sobre as previsões geradas pelo MM5 com início a 20 e a 22 de Julho de 2005, tendo-se posteriormente comparado o resultado das previsões para as variáveis pressão atmosférica ao nível médio das águas do mar, temperatura a 2 m, fracção de nuvens baixas, fracção de nuvens médias e fracção de nuvens altas com imagens obtidas pelo satélite NOAA-17, adquiridas na estação de recepção APT do Departamento de Física da Universidade de Aveiro. Paralelamente, estes resultados foram comparados com os dados observacionais publicados pelo Boletim Meteorológico Diário, emitido pelo Instituto de Meteorologia. De acordo com as análises efectuadas, pode apreciar-se a concordância entre as previsões do modelo de mesoescala e as informações disponibilizadas pelas imagens de satélite obtidas, validando, qualitativamente, a configuração actual do MM5. Todavia, constitui uma limitação do estudo efectuado neste capítulo não se ter alargado a experiência a um intervalo temporal maior, o que permitiria, consequentemente colocar as capacidades do modelo à prova, para intervalos de tempo significativos.

Tendo em conta os resultados globais do trabalho, resta tecer algumas considerações finais. Assim, e muito embora este estudo tenha sido elaborado, do ponto de vista metodológico, de forma concisa e objectiva, com um forte suporte bibliográfico, pode reconhecer-se que a vastidão da área de estudo, aliada ao intervalo de tempo usualmente utilizado para a realização de um trabalho de mestrado, em muito limitou uma exploração mais profunda de todas as aplicações que as estações de recepção de imagens de satélite implementadas possibilitam. Reconhece-se, portanto, que o trabalho efectuado constitui apenas uma singela aproximação ao vasto oceano que constitui esta área. Ainda assim, e tendo em conta a implementação, desenvolvimento e exploração de aplicações de sistemas de aquisição de imagens de satélite de órbita polar (NOAA) e geostacionária (MSG-1) como objectivo principal, pode assumir-se que, de um modo geral, os objectivos traçados para este trabalho e expostos no capítulo 1 da dissertação foram plenamente satisfeitos.

7.2 Perspectivas para estudos futuros

A exploração futura dos temas abordados neste trabalho pode e deve certamente ser levada a cabo para aplicações de detecção de incêndio: com a instalação de um novo sistema de recepção de imagens de alta resolução, que constitui um projecto já em execução no Departamento de Física da Universidade de Aveiro, podem colmatar-se algumas limitações do actual sistema, nomeadamente usando algoritmos de detecção multi-canal e eventualmente tentando estabelecer uma relação entre os canais do MSG-1 com os dos satélites NOAA. Deste modo, seria possível obter o benefício da alta resolução espacial dos satélites NOAA, suprimindo assim a sua inferior resolução temporal.

Por outro lado, associando os dados obtidos por satélite com os dos modelos numéricos de previsão de tempo, de forma quantitativa, poder-se-ia prover um suporte adicional não apenas ao combate de incêndios, mas também à tomada de decisões no que concerne à sua prevenção.

No que diz respeito à exploração adicional dos sistemas implementados, pode ainda referir-se que a estação de recepção de imagens do MSG possibilita uma aplicação de extrema utilidade para a região de Aveiro. Assim, teria toda a premência utilizar as imagens dos diferentes canais do MSG-1 para a detecção e modelação de nevoeiro já que este é um fenómeno meteorológico de extrema importância, não só no que diz respeito à qualidade do ar, mas também com relevância para a segurança de tráfego e para a ecologia, já que consiste numa importante fonte de água em muitos ecossistemas. Por outro lado, há que reconhecer que o nevoeiro consiste, em termos ambientais, num fenómeno meteorológico bastante perigoso, na medida em que os poluentes se mantêm ao nível do solo, não se dispersando, o que pode induzir, obviamente, danos severos em florestas e vegetação, materiais, estruturas e sistemas aquáticos, através da acidificação das águas de superfície.

Já no que se relaciona com a exploração da tecnologia de recepção de imagens, via APT, em contexto escolar, espera-se, em breve, poder levar a cabo as actividades propostas neste trabalho com alunos do 1º CEB, de modo a obter dados que permitam afirmar, peremptoriamente, que a exploração do tema, no 1º ciclo, se reveste de vários pontos fortes: a promoção da literacia científica, o desenvolvimento do pensamento crítico, a resolução de problemas reais com interesse para os alunos, os métodos activos centrados no aluno e o envolvimento destes na aprendizagem das ciências da natureza, acarretando, por conseguinte, um aumento da motivação para o estudo das ciências.

