



**DEPARTAMENTO DE FÍSICA
UNIVERSIDADE DE ÉVORA**

***“Detecção e Identificação de Nevoeiros e Nuvens na Região
Sul de Portugal a Partir de Detecção Remota
Multi-Espectral de Satélite ”***

Carlos Miguel Barão Mateus

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Clima e Ambiente Atmosférico
Variante Sistemas de Observação e Informação Meteorológica e do Clima**

Sob a orientação de

Professora Doutora Maria João Costa
Professora Auxiliar da Universidade de Évora
Departamento de Física

Professor Doutor António Heitor Reis
Professor Associado com Agregação da Universidade de Évora
Departamento de Física

Dezembro 2006

DETECÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE NEVOEIROS E NUVENS NA REGIÃO SUL DE PORTUGAL A PARTIR DE DETECÇÃO REMOTA MULTI-ESPECTRAL DE SATÉLITE

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Clima e Ambiente Atmosférico
Variante Sistemas de Observação e Informação Meteorológica e do Clima
Departamento de Física
Universidade de Évora**

Por

Carlos Miguel Barão Mateus

sob orientação de

Professora Doutora Maria João Costa
Professora Auxiliar da Universidade de Évora
Departamento de Física



163 368

Professor Doutor António Heitor Reis
Professor Associado com Agregação da Universidade de Évora
Departamento de Física

Évora
Dezembro 2006

AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda a minha Família, em particular aos meus Pais todo o carinho, amor, apoio e paciência que tiveram ao longo da minha vida, se hoje escrevo estas linhas o devo em muito a eles.

A todos os meus Amigos que sempre me apoiaram e ajudaram nos bons e maus momentos, ao longo da minha vida.

Aos meus Colegas de Mestrado quero agradecer a amizade, camaradagem, e os bons momentos vividos ao longo destes dois anos.

Ao Comando Operacional da Força Aérea Portuguesa na pessoa do seu Comandante – Excelentíssimo Senhor Tenente General João Manuel Mendes de Oliveira, por me ter dado a oportunidade de utilizar os dados das Estação Meteorológica da Base Aérea N°11, para a realização deste trabalho.

Agradeço à EUMETSAT o fornecimento dos dados do satélite MSG-SEVIRI, necessários à realização deste trabalho.

Agradeço ao Professor Doutor Heitor Reis e à Mestre Cláudia Serrano, os dados fornecidos, a ajuda e esclarecimentos académicos prestados ao longo do estudo.

Aos dirigentes do Centro de Geofísica de Évora e do Departamento de Física da Universidade de Évora todas as condições materiais que foram facultadas para a execução da Tese de Mestrado, em particular ao Professor Doutor Corte Real, à Professora Doutora Ana Maria Silva, e ao Professor Doutor Namorado Rosa.

Em particular neste trabalho quero agradecer à Professora Doutora Maria João Costa, o acompanhamento, a disponibilidade e a orientação fundamentais em todo o desenrolar do estágio. O seu empenho, bem como conselhos, as críticas e os ensinamentos foram essenciais para a minha formação.

A todos eles muito obrigado.

RESUMO

O principal objectivo deste trabalho é o desenvolvimento de um algoritmo para a detecção de nuvens, em particular a detecção do nevoeiro, utilizando imagens multi-espectrais do satélite Meteosat-8 SEVIRI. Pretende-se ainda investigar a relação entre o campo eléctrico atmosférico e o nevoeiro.

São analisadas para o efeito várias imagens do Meteosat-8 SEVIRI e seleccionados os testes para detecção e classificação de nevoeiros e nuvens. Esta selecção permite concluir que os métodos mais adequados para a detecção do nevoeiro resultam da diferença da Temperatura de Brilho no infravermelho (IV), entre os canais espectrais IV3.9 e IV10.8, e IV8.7 e IV10.8. Aplica-se então o método desenvolvido a vários casos e estima-se que a taxa de sucesso global para a detecção de nevoeiros é de 72%. Finalmente, avaliam-se as correlações entre o campo eléctrico atmosférico e o nevoeiro na região de Évora, no entanto o estudo não evidencia, em primeira análise, uma relação significativa entre ambas.

DETECTION AND IDENTIFICATION OF FOGS AND CLOUDS IN THE SOUTH OF PORTUGAL FROM MULTISPECTRAL SATELLITE REMOTE SENSING ABSTRACT

The main goal of this thesis is the development of an algorithm for the detection of clouds, particularly the detection of fog, using multispectral satellite images from Meteosat-8 SEVIRI. It is also intended to investigate the relation between the atmospheric electrical field and fog.

Several images from Meteosat-8 SEVIRI are analysed and tests selected for the detection and classification of fogs and clouds. Through this selection it is possible to conclude that the most suitable methods for the detection of fogs come from the Brightness Temperature difference in the infrared spectral region (IR), between the spectral channels IR3.9 and IR10.8, and between IR8.7 and IR10.8. The method developed is applied to several cases and the estimated rate of global success for the detection of fogs is 72%. Finally, the correlations between the atmospheric electrical field and the fog in the Évora area are evaluated, however, the study doesn't show in a first analysis a significant relation between both of them.

ÍNDICE

Lista de Figuras	iv
Lista de Tabelas	ix
Capítulo 1 – Introdução	1
1.1 Nuvens e Nevoeiros	1
1.2 Detecção Remota e Âmbito da Tese	2
Capítulo 2 – Fundamentos Teóricos	4
2.1 Interação da Radiação com a Atmosfera.....	4
2.1.1 Sol – Fonte de Energia para a Terra	4
2.1.2 Radiação Solar no Topo da Atmosfera	5
2.1.3 Dispersão da Radiação Solar	7
2.1.3.1 Dispersão de Rayleigt e Mie.....	7
2.1.4 Absorção da Radiação Solar.....	8
2.1.5 Absorção da Radiação Terrestre.....	9
2.2 Meteosat Segunda Geração (MSG).....	10
2.3 Análise Multi-Espectral e Detecção Remota de Nuvens.....	14
2.3.1 Utilização dos Canais IV3.9 e IV10.8.....	14
2.3.2 Utilização dos Canais IV8.7 e IV10.8	17
2.4 Nuvens	18
2.4.1 Processos de Formação das Nuvens	18
2.4.2 Classificação das Nuvens	19
2.5 Nevoeiros	22
2.5.1 Processos de Formação dos Nevoeiros.....	22
2.5.2 Classificação dos Nevoeiros	23
2.6 O Campo Eléctrico Atmosférico e a Meteorologia Local.....	25
2.7 Técnicas Utilizadas	27
2.7.1 Funções de Covariância Cruzada e de Correlação Cruzada.....	27
2.7.2 Teste de Tendência de Mann-Kendall.....	27
Capítulo 3 – Dados Utilizados e Metodologia	30
3.1 Dados Utilizados.....	30
3.2 Metodologia e Análise dos Dados Utilizados	32
3.2.1 Análise Diária	33
3.2.1.1 Método BT3.9-BT10.8	33
3.2.1.2 Método BT8.7-BT10.8.....	35

3.2.2	Análise Anual.....	37
3.2.2.1	Método BT3.9-BT10.8.....	37
3.2.2.2	Método BT8.7-BT10.8.....	39
3.2.3	Análise Sazonal - Primavera.....	40
3.2.3.1	Método BT3.9-BT10.8.....	40
3.2.3.2	Método BT8.7-BT10.8.....	42
3.2.4	Análise Sazonal - Verão	44
3.2.4.1	Método BT3.9-BT10.8.....	44
3.2.4.2	Método BT8.7-BT10.8.....	46
3.2.5	Análise Sazonal - Outono.....	48
3.2.5.1	Método BT3.9-BT10.8.....	48
3.2.5.2	Método BT8.7-BT10.8.....	50
3.2.6	Análise Sazonal - Inverno.....	51
3.2.6.1	Método BT3.9-BT10.8.....	52
3.2.6.2	Método BT8.7-BT10.8.....	53
3.2.7	Máscara de Nuvens e Nevoeiro	55
3.2.7.1	Intervalos da Máscara	56
Capítulo 4	– Resultados.....	60
4.1	Resultados da Máscara de Nuvens e Nevoeiro	60
4.1.1	Avaliação Quantitativa da Qualidade da Máscara de Nevoeiro	69
4.1.2	Conclusões.....	70
4.2	Variação Conjunta do Campo Eléctrico Atmosférico e do Nevoeiro na Região de Évora	70
4.2.1	Séries do Campo Eléctrico Atmosférico na Região de Évora.....	71
4.2.2	Campo Eléctrico Atmosférico e Série da BT8.7-BT10.8, na Região de Évora.....	72
4.2.2.1	Funções de Correlação Cruzada.....	72
4.2.3	Campo Eléctrico Atmosférico e Índice de Nevoeiro, na Região de Évora.....	75
4.2.3.1	Funções de Correlação Cruzada.....	75
4.2.4	Conclusões	78
Capítulo 5	– Conclusões e Perspectivas de Trabalho Futuro.....	79
5.1	Máscara de Nuvens e Nevoeiro	79
5.1.1	Máscara de Nuvens e Nevoeiro – Primavera.....	80
5.1.2	Máscara de Nuvens e Nevoeiro – Verão	80
5.1.3	Máscara de Nuvens e Nevoeiro – Outono	81
5.1.3	Máscara de Nuvens e Nevoeiro – Inverno	81
5.2	Relação Entre o Campo Eléctrico Atmosférico e o Nevoeiro na Região de Évora	82

Referências Bibliográficas	83
Lista de Símbolos	86
Lista de Abreviaturas	87

Lista de Figuras

Figura	Pág.
Capítulo 2	
2.1 Espectro electromagnético de radiação.....	5
2.2 Curvas de radiação para dois corpos negros, um a emitir a 6000 K (radiação solar) e outro a emitir a 300 K (radiação terrestre).....	5
2.3 Diagrama que esquematiza o balanço radiativo global do sistema climático.....	6
2.4 Irradiação Solar no Topo da Atmosfera; Irradiação Solar ao nível do mar; Espectro de emissão do Corpo Negro a 5900 K. (As áreas em que a curva da irradiância ao nível do mar caem abruptamente mostram as bandas de absorção dos diferentes gases).....	8
2.5 Espectro de absorção para os vários gases que constituem a atmosfera, desde o topo da atmosfera até à superfície terrestre, e o espectro de absorção para todos os gases.....	10
2.6 Área da esfera terrestre coberta pelo MSG.....	11
2.7 Área coberta pelo canal HRV, na sua configuração normal e alternativa....	12
2.8 Funções de resposta dos canais do visível do MSG-SEVIRI, em conjunto com o espectro da reflectância da vegetação (verde), e do solo sem vegetação (castanho), e o espectro de irradiância no topo da atmosfera (vermelho).....	13
2.9 Espectro do IV terrestre, e as funções de resposta dos canais térmicos do MSG-SEVIRI.....	13
2.10 Funções peso para os canais térmicos do MSG-SEVIRI. Considerou-se uma atmosfera padrão para o Verão nas latitudes médias para a simulação com um modelo de transferência radiativa.....	14
2.11 O mesmo que a Figura 2.10, para um ângulo Zenital de 60°.....	14
2.12 Contribuição da radiação solar e térmica para o canal IV3.9, e bandas de absorção que se situam na sua vizinhança.....	15
2.13 Curvas de radiação para um corpo negro a 300 K, e para a mesma temperatura somando a reflectividade da radiação solar.....	15
2.14 Índice de absorção das gotículas de água (nevoeiro/estratos baixos) para os canais IV3.9 e IV10.8.....	16
2.15 Albedo de dispersão simples no canal IV3.9, para gotículas de água, e partículas de gelo, em função do raio das partículas.....	17
2.16 Índice de absorção das partículas de gelo (cirros pouco espessos) para os canais IV3.9 e IV10.8.....	17
2.17 Contribuição da radiação terrestre para o canal IV8.7 e IV10.8, e bandas de absorção que se situam nas suas vizinhanças.....	18
Capítulo 3	
3.1 Mapa representativo da região em estudo. O asterisco (*) no mapa representa a localização de Base Aérea N°11 em Beja, onde foram realizadas as observações meteorológicas de nevoeiro utilizadas neste trabalho.....	31

Figura	Pág.
3.2 Variação horária utilizando o método BT3.9-BT10.8 para o dia 22/01/2004, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo, e indicação da hora do nascer do Sol (07:44 UTC).....	34
3.3 Variação horária utilizando o método BT3.9-BT10.8 para o dia 01/01/2005, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo, e indicação da hora do nascer do Sol (07:48 UTC)...	34
3.4 Variação da BT3.9-BT10.8 em função da BT10.8 para o dia 22/01/2004, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo	35
3.5 Variação da BT3.9-BT10.8 em função da BT10.8 para o dia 01/01/2005, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo	35
3.6 Histograma de distribuição do método BT3.9-BT10.8, às 04:57 UTC do dia 01/01/2005, para toda a região Sul de Portugal. O sinal (*) representa a região com nevoeiro, enquanto o sinal (+) a região com céu limpo.....	35
3.7 Histograma de distribuição do método BT3.9-BT10.8, às 10:42 UTC do dia 01/01/2005, para toda a região Sul de Portugal. O sinal (*) representa a região com nevoeiro, enquanto o sinal (+) a região com céu limpo.....	35
3.8 Variação da BT8.7-BT10.8 em função da BT10.8 para o dia 22/01/2004, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo.....	36
3.9 Variação da BT8.7-BT10.8 em função da BT10.8 para o dia 01/01/2005, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo	36
3.10 Variação horária utilizando o método BT8.7-BT10.8 para o dia 22/01/2004, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo, e indicação da hora do nascer do Sol (07:44 UTC).....	36
3.11 Variação horária utilizando o método BT8.7-BT10.8 para o dia 01/01/2005, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo, e indicação da hora do nascer do Sol (07:44 UTC).....	36
3.12 Histograma de distribuição do método BT8.7-BT10.8, às 04:57 UTC do dia 01/01/2005, para toda a região Sul de Portugal. O sinal (*) representa a região com nevoeiro, enquanto o sinal (+) a região com céu limpo.....	37
3.13 Histograma de distribuição do método BT8.7-BT10.8, às 15:42 UTC do dia 01/01/2005, para toda a região Sul de Portugal. O sinal (*) representa a região com nevoeiro, enquanto o sinal (+) a região com céu limpo.....	37

Figura	Pág.
3.14 Variação anual da BT3.8-BT10.8 em função da BT10.8, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo, para o período do dia e noite em conjunto	38
3.15 Variação anual da BT3.8-BT10.8 em função da BT10.8, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo, para o período da noite	38
3.16 Variação anual da BT8.7-BT10.8 em função da BT10.8, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo, para o período do dia e noite em conjunto.....	39
3.17 Variação anual da BT8.7-BT10.8 em função da BT10.8, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo, para o período da noite.....	40
3.18 Variação da BT3.9-BT10.8 em função da BT10.8, na Primavera, para o período da noite, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo.....	41
3.19 Variação da BT3.9-BT10.8 em função da BT10.8, na Primavera, para o período do dia, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo.....	42
3.20 Variação da BT8.7-BT10.8 em função da BT10.8, na Primavera, para todos os períodos em simultâneo, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo	42
3.21 Variação da BT8.7-BT10.8 em função da BT10.8, na Primavera, para o período do nascer do sol, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo	43
3.22 Variação da BT3.9-BT11.8 em função da BT10.8, no Verão, para o período da noite, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo	45
3.23 Variação da BT3.9-BT11.8 em função da BT10.8, no Verão, para o período do dia, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo	45
3.24 Variação da BT8.7-BT10.8 em função da BT10.8, no Verão, para todos os períodos em simultâneo, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo	46
3.25 Variação da BT8.7-BT10.8 em função da BT10.8, no Verão, para o período do nascer do Sol, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo.....	47
3.26 Variação da BT3.9-BT10.8 em função da BT10.8, no Outono, para o período da noite, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo.....	48
3.27 Variação da BT3.9-BT10.8 em função da BT10.8, no Outono, para o período do dia, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo	49
3.28 Variação da BT8.7-BT10.8 em função da BT10.8, no Outono, para o período do nascer do Sol, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo.....	51

Figura	Pág.
3.29 Variação da BT8.7-BT10.8 em função da BT10.8, no Outono, para o período do dia, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo.....	51
3.30 Variação da BT3.9-BT10.8 em função da BT10.8, no Inverno, para o período da noite, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo.....	52
3.31 Variação da BT3.9-BT10.8 em função da BT10.8, no Inverno, para o período do dia, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo.....	53
3.32 Variação da BT8.7-BT10.8 em função da BT10.8, no Inverno, para todos os períodos em simultâneo, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo.....	54
3.33 Variação da BT8.7-BT10.8 em função da BT10.8, no Inverno, para o período do nascer do Sol, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo.....	54
Capítulo 4	
4.1 Imagens dos canais espectrais do MSG-SEVIRI VIS0.6, e IV10.8, e máscara de nuvens obtidas para o dia 15/04/2006, para os diferentes períodos do dia.....	63
4.2 Imagens dos canais espectrais do MSG-SEVIRI VIS0.6, e IV10.8, e máscara de nuvens obtidas para o dia 11/06/2005, para os diferentes períodos do dia.....	64
4.3 Imagens dos canais espectrais do MSG-SEVIRI VIS0.6, e IV10.8, e máscara de nuvens obtidas para o dia 10/09/2005, para os diferentes períodos do dia.....	65
4.4 Imagens dos canais espectrais do MSG-SEVIRI VIS0.6, e IV10.8, e máscara de nuvens obtidas para o dia 21/01/2006, para os diferentes períodos do dia.....	66
4.5 Sequência de imagens da máscara de nuvens e nevoeiro obtida para o dia 28/03/2006 entre as 02:12 UTC e as 10:57 UTC.....	67
4.6 Imagens do canal VIS0.6 e IV10.8 do SEVIRI, e da máscara de nuvens para o dia 12/05/2006, às 07:57 UTC, onde é visível a presença de rastos de condensação.....	68
4.7 Campo eléctrico atmosférico em Évora no dia 17/08/2005. As setas representam a hora do início e fim do nevoeiro.....	71
4.8 Campo eléctrico atmosférico em Évora no dia 28/03/2006. As setas representam a hora do início e fim do nevoeiro em dois períodos.....	71
4.9 Índice global de aerossóis para o dia 16/08/2005.....	72
4.10 Função de correlação cruzada do campo eléctrico atmosférico\BT8.7-BT10.8 e intervalos de confiança de 95%, para o dia 17/08/2005. Os valores de desfase positivos correspondem a atrasos na série da BT8.7-BT10.8.	74