Apêndice A

Programa de navegação das imagens obtidas pelo MSG-1

```
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
! Introduction:
! =====
! The Program "MSG_navigation.f90" is an example code provided to give
! the users guidance for a possible implementation of the equations
! given in the LRIT/HRIT Global Specification [1] to navigate MSG
! (METEOSAT 8 onwards) data, i.e. to link the pixel coordinates column
! and line to the corresponding geographical coordinates latitude and
! longitude.
!
! Users should take note, however, that it does NOT provide software
! for reading MSG data either in LRIT/HRIT, in native or any other
! format and that EUMETSAT cannot guarantee the accuracy of this
! software. The software is for use with MSG data only and will not
! work in the given implementation for Meteosat first generation data.
!
! Two functions/subroutines are provided:
!   pixcoord2geocoord: for conversion of column/line into lat./long.
!   geocoord2pixcoord: for conversion of lat./long. into column/line
!
! The main routine gives an example how to utilize these two subroutines by
! reading a value for column and line at the start of the program on the
! command line and convert these value into the cooresponding
! geographical coordinates and back again. The results are then printed
! out on the screen.
!
! To Compile the program use for example:
!
```

```

! COMMAND PROMPT: f90 MSG_navigation.c -o MSG_navigation
!
! Run the program by typing
!
! COMMAND PROMPT: ./MSG_navigation <COLUMNS> <ROWS>
!
! -----
!
! NOTE: Please be aware, that the program assumes the MSG image is
! ordered in the operational scanning direction which means from south
! to north and from east to west. With that the VIS/IR channels contains
! of 3712 x 3712 pixels, start to count on the most southern line and the
! most eastern column with pixel 1,1.
!
! NOTE on CFAC/LFAC and COFF/LOFF
! The parameters CFAC/LFAC and COFF/LOFF are the scaling
! coefficients provided by the navigation record and used by the scaling
! function given in Ref [1], page 28.
!
! COFF/LOFF are the offsets for column and line which are basically 1856
! and 1856 for the VIS/IR channels and refer to the middle of the image
! (centre pixel). The values regarding the High Resolution Visible Channel
! (HRVis) will be made available in a later issue of this software.
!
! CFAC/LFAC are responsible for the image "spread" in the NS and EW
! directions. They are calculated as follows:
! CFAC = LFAC = 216 / delta
! with
! delta = 83.843 micro Radian (size of on VIS/IR MSG pixel)
!
! CFAC      = LFAC      = 781648343.404 rad-1 for VIS/IR
!
! which should be rounded to the nearest integer as stated in Ref [1].
!
! CFAC      = LFAC      = 781648343 rad-1 for VIS/IR
!
! the sign of CFAC/LFAC gives the orientation of the image.
! Negative sign give data scanned from south to north as in the
! operational scanning. Positive sign vice versa.
!
! The terms "line" and "row" are used interchangeable.
!
! PLEASE NOTE that the values of CFAC/LFAC which are given in the

```

```

! Header of the LRIT/HRIT Level 1.5 Data (see [2]) are actually in
! Degrees and should be converted in Radians for use with these
! routines (see example and values above).
!
! The other parameters are given in Ref [1].
!
! Further information may be found in either Ref [1], Ref [2] or Ref [3] or
! on the Eumetsat website http://www.eumetsat.de/ .
!
! REFERENCE:
! [1] LRIT/HRIT Global Specification
!      (CGMS 03, Issue 2.6, 12.08.1999)
!      for the parameters used in the program.
! [2] MSG Ground Segment LRIT/HRIT Mission Specific
!      Implementation, EUMETSAT Document,
!      (EUM/MSG/SPE/057, Issue 5, 4. February 2005).
! [3] MSG Level 1.5 Image Data Format Description
!      (EUM/PS-MSG/ICD/04/0730, Issue 3, 4. February 2005).
!
!
! Please email the User Service (via
! //http://www.eumetsat.de/feedback/form\_ops.html)
! if you have any questions regarding this software.
!
!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