Figura	Pág.
4.11 Função de correlação cruzada do campo eléctrico atmosférico\BT8.7-BT10.8, e intervalos de confiança de 95%, para o dia 31/10/2005. Os valores de desfasamento positivos correspondem a atrasos na série da BT8.7-BT10.8.....	74
4.12 Funções de correlação cruzada do campo eléctrico atmosférico\BT8.7-BT10.8, e intervalos de confiança de 95%, para os dias 28/11/2005, 28/12/2005, 16/01/2006, 14/02/2006, 07/03/2006, 08/03/2006, 15/03/2006, e 28/03/2006. Os valores de desfasamento positivos correspondem a atrasos na série da BT8.7-BT10.8	74
4.13 Função de correlação cruzada do campo eléctrico atmosférico\ índice de nevoeiro, e intervalos de confiança de 95%, para o dia 17/08/2005. Os valores de desfasamento positivos correspondem a atrasos na série do índice de nevoeiro.....	77
4.14 Função de correlação cruzada do campo eléctrico atmosférico\ índice de nevoeiro, e intervalos de confiança de 95%, para o dia 31/10/2005. Os valores de desfasamento positivos correspondem a atrasos na série do índice de nevoeiro.....	77
4.15 Funções de correlação cruzada do campo eléctrico atmosférico\ índice de nevoeiro, e intervalos de confiança de 95%, para os dias 28/11/2005, 28/12/2005, 16/01/2006, 14/02/2006, 07/03/2006, e 28/03/2006. Os valores de desfasamento positivos correspondem a atrasos na série do índice de nevoeiro	77

Lista de Tabelas

Tabela	Pág.
Capítulo 2	
2.1 Características dos canais SEVIRI, em termos de comprimento de onda mínimo, central e máximo, suas principais aplicações, e principais gases absorventes.....	11
2.2 Os quatro maiores grupos de nuvens, e os seus diferentes tipos.....	20
2.3 Altura aproximada da base das nuvens para várias regiões do globo.....	20
Capítulo 3	
3.1 Dias analisados, hora (UTC) do início e fim da análise, e nº de imagens MSG-SEVIRI utilizadas em cada dia para as quatro estações do ano, com o propósito de desenvolver um algoritmo para a detecção de nevoeiro e nuvens.....	30
3.2 Número mínimo, médio, e máximo de dias de nevoeiro, em Beja durante o período 1994-2005.....	31
3.3 Dias e horas disponíveis, para a correlação do campo eléctrico com o nevoeiro, na região de Évora.....	32
3.4 Intervalos para a máscara de nevoeiro e nuvens, para a Primavera, para o período nocturno.....	56
3.5 Intervalos para a máscara de nevoeiro e nuvens, para a Primavera, para o período do nascer do Sol.....	56
3.6 Intervalos para a máscara de nevoeiro e nuvens, para a Primavera, para o período do dia.....	56
3.7 Intervalos para a máscara de nevoeiro e nuvens, para o Verão, para o período nocturno.....	57
3.8 Intervalos para a máscara de nevoeiro e nuvens, para o Verão, para o período do nascer do Sol.....	57
3.9 Intervalos para a máscara de nevoeiro e nuvens, para o Verão, para o período do dia.....	57
3.10 Intervalos para a máscara de nevoeiro e nuvens, para o Outono, para o período nocturno.....	57
3.11 Intervalos para a máscara de nevoeiro e nuvens, para o Outono, para o período do nascer do Sol.....	58
3.12 Intervalos para a máscara de nevoeiro e nuvens, para o Outono, para o período do dia.....	58
3.13 Intervalos para a máscara de nevoeiro e nuvens, para o Inverno, para o período nocturno.....	58
3.14 Intervalos para a máscara de nevoeiro e nuvens, para o Inverno, para o período do nascer do Sol	58
3.15 Intervalos para a máscara de nevoeiro e nuvens, para o Inverno, para o período do dia.....	59
Capítulo 4	
4.1 Dias em que a máscara de nuvens e nevoeiro foi aplicada, hora (UTC) do início e fim do nevoeiro em Beja, e nº de imagens MSG-SEVIRI utilizadas em cada dia para as quatro estações do ano	60

Tabela	Pág.
4.2 Erros cometidos na máscara de nevoeiro com base na comparação com observações efectuadas na Base Aérea Nº11 (Beja). A análise é apresentada numa base sazonal, anual e para os três período do dia (nocturno, nascer do Sol e diurno).....	69
4.3 Correlação cruzada de desfasamento nulo entre o campo eléctrico atmosférico e a série da BT8.7-BT10.8, na região de Évora, para os dias seleccionados para o estudo.....	73
4.4 Correlação mais significativa e respectivo desfasamento, entre o campo eléctrico atmosférico e a série da BT8.7-BT10.8, na região de Évora.....	73
4.5 Correlação cruzada de desfasamento nulo entre o campo eléctrico atmosférico e o índice de nevoeiro, na região de Évora.....	76
4.6 Correlação mais significativa e respectivo desfasamento, entre o campo eléctrico atmosférico e a série do índice do nevoeiro, na região de Évora...	76

1. INTRODUÇÃO

1.1 NUVENS E NEVOEIROS

Um dos “obstáculos” encontrados pela radiação solar na sua trajectória em direcção à superfície terrestre são as nuvens, cuja constituição básica são cristais de gelo e/ou gotículas de água. A radiação solar na região visível do espectro electromagnético ao interagir com uma nuvem é em grande parte reflectida, penetrando, uma fracção, no seu interior. Parte desta radiação atravessa a nuvem e a restante parte colide sucessivamente com os cristais de gelo e as gotículas de água. Cada colisão entre a radiação e os componentes da nuvem muda não apenas a direcção da trajectória, mas a própria intensidade da radiação, podendo ocorrer a extinção da radiação devido à absorção e principalmente à dispersão múltipla no interior da nuvem. Por outro lado, as nuvens absorvem radiação de grande comprimento de onda emitida pela Terra, contribuindo assim para o efeito de estufa.

De entre os componentes da atmosfera, as nuvens são sem dúvida os que representam o principal papel pela sua importância nos processos de absorção e dispersão da radiação. Como tal, informações contínuas sobre a cobertura de nuvens, ajudam na compreensão de várias questões ainda em aberto nas diversas áreas da ciência e meio ambiente. As nuvens exercem um importante papel no clima global uma vez que elas afectam e são afectadas pelos processos de interacção da atmosfera com oceanos e/ou plataformas continentais (Echer, 2004). As propriedades das nuvens são, portanto, importantes parâmetros necessários ao desenvolvimento de modelos a serem aplicados nos estudos e modelação do clima. Nuvens do tipo Cirros interferem nos processos radiativos globais e no balanço de energia da Terra uma vez que permitem a entrada de energia nos pequenos comprimentos de onda (c.d.o), proveniente do Sol e reduzem a saída de energia nos grandes c.d.o. emitida pela Terra. Cumulonimbus e Nimbostratus produzem precipitação e libertam calor latente na atmosfera.

O nevoeiro não é mais do que uma nuvem que toca a superfície terrestre, mas os mecanismos que levam à sua formação são distintos dos das nuvens, sendo no entanto as suas propriedades físicas idênticas.

O nevoeiro é um fenómeno que tem tanto de belo como de perigoso. A sua ocorrência tem consequências em áreas tão distintas como a higiene do ar, passando por problemas no tráfego aéreo e terrestre. Assim, conduzir de uma região sem nevoeiro para uma com nevoeiro pode ser uma experiência extremamente perigosa. Todos os anos no Inverno existem várias pessoas envolvidas em acidentes rodoviários devido à presença de nevoeiro. Tais acidentes ocorrem geralmente quando um carro entra numa região com nevoeiro, ou seja, com baixa visibilidade, e diminui a sua velocidade, o automóvel que o segue depara-se com esse veículo a baixa velocidade atingindo-o de seguida, podendo dar-se um choque em cadeia o qual envolve por vezes dezenas de viaturas e que pode ter consequências desastrosas. Outro dos perigos do nevoeiro é a condução à noite com os faróis de “máximos” ligados, isto porque uma parte da luz emitida pelos faróis é difundida para trás, devido ao nevoeiro, dificultando a visão do condutor. Os problemas causados pelo nevoeiro não se limitam só ao tráfego terrestre, mesmo com sofisticado equipamento electrónico o nevoeiro dificulta também a navegação marítima, estando na origem de vários acidentes. Por vezes são também afectados

os aeroportos quando a visibilidade diminui abaixo dos valores mínimos permitidos por lei, causando atrasos e cancelamento de vôos com consequências económicas importantes para as companhias aéreas e passageiros (Ahrens e Donald, 2000).