```

MODULE GLOBAL

```

! define global parameters used in the routines as given in Ref. [1].
! to distinguish between them and other variables they are written
! in CAPITAL LETTERS.

REAL, PARAMETER :: PI=3.14159265359

REAL, PARAMETER :: SAT_HEIGHT= 42164.0
REAL, PARAMETER :: R_EQ = 6378.169
REAL, PARAMETER :: R_POL= 6356.5838
REAL, PARAMETER :: SUB_LON = 0.0      ! Longitude of Sub-Satellite Point

INTEGER, PARAMETER :: CFAC = -781651420
INTEGER, PARAMETER :: LFAC = -781651420

```

```

    INTEGER, PARAMETER :: COFF = 1856
    INTEGER, PARAMETER :: LOFF = 1856

END MODULE GLOBAL

!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
!
! The following program gives an example how to incorporate the
! functions "geocoord2pixcoord" and "pixcoord2geocoord"
!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

PROGRAM navi

    USE GLOBAL

    IMPLICIT NONE

! command line variables
    CHARACTER *100 BUFFER
    integer k

! working variables
    INTEGER :: column, row, line, col
    INTEGER :: c, l
    INTEGER :: ccc, lll

    DOUBLE PRECISION :: d_lat, d_lon
    DOUBLE PRECISION :: latitude
    DOUBLE PRECISION :: longitude

    k = iargc()

! command line
    if ( k /= 2 ) then
        print *, " call of program "
        print *, " ./MSG_navigation <COLUMNS> <ROWS> "
        print *, " EXIT! "
        stop
    end if

    call getarg(1,BUFFER)

```

```

read(buffer,*) column
call getarg(2,BUFFER)
read(buffer,*) row

! now start working
c=column
l=row

! first convert the pixel column and row to the appropriate
! longitude/latitude pair

call pixcoord2geocoord(c, l, COFF, LOFF, latitude, longitude)

! use the result from "pixcoord2geocoord" to convert back into
! the pixel column and row again

call geocoord2pixcoord(latitude, longitude, COFF, LOFF, ccc, lll)

! print out results
print *, "c=",c," l=",l," lat=",latitude," lon=",longitude, " col=",ccc, "row=",lll

END PROGRAM navi

!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
! subroutine pixcoord2geocoord
!
! PURPOSE:
! return the geographic latitude and longitude of an MSG image
! for a given pair of latitude/longitude.
! (based on the formulas given in Ref. [1])
!
!
! DEPENDENCIES:
! none

```



```

!
!
! REFERENCE:
! [1] LRIT/HRIT Global Specification
!      (CGMS 03, Issue 2.6, 12.08.1999)
!      for the parameters used in the program
! [2] MSG Ground Segment LRIT/HRIT Mission Specific
!      Implementation, EUMETSAT Document,
!      (EUM/MSG/SPE/057, Issue 5, 4. February 2005)
!
! MODIFICATION HISTORY:
!   Version 1.0
!   17.01.2005 written by Knut Dammann
!   (c) EUMETSAT 2005
!
!
! INPUT:
!   row   (int) row-value of the pixel
!   column (int) columb-value of the pixel
!   ccoff (int) coefficient of the scalling function
!              (see page 28, Ref [1])
!              NOTE: since Fortran cannot distinguish between
!                    upper case and lower case letters the name
!                    "ccoff" is used rather than "COFF" to distinguish
!                    between them.
!   lloff (int) coefficient of the scalling function
!              (see page 28, Ref [1])
!              NOTE: since Fortran cannot distinguish between
!                    upper case and lower case letters the name
!                    "ccoff" is used rather than "COFF" to distinguish
!                    between them.
!
! OUTPUT:
!   latitude (double) geographic Latitude of the wanted pixel [Degrees]
!   longitude (double) geographic Longitude of the wanted pixel [Degrees]
!
!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

SUBROUTINE pixcoord2geocoord( column, row, ccoff, lloff, latitude, longitude)

USE GLOBAL