No Verão, junto à costa Portuguesa durante a madrugada e primeiras horas da manhã, o mar encontra-se mais quente que a terra gerando-se uma situação de brisa terrestre na qual, como o nome indica, o vento sopra de terra para o mar. Ao longo da costa ocidental é habitual verificar-se a formação de nevoeiro de origem advectiva, resultante da advecção das massas de ar quente e húmido que se encontram ao largo pelos ventos de oeste no sentido da costa. Ao chegar perto da costa as massas de ar encontram águas mais frias, devido ao afloramento costeiro, e são arrefecidas por baixo atingindo-se a temperatura do ponto de orvalho e formando-se nevoeiro. À medida que se avança ao longo do dia, e sabendo que o continente aquece muito mais rapidamente que o mar, o gradiente térmico continente - oceano inverte-se e o vento passa a soprar do oceano para terra o que resulta na brisa marítima. Devido ao efeito da força de Coriolis a brisa roda para a direita no Hemisfério Norte, adquirindo uma componente de norte e contribuindo desta forma para uma intensificação dos ventos de norte. Este vento é por sua vez responsável pelo desaparecimento do nevoeiro (Mateus et al, 2002).

No Inverno, o clima de Portugal é normalmente condicionado por uma situação de bloqueio, devida ao anticiclone dos Açores, ou pela passagem de frentes. Quando Portugal se encontra condicionado pela situação de bloqueio, o tempo é caracterizado por uma corrente de norte e por uma descida da temperatura do ar, factores que vão contribuir para a formação do nevoeiro de radiação, o qual ocorre em especial nas regiões do interior onde a descida da temperatura durante a noite é mais significativa.

1.2 DETECÇÃO REMOTA E ÂMBITO DA TESE

As nuvens são caracterizadas por terem uma elevada reflectividade e uma temperatura mais baixa do que a superfície da Terra. Como tal, os canais espectrais situados na região do visível e do infravermelho permitem distinguir facilmente as nuvens da superfície. Contudo, há certo tipo de superfícies que dificultam esta distinção tais como superfícies de neve e gelo. Para além destas dificuldades, certos tipos de nuvens como cirros e estratos baixos são difíceis de detectar devido ao pouco contraste entre este tipo de nuvens e a superfície. A análise multi-espectral veio revolucionar a detecção remota de nuvens devido ao enorme conjunto de oportunidades que proporciona, relativamente à análise simples (baseada em uma única região espectral).

O espectrómetro SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager), a bordo do Meteosat-8, introduziu avanços substanciais na detecção remota da Terra devido ao aumento do número de canais espectrais e à maior resolução espacial e temporal disponível. Esta melhoria proporcionou uma excelente base para a monitorização e previsão a curto prazo da ocorrência de nevoeiros.

Devido aos avanços na tecnologia da detecção remota, surgiu a necessidade de se melhorar a detecção remota de nuvens, em especial a detecção de nevoeiros, melhorias estas que poderão num futuro próximo minimizar as consequências negativas provocadas pela presença de nevoeiro, constituindo esta a principal motivação do presente trabalho. O principal objectivo deste trabalho é o desenvolvimento de um algoritmo para a detecção de

nuvens, em particular a detecção do nevoeiro, utilizando imagens do Meteosat-8 SEVIRI, tanto para o período do dia como para o período noite, para todo o ano. Pretendem aproveitar-se as vantagens já mencionadas do novo satélite, a fim de que o presente trabalho possa constituir uma base para a detecção correcta do nevoeiro na região Sul de Portugal. Este estudo pretende servir não só de alicerce para a previsão a curto prazo do nevoeiro, mas também para aprofundar o conhecimento dos processos de formação e dissipação do nevoeiro.

Outro objectivo deste trabalho é a investigação da relação entre o campo eléctrico atmosférico e o nevoeiro. Esta análise surge com o intuito de compreender se é possível melhorar a previsão da evolução temporal do nevoeiro com base na evolução do campo eléctrico atmosférico.

A presente dissertação encontra-se organizada em 5 capítulos. O Capítulo 1 apresenta uma breve introdução, comentando a relevância das nuvens e nevoeiros na atmosfera, clima e sociedade, assim como a motivação e objectivos do trabalho. O Capítulo 2 trata de conceitos básicos relacionados com a interacção da radiação com a atmosfera; apresentam-se também os avanços relacionados com a nova geração de satélites geoestacionários europeus (MSG); são apresentadas as técnicas de análise multi-espectral com vista à detecção remota de nuvens; são descritos os processos de formação de nuvens e nevoeiros e a sua classificação; aborda-se por último a questão da relação entre o campo eléctrico atmosférico e a meteorologia local. O Capítulo 3 apresenta quais os dados utilizados e a metodologia proposta para o desenvolvimento da dissertação, bem como a análise dos dados utilizados. No Capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos através da aplicação do algoritmo desenvolvido que gera uma máscara de nuvens e nevoeiro sobre o Sul de Portugal Continental, e são ainda apresentados os resultados obtidos para a relação entre o campo eléctrico atmosférico e os nevoeiros. O Capítulo 5 apresenta todas as conclusões obtidas ao longo do presente estudo e algumas perspectivas de trabalho futuro.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO COM A ATMOSFERA

2.1.1 Sol - Fonte de Energia para a Terra

O Sol é a fonte de praticamente toda energia que entra no planeta Terra. A quantidade de energia recebida da Lua, planetas, estrelas e do interior do globo terrestre, são desprezáveis em comparação com a recebida através do Sol. A evidência desse facto está no aumento da temperatura, durante o dia, e na descida da temperatura, durante a noite. A radiação solar constitui a força motriz para processos térmicos, dinâmicos e químicos no nosso planeta (Echer, 2004).

A importância do conhecimento dessa fonte de energia para a atmosfera terrestre estimula a investigação sobre a interação da radiação solar com a atmosfera e sobre os seus agentes moduladores. Tais agentes são, principalmente, a matéria presente em suspensão na atmosfera tais como: moléculas de gases, aerossóis e nuvens. As nuvens são os agentes moduladores de primeira ordem da radiação solar que chega à superfície.

Uma parte da energia que entra na atmosfera é absorvida, outra dispersa, e outra ainda é reflectida pelos vários gases atmosféricos, aerossóis, e nuvens, antes de atingir a superfície terrestre. A restante parte da radiação que atinge a superfície terrestre é absorvida pelos oceanos, litosfera, criosfera, e biosfera, e só uma pequena parte é reflectida.

Para que a Terra permaneça a longo prazo em equilíbrio radiativo, a quantidade de energia absorvida, tem que ser igual à quantidade que é enviada para o espaço. A emissão de energia para o exterior da atmosfera é feita sob a forma de energia radiativa pelo sistema superfície + atmosfera. Todos os corpos que se encontram a uma temperatura superior ao zero absoluto (0 K), emitem energia radiante, num largo espectro de c.d.o. (Peixoto e Oort, 1992).

O espectro de radiação solar, apresenta um comportamento contínuo sobreposto com bandas de absorção, conhecido como espectro electromagnético. A Figura 2.1 apresenta a disposição do espectro electromagnético. Da esquerda para a direita, encontram-se as ondas curtas, conhecidas como raios Gama, raios X, raios cósmicos (<0.001 μm); a seguir, na ordem crescente de comprimentos de onda, vêm os raios ultravioleta (0.001 a 0.39 μm), a luz visível (0.39 a 0.77 μm), e infravermelha (0.77 a 1000 μm) e as usadas em RADAR, TV e Rádio (> 1000 μm) (Iqbal, 1983).

Devido à grande diferença de temperatura entre o Sol e a Terra, a radiação solar tem o seu pico de emissão na região espectral do visível ($\sim 0.5 \mu\text{m}$), enquanto a radiação terrestre tem o seu pico no infravermelho ($\sim 10 \mu\text{m}$). A energia solar do sistema climático varia entre os 0.1 e os 4.0 μm , compreendendo o ultravioleta, o visível, e o infravermelho próximo. A radiação terrestre varia entre os 4 e os 60 μm , apenas compreendendo o infravermelho. Por esta razão se chama à radiação solar, radiação de pequeno c.d.o, enquanto à radiação terrestre, radiação de grande c.d.o. (Figura 2.2).