```

```
IMPLICIT NONE
```

```
INTEGER, INTENT (IN) :: column, row, ccoeff, lloff
```

```
DOUBLE PRECISION , INTENT (OUT) :: latitude, longitude
```

```
DOUBLE PRECISION :: s1, s2, s3, sn, sd, sxy
```

```
DOUBLE PRECISION :: x, y, xx, yy
```

```
DOUBLE PRECISION :: longi, lati
```

```
DOUBLE PRECISION :: lat
```

```
DOUBLE PRECISION :: lon
```

```
DOUBLE PRECISION :: a, b, sa
```

```
INTEGER :: c, l
```

```
c=column
```

```
l=row
```

```
! calculate viewing angle of the satelllite by use of the equation
```

```
! on page 28, Ref [1].
```

```
x = (2**16. * ( c - ccoeff) ) / real(CFAC)
```

```
y = (2**16. * ( l - lloff) ) / real(LFAC)
```

```
! now calculate the inverse projection using equations on page 25, Ref. [1]
```

```
! first check for visibility, whether the pixel is located on the earth
```

```
! surface or in space.
```

```
! To do this calculate the argument to sqrt of "sd", which is named "sa".
```

```
! If it is negative then the sqrt will return NaN and the pixel will be
```

```
! located in space, otherwise all is fine and the pixel is located on the
```

```
! earth surface.
```

```
sa = (SAT_HEIGHT * cos(x) * cos(y) )**2 - (cos(y)*cos(y) + 1.006803 * sin(y)*sin(y)
```

```
! now calculate the rest of the formulas using eq. on page 25 Ref [1]
```

```
sd = sqrt( (SAT_HEIGHT * cos(x) * cos(y) )**2 - (cos(y)*cos(y) + 1.006803 * sin(y)*
```

```

sn = (SAT_HEIGHT * cos(x) * cos(y) - sd) / ( cos(y)*cos(y) + 1.006803 * sin(y)*sin(

s1 = SAT_HEIGHT - sn * cos(x) * cos(y)
s2 = sn * sin(x) * cos(y)
s3 = -sn * sin(y)

sxy = sqrt( s1*s1 + s2*s2 )

! using the previous calculations now the inverse projection can be
! calculated, which means calculating the lat./long. from the pixel
! row and column by equations on page 25, Ref [1].

! take care if the pixel is in space, that an error code will be returned

if ( sa <= 0. ) then
    latitude = -999.999
    longitude = -999.999
else
    longi = atan(s2/s1 + SUB_LON)
    lati  = atan((1.006803*s3)/sxy)
end if

! convert from radians into degrees
latitude = lati*180./PI
longitude = longi*180./PI

END SUBROUTINE pixcoord2geocoord

!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
! subroutine geocoord2pixcoord
!
! PURPOSE:
!   return the pixel column and line of an MSG image
!   for a given pair of geographic latitude/longitude.
!   (based on the formulas given in Ref. [1])
!
!
! DEPENDENCIES:
!   up to now none
!

```

```

!
! REFERENCE:
! [1] LRIT/HRIT Global Specification
!      (CGMS 03, Issue 2.6, 12.08.1999)
!      for the parameters used in the program.
! [2] MSG Ground Segment LRIT/HRIT Mission Specific
!      Implementation, EUMETSAT Document,
!      (EUM/MSG/SPE/057, Issue 5, 4. February 2005).
!
!
! MODIFICATION HISTORY:
!   Version 1.0
!   17.01.2005 written by Knut Dammann
!   (c) EUMETSAT 2005
!
!
! INPUT:
!   latitude (double) geographic Latitude of a point [Degrees]
!   longitude (double) geographic Longitude of a point [Degrees]
!   ccoeff (int)      coefficient of the scalling function
!                      (see page 28, Ref [1])
!                      NOTE: since Fortran cannot distinguish between
!                             upper case and lower case letters the name
!                             "ccoff" is used rather than "COFF"
!                             to distinguish between them.
!
!   lloff (int)       coefficient of the scalling function
!                      (see page 28, Ref [1])
!                      NOTE: since Fortran cannot distinguish between
!                             upper case and lower case letters the name
!                             "lloff" is used rather than "LOFF"
!                             to distinguish between them.
!
!
! OUTPUT:
!   row (int)         row-value of the pixel
!   column (int)      column-value of the pixel
!
!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

SUBROUTINE geocoord2pixcoord( latitude, longitude, ccoeff, lloff, column, row)

USE GLOBAL

```

IMPLICIT NONE

```
DOUBLE PRECISION, INTENT (IN) :: latitude, longitude
INTEGER, INTENT (IN)  :: ccoeff, lloff
INTEGER, INTENT (OUT) :: column, row
```

```
INTEGER :: c=0, l=0
INTEGER :: ccc=0, lll=0
INTEGER :: x=0, y=0
```

```
DOUBLE PRECISION :: lati, longi
DOUBLE PRECISION :: c_lat
DOUBLE PRECISION :: lat
DOUBLE PRECISION :: lon
DOUBLE PRECISION :: r1, r2, r3, rn, re, rl
DOUBLE PRECISION :: xx, yy, sa
DOUBLE PRECISION :: cc, ll
DOUBLE PRECISION :: dotprod
```

```
lati= latitude
longi= longitude
```

```
! check if the values are sane, otherwise return error value
if (lati < -90.0 .or. lati > 90.0 .or. longi < -180.0 .or. longi > 180.0 ) then
    row = -999
    column = -999
    return
end if
```

```
! convert them to radians
lat = lati*PI / 180.
lon = longi *PI / 180.
```

```
! calculate the geocentric latitude from the
! geographic one using equations on page 24, Ref. [1]
```

```
c_lat = atan ( (0.993243*(sin(lat)/cos(lat)) ))
```

```

! using c_lat calculate the length from the earth
! centre to the surface of the earth ellipsoid
! equations on page 24, Ref [1]

re = R_POL / sqrt( (1 - 0.00675701 * cos(c_lat) * cos(c_lat) ) )

! calculate the forward projection using equations on page 24, Ref. [1]

r1 = re
r1 = SAT_HEIGHT - r1 * cos(c_lat) * cos(lon - SUB_LON)
r2 = - r1 * cos(c_lat) * sin(lon - SUB_LON)
r3 = r1 * sin(c_lat)
rn = sqrt( r1*r1 + r2*r2 + r3*r3 )

! check for visibility, whether the point on the earth given by the
! latitude/longitude pair is visible from the satellite or not. This
! is given by the dot product between the vectors of:
! 1) the point to the spacecraft,
! 2) the point to the centre of the earth.
! If the dot product is positive the point is visible otherwise it
! is invisible.

dotprod = r1*(r1 * cos(c_lat) * cos(lon - SUB_LON)) - r2*r2 - r3*r3*((r_EQ/R_POL)**2)

if (dotprod <= 0. ) then
    column = -999
    row = -999
    return
end if

! the forward projection is x and y

xx = atan( (-r2/r1) )
yy = asin( (-r3/rn) )

! convert to pixel column and row using the scaling functions on
! page 28, Ref. [1]. And finding nearest integer value for them.

cc = ccoff + xx * 2**(-16.) * real(CFAC)
ll = lloff + yy * 2**(-16.) * real(LFAC)

```

```
ccc=nint(cc)
lll=nint(ll)
```

```
column = ccc
row = lll
```

```
END SUBROUTINE geocoord2pixcoord
```

Referências Bibliográficas

American Association for the Advancement of Science (1989). *Science for all Americans* [Em linha]. Acessível em <http://www.project2061.org/publications/sfaa/online/sfaatoc.htm?q1> (17/12/2005)

American Association for the Advancement of Science (1989). *Benchmarks for science literacy* [Em linha]. Acessível em <http://www.project2061.org/publications/bsl/online/bolintro.htm> (17/12/2005)

Bakst, L. & Yamazaki, Y. (2000). *Princípios Físicos e Técnicos da Meteorologia por Satélite. Vol I: Relações Espaciais*. Pelotas, Editora e Gráfica Universitária, UFPEL.

Barger, V. & Olsson, M. (1995). *Classical Mechanics: A Modern Perspective*. (2ª Ed.) N.Y.: McGraw-Hill.

Barry, R., & Chorley, R. (1985). (4ª ed.) *Atmósfera, tiempo y clima*. Barcelona: Ediciones Omega.

Boschetti, L., Brivio, P. & Gregoire, J. (2003). The use of Meteosat and GMS imagery to detect burned areas in tropical environments. *Remote Sensing of Environment*, 85, 78-91.

Cachapuz, A., Praia, J. & Jorge, M. (2000a). Perspectivas de ensino. In A. Cachapuz (Org.), *Formação de Professores: Textos de Apoio n.º 1*. Porto: Centro de Estudos de Educação em Ciência (CEEC).

Cachapuz, A., Praia, J. & Jorge, M. (2000b). Reflexão em torno de perspectivas do ensino das ciências: Contributos para uma nova orientação curricular, ensino por pesquisa. *Revista de Educação*, IX (1), 69-79.

Cachapuz, A., Praia, J., Paixão, F. & Martins, I. (2000). Uma visão sobre o ensino das ciências no pós-mudança conceptual: contributos para a formação de professores. *Inovação*, 13(2-3), 117-137.