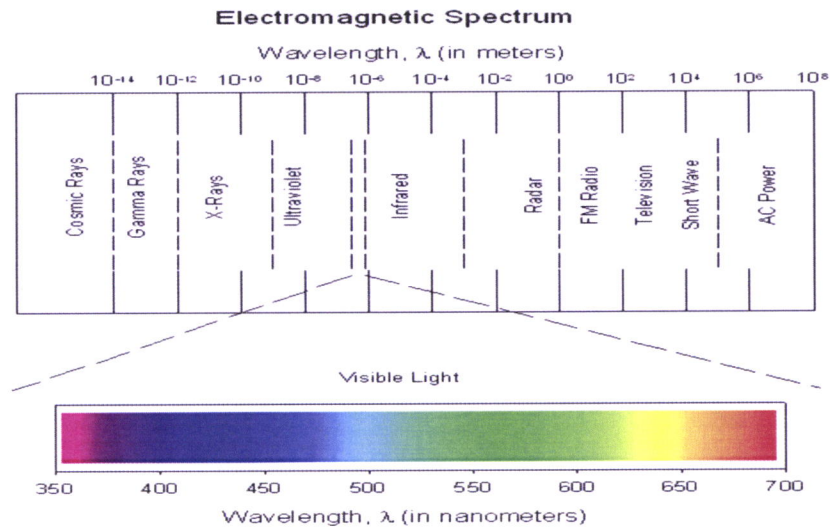


Figura 2.1: Espectro eletromagnético de radiação.

Fonte: <http://www.psych.ndsu.nodak.edu>

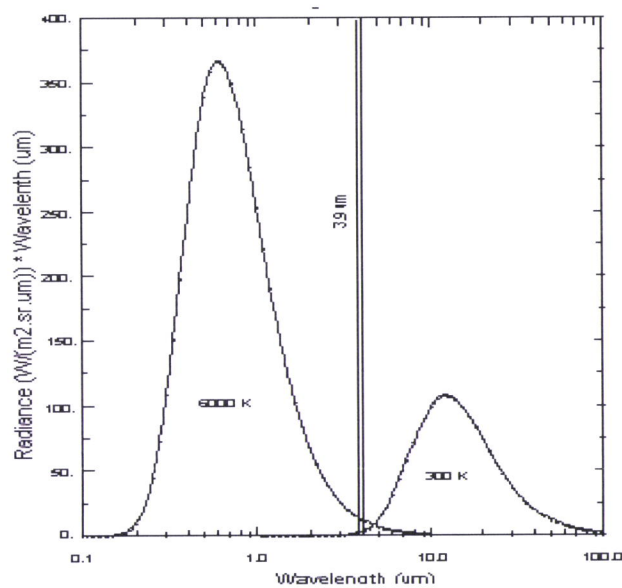


Figura 2.2: Curvas de radiação para dois corpos negros, um a emitir a 6000 K (radiação solar) e outro a emitir a 300 K (radiação terrestre).

Fonte: www.virtuallab.bom.gov.au

2.1.2 Radiação Solar no Topo da Atmosfera

A densidade de fluxo de energia solar (ou irradiância solar), F , que chega ao topo da atmosfera terrestre é expressa nas unidades de $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ (potência por unidade da área). A Constante Solar, (E_s) representa o fluxo máximo de radiação solar que atinge o topo da atmosfera terrestre, e o seu valor é aproximadamente $1367 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (Vianello e Alves, 1991).

A radiação solar que chega ao topo da atmosfera sofre dois tipos de modulação, uma é a modulação em larga escala e a outra é a modulação em baixa escala. A modulação em larga escala ocorre devido aos movimentos de rotação, translação e precessão realizados pela Terra. As mudanças que ocorrem no posicionamento da Terra em relação ao Sol são as causas das variações diárias e sazonais do clima na Terra (Hoyt e Schatten, 1997). A modulação em baixa escala pode ocorrer por variações extraterrestres. Os factores extraterrestres ocorrem devido ao facto de o Sol não ser uma fonte de energia uniforme. Esses factores apresentam periodicidades variáveis de acordo com sua natureza, podendo ser mensais acompanhando o período de rotação do Sol de 27 dias, ou de 11 anos acompanhando o ciclo solar (Frolich e Lean, 1998).

Os fenómenos atmosféricos que actuam como moduladores da radiação solar entre o topo da atmosfera e a superfície, podem ser divididos em grupos:

- Grandes moduladores – as nuvens nos seus diversos tipos e formas;
- Pequenos moduladores – vapor de água, partículas de aerossóis e gases atmosféricos;
- Moduladores antropogênicos – inseridos na atmosfera através da queima de biomassa e dos combustíveis fósseis.

O equilíbrio térmico da Terra é mantido pelo balanço entre a radiação solar incidente e a radiação (Solar + Terrestre) enviada de volta ao espaço (Figura 2.3). Cerca de 30% da radiação solar incidente é reflectida pelas nuvens, pela superfície da terra e pela própria atmosfera. Os restantes 70% são absorvidos por gases atmosféricos em especial o ozono (O_3), o dióxido de carbono (CO_2), e o vapor de água (H_2O), pelas nuvens, pelas partículas em suspensão no ar e pela superfície do planeta, e depois emitidos (Pereira e Colle, 1997).

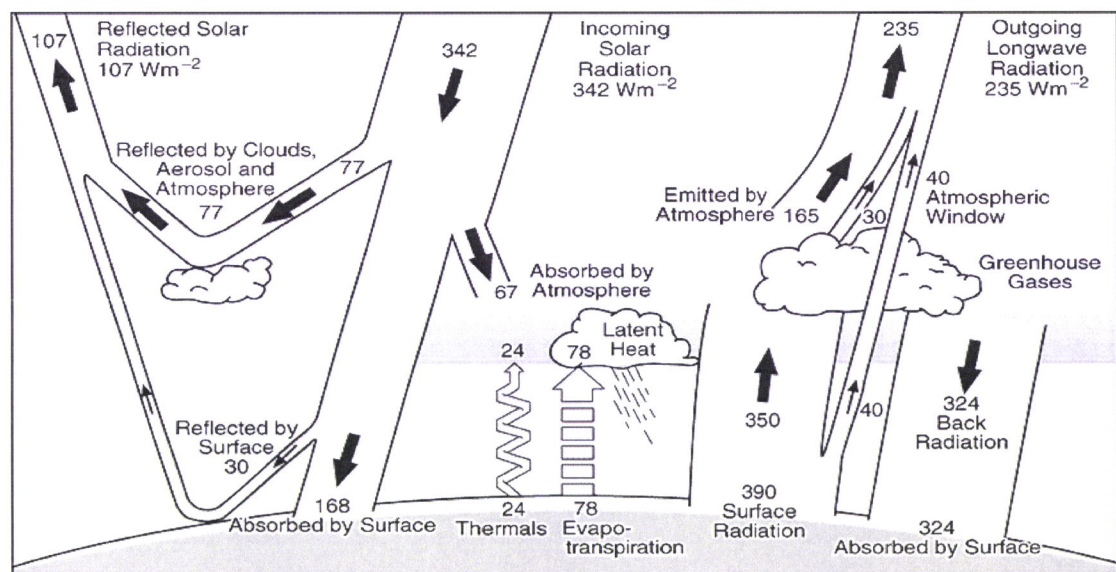


Figura 2.3: Diagrama que esquematiza o balanço radiativo global do sistema climático.

Fonte: www.atmosphere.mpg.de

A transmitância da radiação solar na atmosfera é um processo complexo e de difícil descrição devido ao grande número de interações físicas e químicas que ocorrem entre a radiação solar e os componentes da atmosfera, a maioria não lineares. A transmitância da radiação monocromática através da atmosfera pode ser determinada por $\exp(-\alpha \cdot \Delta l)$, onde α é o coeficiente de extinção da radiação, e Δl é a espessura óptica percorrida na atmosfera. O

coeficiente de extinção é determinado a partir dos processos de dispersão e absorção da radiação, ou seja, $\alpha = \sigma + k$, onde σ e k são os coeficientes de absorção e dispersão da radiação. Os coeficientes de absorção e dispersão dependem dos gases e dos aerossóis presentes na atmosfera (Brasseur e Solomon, 1986; Salby, 1995; Echer et al., 2001; Martins et al., 2003).

2.1.3 Dispersão da Radiação Solar

As partículas de aerossóis e as moléculas presentes na atmosfera podem absorver e dispersar a radiação electromagnética. A dispersão é um processo físico, pelo qual uma molécula ou partícula no caminho de uma onda electromagnética absorve energia da onda incidente e a emite em todas as direcções. A dispersão da radiação por constituintes atmosféricos cujas dimensões são menores que o comprimento de onda da radiação incidente ($\lambda > d$), é descrita pela teoria conhecida como Dispersão de Rayleigh, são exemplo destes constituintes as moléculas. Quando as dimensões das partículas são da mesma ordem de grandeza ou superiores ao comprimento de onda da radiação, a dispersão apresenta propriedades mais complexas e a teoria que descreve esse tipo de dispersão é conhecida como teoria de Mie (McCartney, 1976; Lenoble, 1993), são exemplos destas partículas grande parte dos aerossóis, assim como as gotículas de água e alguns cristais de gelo que constituem as nuvens.

2.1.3.1 Dispersão de Rayleigh e Mie

Na dispersão de Rayleigh, a intensidade da luz dispersa depende fortemente da razão entre o tamanho da partícula (d) e o comprimento de onda (λ) da radiação incidente (McCartney, 1976; Lenoble, 1993). A teoria de Rayleigh considera que os elementos dispersores são partículas esféricas, isotrópicas, bem menores que o comprimento de onda da luz e mais densas que o meio vizinho. A dispersão varia inversamente com a quarta potência do comprimento de onda da radiação.

Com base nesta teoria, é possível explicar o azul do céu durante a maior parte do dia, pois a dispersão da luz é maior para c.d.o. menores (azul, $\lambda \sim 0.4 \mu\text{m}$) e menor para c.d.o. maiores (vermelho, $\lambda \sim 0.8 \mu\text{m}$). Entretanto, no crepúsculo a espessura óptica que o feixe de radiação atravessa é mais longo, logo irá ocorrer uma maior interacção entre o feixe de radiação e a atmosfera. Como consequência dessa interacção, parte da radiação de onda curta (como por exemplo o azul) será removida do feixe de radiação com maior eficiência, predominando o vermelho na dispersão. Devido a este fenómeno, a luz que é reflectida pelas nuvens ou espalhada pela atmosfera tem uma característica avermelhada durante o nascer ou pôr-do-sol (Echer, 2004).

A explicação física para a dispersão, é que uma molécula sujeita a um campo electromagnético terá um momento de dipolo induzido. A molécula está polarizada sob a influência do campo; esta polarização é a base de toda a dispersão e refacção. Quando o campo varia periodicamente, como numa onda electromagnética, o valor do momento de dipolo oscila sincronicamente com o campo. Como a molécula é isotrópica, o eixo do momento de dipolo alinha-se sempre com o vector campo eléctrico da onda que a atravessa.

Como a molécula é muito pequena quando comparada com os comprimentos de onda típicos da radiação, a fase instantânea da onda é uniforme sobre a molécula. O dipolo induzido da molécula irá emitir radiação de mesma frequência da onda incidente e em todas direcções. (McCartney, 1976).

Quando o diâmetro da partícula é maior que um décimo do comprimento de onda ($d > \lambda/10$), a teoria de Rayleigh não é adequada para explicar o fenómeno, é então necessário utilizar a teoria de Mie. Não é suficiente considerar apenas um dipolo na interacção entre a partícula e a radiação electromagnética. Uma distribuição de cargas tridimensional é originada na partícula dispersora que necessita de momentos de ordens superiores, como o quadripolo e octopolo para ser descrita adequadamente, desta forma o processo de dispersão torna-se mas complexo.

Como nenhuma das teorias foi aplicada no presente trabalho, considera-se que uma explicação mais pormenorizada estaria fora do contexto da dissertação.

2.1.4 Absorção da radiação solar

A absorção da radiação solar é selectiva, sendo o vapor de água, o ozono e o dióxido de carbono os principais responsáveis pela absorção. O ozono actua principalmente na região do ultravioleta, enquanto que os outros dois gases actuem na faixa do infravermelho do espectro, como pode ser visto na Figura 2.4.

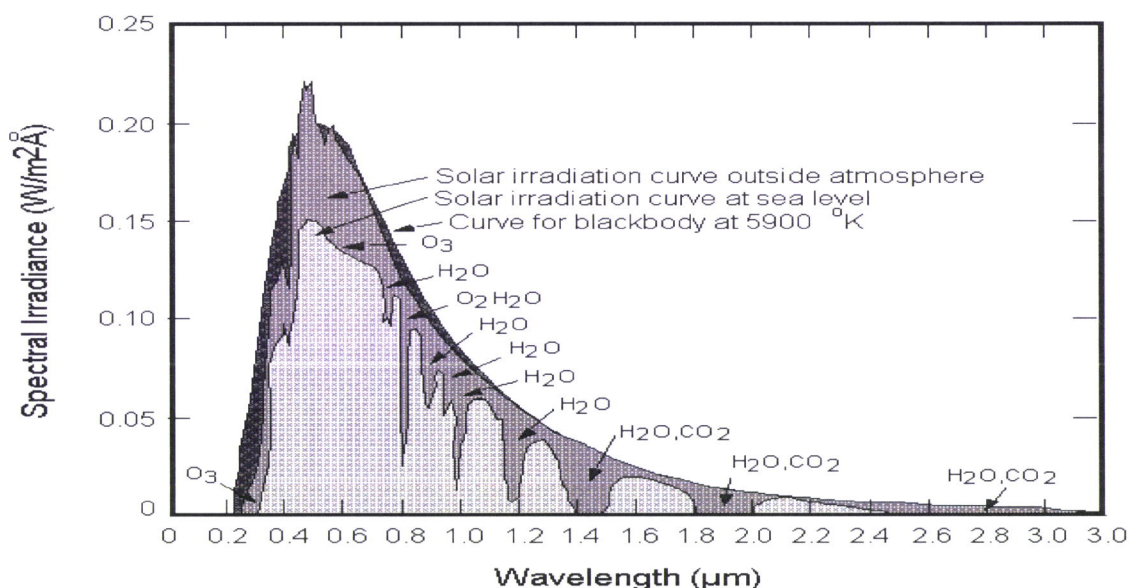


Figura 2.4: Irradiação Solar no Topo da Atmosfera; Irradiação Solar ao nível do mar; Espectro de emissão do Corpo Negro a 5900 K. (As áreas em que a curva da irradiância ao nível do mar caem abruptamente mostram as bandas de absorção dos diferentes gases).
Fonte: www.csr.utexas.edu

A atmosfera é praticamente transparente à radiação solar na faixa entre os 0.3 e os 0.8 μm , ou seja, na região correspondente à radiação visível. Entre os 8 e os 12 μm (radiação infravermelha), a absorção atmosférica é também mínima (excepto na região próxima dos 9.6 μm , em que o ozono absorve intensamente). Essa região do espectro é conhecida como Janela

Atmosférica, porque em condições de céu limpo, parte da radiação emitida pela Terra nesta faixa atravessa a atmosfera, perdendo-se no espaço.

As nuvens, por outro lado, exercem um papel importantíssimo no balanço da radiação do planeta. Elas reflectem intensamente a radiação solar que incide sobre elas, e absorvem a radiação emitida pela Terra, particularmente na faixa do infravermelho. Desta forma, a presença de nuvens impede a ocorrência de um grande aquecimento diurno, assim como um grande arrefecimento nocturno (Vianello e Alves, 1991; Pereira e Colle, 1997; Iribarne e Cho, 1980).

2.1.5 Absorção da radiação terrestre

A absorção de radiação solar pela atmosfera e superfície terrestre leva ao aquecimento do sistema climático. De acordo com a lei de Stefan-Boltzmann (equação 2.1), a qual estabelece que a densidade de fluxo emitida por um corpo negro é proporcional à quarta potência da temperatura absoluta, e de acordo com a lei Wien (equação 2.2), a qual estabelece que para corpos negros o c.d.o. que emite a radiação máxima é inversamente proporcional à temperatura absoluta, todos os componentes do sistema climático emitem radiação na região dos grandes c.d.o. É por esta razão que por vezes a radiação terrestre é denominada por radiação térmica. Desta forma, a radiação solar (pequeno c.d.o.) absorvida pelo planeta é devolvida ao espaço sob a forma de radiação térmica (longo c.d.o.). Praticamente todas as trocas de energia entre a Terra e o espaço exterior, ocorrem por transferência radiativa.

$$F = \sigma T^4 \quad (2.1)$$

em que F é a irradiância, σ é a constante de Stefan-Boltzmann a qual tem o valor de $5.67 \times 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$, e T é a temperatura absoluta expressa em K.

$$\lambda_{m\acute{a}x} T = A \quad (2.2)$$

em que $\lambda_{m\acute{a}x}$ é o c.d.o. em μm que emite a radiação máxima, T é a temperatura absoluta em K, e A é uma constante com o valor de $2898 \mu\text{m.K}$

Os corpos reais emitem e absorvem menos energia do que um corpo negro à mesma temperatura e no mesmo c.d.o. As suas emissividades são inferiores a 1 e dependem do c.d.o. Em corpos sólidos e líquidos, as variações de emissividade com o c.d.o. são pequenas, mas em gases estas são muito grandes. Os gases que constituem a atmosfera absorvem e emitem radiação apenas em pequenos intervalos do espectro electromagnético, esses intervalos são denominados linhas de absorção. Contudo, os gases moleculares apresentam bandas de absorção que não são mais do que um grande número de linhas de absorção muito próximas. A localização dessas bandas no espectro e a sua largura dependem da estrutura molecular de cada gás. A capacidade de absorção de cada gás varia bastante com o c.d.o., e o espectro de absorção é extremamente irregular e descontínuo (Figura 2.5).

O efeito combinado da absorção e emissão de radiação terrestre na troposfera é bastante claro na Figura 2.5, a qual apresenta o espectro de absorção nos grandes c.d.o. para os principais gases existentes na atmosfera, e o efeito conjunto de todos eles. Estes espectros de absorção são extremamente importantes pois constituem as “impressões digitais” de cada gás.