Chrysoulakis, N., & Cartalis, C. (2003). A new algorithm for the detection of plumes caused by industrial accidents, based on NOAA/AVHRR imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24, 17, 3353-3367.

Conway, E. D. (1997). *An Introduction to Satellite Image Interpretation*. Baltimore: John Hopkins University Press.

Coordination group for meteorological satellites (CGMS) . (1999). *LRIT/HRIT global specification*. Darmstadt: EUMETSAT.

Direcção Geral dos Recursos Florestais (DGRF). (2005). *Incêndios florestais - 2005. 8º relatório quinzenal provisório - 30 de Agosto de 2005*. [Em linha]. Acessível em <http://www.dgrf.min-agricultura.pt/v4/dgf/pub.php?ndx=2115>. (17/12/2005).

Drury, S. A. (1998). *Images of the earth - a guide to remote sensing*. (second edition). Oxford: Oxford Science Publications.

Dudhia, J. (1993). A nonhydrostatic version of the Penn State - NCAR mesoscale model: validation tests and simulation of an atlantic cyclone and cold front. *Monthly Weather Review*, 121, 1493-1513.

Dudhia, J., Gill, D., Manning, K., Wang, W., & Bruyere, C. (2005). *Mesoscale modeling system tutorial class notes and user's guide: MM5 modeling system version 3*. [Em linha]. Acessível em <http://www.mmm.ucar.edu/mm5/documents/> (17/12/2005)

Fonseca, A. & Fernandes, J. (2004). *Detecção remota*. Lisboa: LIDEL.

Goldstein, H. (1980). *Classical mechanics*. (2nd Ed.) Massachusetts: Addison Wesley.

Grégoire, J-M., Cahoon, D., Stroppiana, D., Li, Z., Pinnock, S., Eva, H., Arino, O., Rosaz, J., & Csizsar (2001). Forest fire monitoring and mapping for GOF: current products and information networks based on NOAA-AVHRR, ERS-ATSR, and SPOT-VGT, in in F. Ahern, J.G. Goldammer, C. Justice (Eds), *Global and Regional Vegetation Fire Monitoring from Space, Planning and Coordinated International Effort*. The Hague : SPB Academic Publishing bv.

Grell, G., Dudhia, J., & Stauffer, D. (1994). A description of the fifth generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5). *NCAR technical note, NCAR TN-398-STR*.

Hamilton, L. (2004). First steps in setting up an APT ground station. *GEO Quarterly* - 1 (Fevereiro), 42-45.

Harlen, W. (1999). *Effecting teaching of science, a review of research*. Glasgow: The Scottish Council for Research in Education (SCRE).

Hodson, D. (1993). Towards a more critical approach to practical work in school science. *Studies in Science Education*, 22, 85-142.

Hodson, D. (1996). Practical work in school science: exploring some directions for change. *International Journal of Science Education*, 18, 755-760.

- Hodson, D. (1998). Becoming critical about practical work: changing views and changing practice through action research. *International Journal of Science Education*, 20, 683-694.
- Hoots, F. & Roehrich, R. (1980). Models for propagation of NORAD element sets. *Project Spacetrack Report*, number 3.
- Japan Association of Remote Sensing (JARS). (1996). *Remote sensing note*. [Em linha]. Acessível em <http://ksrs.or.kr/library/rsnote/contents.htm>. (17/12/2005).
- Kampel, M. (2004). Características gerais dos satélites NOAA: histórico, instrumentos e comunicação de dados. In N. Ferreira (coord.), *Aplicações ambientais brasileiras dos satélites NOAA e TIROS-N* São Paulo: Oficina de Textos.
- Kant, Y., Prasad, V. & Badarinath, K. (2000). Algorithm for detection of active fire zones using NOAA AVHRR data. *Infrared Physics & Technology*, 41, 29-34.
- Kidder, S & Haar, T. (1995). *Satellite meteorology: an introduction*. San Diego, California: Academic Press.
- Li, Z., Nadon, S. & Cihlar, J. (2000). Satellite-based detection of Canadian boreal forest fires: development and application of the algorithm. *International Journal of Remote Sensing*, 21, 16, 3057-3069.
- Li, Z., Kaufman, Y., Ithoku, C., Fraser, R., Trishchenko, A., Gilgil, L., Jin, J., & Yu, X. (2001). A review of AVHRR-based fire active fire detection algorithm: Principles, limitations, and recommendations, in F. Ahern, J.G. Goldammer, C. Justice (Eds), *Global and Regional Vegetation Fire Monitoring from Space, Planning and Coordinated International Effort*. The Hague : SPB Academic Publishing bv.
- Lillesand, T. & Kiefer, R. (1994). *Remote Sensing and Image Interpretation* (third edition). NY: John Wiley & Sons.
- Martins, I. (1996). Questionando a educação formal em ciências. *Revista de Educação*, VI(1), 117-120.
- Martins, I. & Veiga, M. (1999). *Uma análise do currículo da escolaridade básica na perspectiva da educação em ciências*. Lisboa: Instituto de Inovação Educacional.
- Miller, A. (1977) (2ª ed.) *Meteorologia*. Barcelona: Editorial Labor.
- Ministério da Educação, Departamento da Educação Básica. (2004). *Organização curricular e programas. Ensino básico - 1º Ciclo*. (4ª ed.) Lisboa: Departamento de Educação Básica.
- Ministério da Educação, Departamento da Educação Básica. (2001). *Currículo nacional do ensino básico - competências essenciais*. Lisboa: Departamento da Educação Básica.

- Miranda, P. (2001). *Meteorologia e Ambiente*. Lisboa: Universidade Aberta.
- Moreira, M. (2005) *Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação* (3.^a Ed.) São José dos Campos: INPE/FUNDEC.
- Moxey, L., Tucker, C., Sloan, J. & Chadwick, J. (2004). Introducing real-time AVHRR-APT satellite imagery in the classroom environment. *Journal of Science Education and Technology*, 13,3, 387-394.
- NOAA (2000). *NOAA KLM user's guide with NOAA-N,-N' supplement*. [Em linha]. Acessível em <http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/klm/index.htm> (17/12/2005).
- Ohring, G., Lord, S., Derber, J., Mitchell, K. & Ji, M. (2002). Applications of satellite remote sensing in numerical weather and climate prediction. *Advances in Space Research*, 30, 11, 2433-2439.
- Orgaz, M., Teixeira, M., & Amorin, E. (1995). *Instrumentação e técnicas de observação*. Aveiro: Departamento de Física.
- Pratt, T. & Bostian, C. (1986). *Satellite Communications*. NY: John Wiley & Sons.
- Pereira, M., Fernandes, A., Braga, R., Silva, R. (2004) Detecção de queimadas com o uso do radiômetro AVHRR. In N. Ferreira (coord.), *Aplicações ambientais brasileiras do satélites NOAA e TIROS-N*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Praia, J. (1996). Da insatisfação de uma educação científica actual à necessidade de uma reflexão (re)vitalizadora em torno da filosofia e da história da ciência. *Revista de Educação*, VI(1), 105-112.
- Rao, P., Holmes, S., Anderson, R., Winston, J., & Lehr, E. (Eds.) (1990). *Weather satellites: systems, data and environmental application*. Boston: American Meteorological Society.
- Rees, W. (1990). *Physical principles of remote sensing*. Cambridge, NY: Cambridge University Press.
- Sá, J. (1994). *Renovar as práticas no 1.º ciclo pela via das Ciências da Natureza*. Lisboa: Porto Editora.
- Sá, J. (2000). A abordagem experimental das ciências no jardim de infância e 1º ciclo do ensino básico: sua relevância para o processo de educação científica nos níveis de escolaridade seguintes. *Inovação*, 13(2-3), 57-67.
- Smith, I. (1995). *Programming in FORTRAN 90*. Chichester, UK: John Wiley & Sons.
- Taggart, R. (1996). *The weather satellite handbook* (fifth edition). American Radio Relay League.

Tellick, J. (2004). Meteosat second generation. *GEO Quarterly* - 1 (Fevereiro), 7-8.

Tuner, J., Lillywhite, J., & Pieslak, Z. (1961). Forecasting for forest fire services. *Tech. Note 42*, WMO, Geneva, Switzerland.

Veríssimo, A., & Ribeiro, R. (2001). Educação em ciências e cidadania: porquê, onde e como. In A. Veríssimo, A. Pedrosa, R. Ribeiro (coord.), *(Re)pensar o ensino das ciências*. Lisboa: Ministério da Educação.

Westerwelle, H. (1989). *Wettersatelliten-Empfangspraxis*. Munique: Franzis-Verlag.