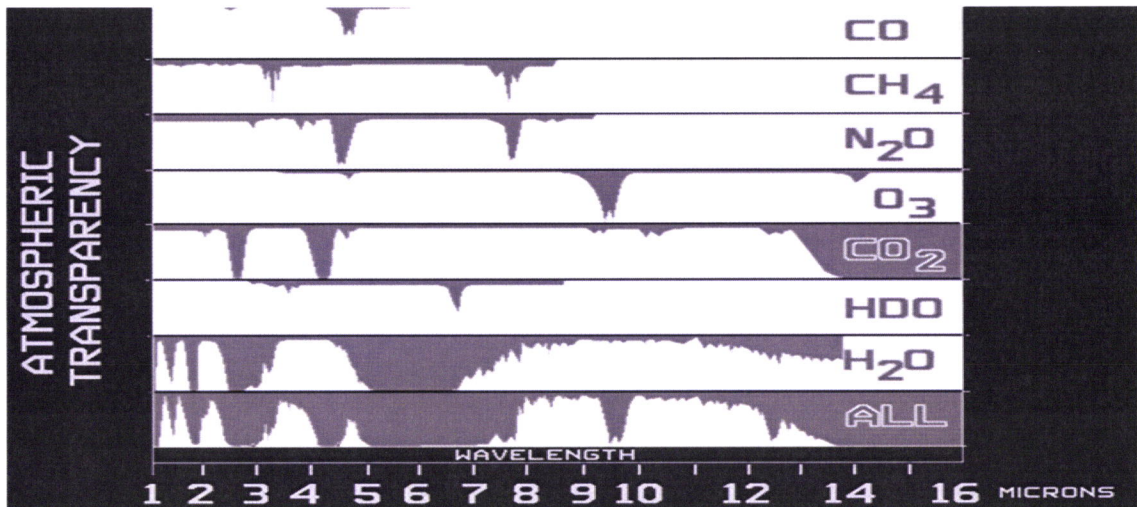


Figura 2.5: Espectro de absorção para os vários gases que constituem a atmosfera, desde o topo da atmosfera até à superfície terrestre, e o espectro de absorção para todos os gases.

2.2 METEOSAT SEGUNDA GERAÇÃO (MSG)

O MSG (Meteosat Second Generation) é um satélite geoestacionário. Este tipo de satélite tem o mesmo período de revolução da Terra, encontrando-se no plano equatorial a uma altitude de cerca de 36000 km acima da superfície da Terra, permitindo a observação frequente da mesma região do globo. O MSG encontra-se sobre o equador, a uma longitude de 0° e cada imagem abrange parte do Oceano Atlântico, África e Europa (Figura 2.6). O facto de se encontrar sempre sobre a mesma região permite acompanhar a evolução ou alteração dos padrões atmosféricos. A grande desvantagem dos satélites geoestacionários é que a grande altitude a que se encontram limita a sua resolução espacial.

O MSG tem a bordo dois instrumentos, o GERB (Geostationary Earth Radiation Budget), e o espectrómetro SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager). O SEVIRI foi o instrumento utilizado no presente estudo. Este instrumento faz medidas em 12 canais espectrais, a operar no visível e infra-vermelho, com uma periodicidade de 15 minutos (Tabela 2.1). Na primeira geração de satélites Meteosat, o espectrómetro tinha apenas três canais espectrais, e o ciclo de repetição era de 30 minutos, o que dá uma ideia da evolução da primeira para a segunda geração.

A missão primária da segunda geração do Meteosat é a observação contínua da Terra, com uma série de imagens multi-espectrais. O ciclo de repetição de 15 minutos proporciona observações multi-espectrais de fenómenos cuja evolução é muito rápida, como por exemplo a convecção. Para além disso, fornece uma melhor imagem do campo do vento, a qual é obtida pela trajectória das nuvens e pelas características do vapor de água e do ozono.



Figura 2.6: Área da esfera terrestre coberta pelo MSG.

Fonte: Schmetz et al, 2005

Canal No.	Banda Espectral (μm)	Características da Banda Espectral (μm)			Principal Aplicação da Observação	Principal gás absorvente ou janela atmosférica
		λ_{cen}	λ_{min}	λ_{max}		
1	VIS0.6	0.635	0.56	0.71	Superfície, nuvens, campo do vento	Janela Atmosférica
2	VIS0.8	0.81	0.74	0.88	Superfície, nuvens, campo do vento	Janela Atmosférica
3	NIR1.6	1.64	1.50	1.78	Superfície, fase das nuvens	Janela Atmosférica
4	IR3.9	3.90	3.48	4.36	Superfície, nuvens, campo do vento	Janela Atmosférica
5	WV6.2	6.25	5.35	7.15	Vapor de água, nuvens altas, instabilidade atmosférica	Vapor de água
6	WV7.3	7.35	6.85	7.85	Vapor de água, instabilidade atmosférica	Vapor de água
7	IR8.7	8.70	8.30	9.1	Superfície, nuvens, instabilidade atmosférica	Janela Atmosférica
8	IR9.7	9.66	9.38	9.94	Ozono	Ozono
9	IR10.8	10.80	9.80	11.80	Superfície, nuvens, campo do vento, instabilidade atmosférica	Janela Atmosférica
10	IR12.0	12.00	11.00	13.00	Superfície, nuvens, instabilidade atmosférica	Janela Atmosférica
11	IR13.4	13.40	12.40	14.40	Cirrus, instabilidade atmosférica	Dióxido de carbono
12	HRV	Largura da Banda (entre 0.4 – 1.1 μm)			Superfície, nuvens	Janela/ Vapor de água

Tabela 2.1: Características dos canais SEVIRI, em termos de comprimento de onda mínimo, central e máximo, suas principais aplicações, e principais gases absorventes.

As imagens do SEVIRI são construídas de Este para Oeste e de Sul para Norte, isto é, os primeiros pixels são obtidos no Pólo Sul, de Este para Oeste, seguindo-se uma secção ligeiramente mais a norte também de Este para Oeste e assim sucessivamente. Os oito canais do IV (infra-vermelho), e os três do Visível têm um pixel de $3 \times 3 \text{ km}^2$, no nadir. O canal de alta resolução no visível (HRV) fornece imagens com um pixel de $1 \times 1 \text{ km}^2$, no entanto, limitações na base de dados leva a que só metade da Terra, numa direcção este-oeste, seja coberta por este tipo de imagem, podendo a cobertura pretendida ser programável para o propósito requerido (Figura 2.7) (Schmetz et al, 2005)

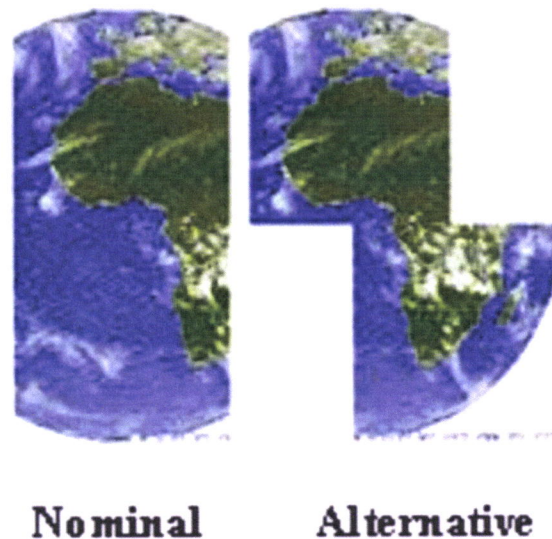


Figura 2.7: Área coberta pelo canal HRV, na sua configuração normal e alternativa.
Fonte: Schmetz et al, 2005.

Tal como já foi descrito em parágrafos anteriores o espectrómetro SEVIRI tem oito canais espectrais na banda do infra-vermelho (IV), três no espectro solar, e finalmente um último de alta resolução no visível. Na Tabela 2.1 encontram-se alguns detalhes e características desses canais, bem como das suas principais aplicações, isto é, observação da temperatura das nuvens e superfície, vapor de água, ozono, etc. As Figuras 2.8 e 2.9 mostram a localização dos canais no espectro do visível e IV respectivamente. As Figuras 2.10 e 2.11 dão alguns exemplos das funções peso nos canais do IV. As funções peso descrevem a contribuição de cada nível da atmosfera para a radiação final que chega ao satélite, estas dependem do estado actual da atmosfera e do ângulo de visão do satélite. Comparando a Figura 2.10 e 2.11 percebe-se que o pico das funções peso aumenta com a altitude, à medida que se aumenta o ângulo zenital do satélite.

O canal do ozono é uma novidade no que se refere a imagens obtidas a partir de satélites geoestacionários, este fornecerá informação da quantidade de ozono na atmosfera. Será ainda útil para a observação da dinâmica da estratosfera, e para obter a altura da tropopausa.

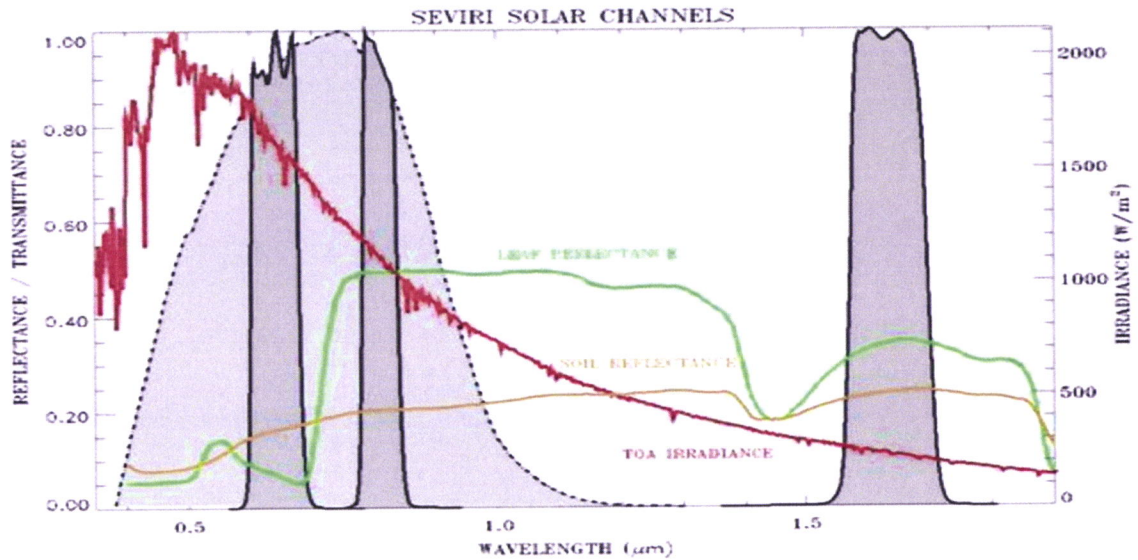


Figura 2.8: Funções de resposta dos canais do visível do MSG-SEVIRI, em conjunto com o espectro da reflectância da vegetação (verde), e do solo sem vegetação (castanho), e o espectro de irradiância no topo da atmosfera (vermelho).

Fonte: Schmetz et al, 2005.

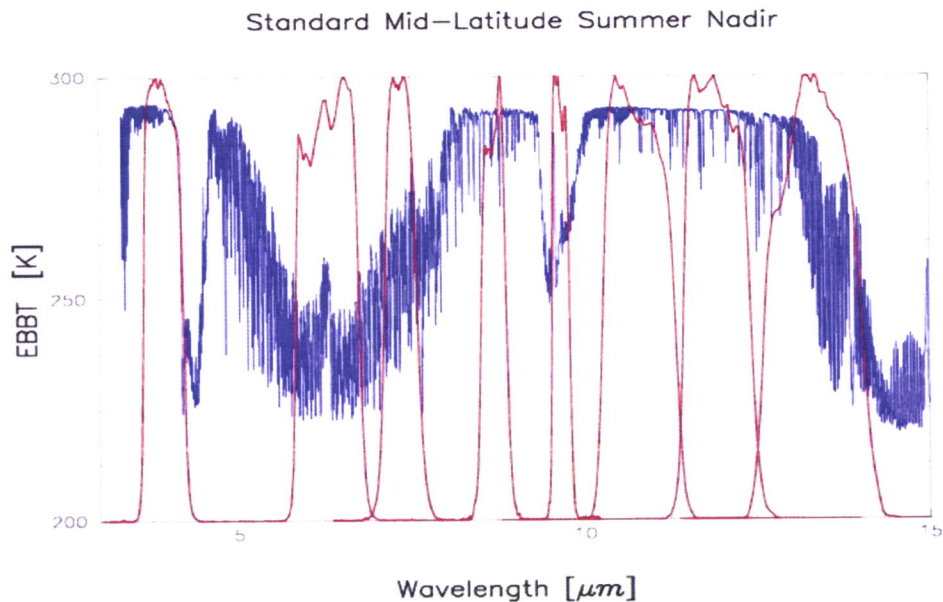


Figura 2.9: Espectro do IV terrestre, e as funções de resposta dos canais térmicos do MSG-SEVIRI.

Fonte: Schmetz et al, 2005.

As aplicações da segunda geração do Meteosat varia desde a previsão a curto prazo, à previsão numérica do tempo, passando por estudos da atmosfera e superfície, daí ser fundamental para a detecção de nevoeiros e sua evolução no tempo e espaço.

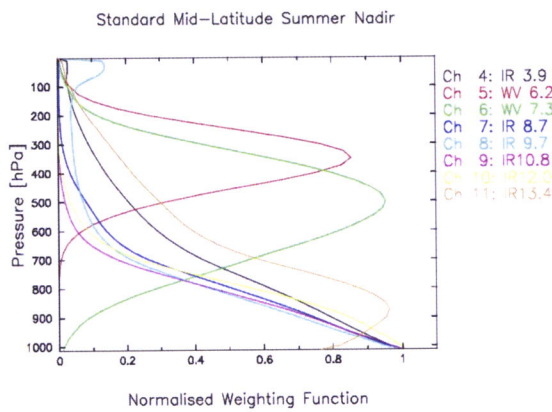


Figura 2.10: Funções peso para os canais térmicos do MSG-SEVIRI. Considerou-se uma atmosfera padrão para o Verão nas latitudes médias para a simulação com um modelo de transferência radiativa. Fonte: Schmetz et al, 2005.

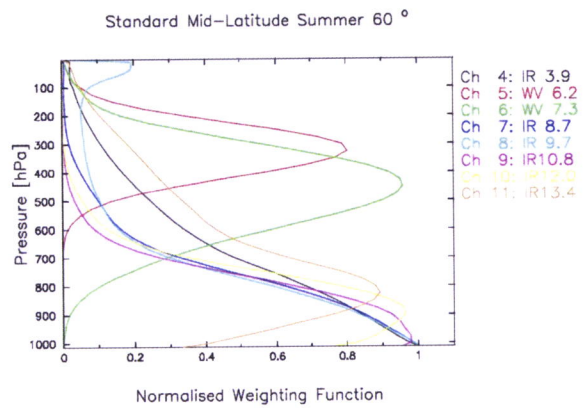


Figura 2.11: O mesmo que a Figura 2.10, para um ângulo Zenital de 60°. Fonte: Schmetz et al, 2005.

2.3 ANÁLISE MULTI-ESPECTRAL E DETECÇÃO REMOTA DE NUVENS

A utilização conjunta de diversos canais espectrais do SEVIRI, permite a detecção de fenómenos que de uma forma isolada seria impossível detectar. Neste sentido surgiram uma diversidade de técnicas. Por exemplo, nos canais do IV utilizam-se as diferenças entre as temperaturas de brilho (BT) dos diversos canais com o propósito de detectar fenómenos tão diferentes como nevoeiros, nuvens, estado das nuvens (líquido ou sólido), cirros pouco espessos, etc. As radiâncias são convertidas para BT através da função de Planck (equação 2.3), em que K é a constante de Boltzmann, c é a velocidade da luz, λ é o comprimento de onda, e T é a temperatura absoluta

$$B_{\lambda}(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5 (e^{\frac{hc}{k\lambda T}} - 1)} \quad (2.3)$$

Nas secções seguintes ilustra-se a utilização conjunta de certos canais espectrais para a detecção remota de nevoeiros e nuvens

2.3.1 Utilização dos Canais IV3.9 e IV10.8

O canal IV3.9 e o canal IV10.8 são canais que se situam na região da janela atmosférica, isto é, situam-se em regiões espectrais onde não há atenuação significativa da radiação devido à absorção por parte de gases. No entanto, o canal IV3.9 encontra-se próximo da banda de absorção do CO₂ a qual se situa entre os 4 e 5 μm (Figura 2.12), o que pode levar em algumas situações a uma diminuição da BT.

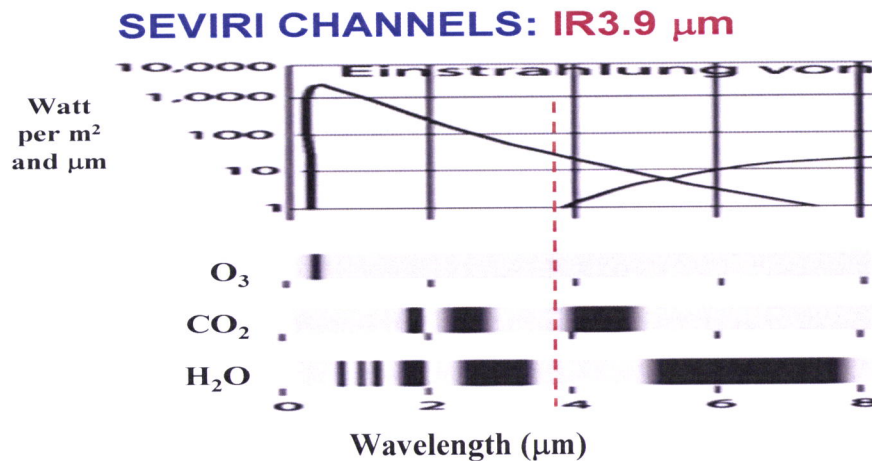


Figura 2.12: Contribuição da radiação solar e térmica para o canal IV3.9, e bandas de absorção que se situam na sua vizinhança.

Fonte: Kerkmann, 2004

A radiação no canal IV3.9 provém das contribuições da radiação solar e da radiação térmica, como consequência, durante o dia, a temperatura de brilho não é representativa da temperatura dos corpos, uma vez que esta vai ser sempre superior ao valor real da temperatura (Figura 2.2 e 2.13).

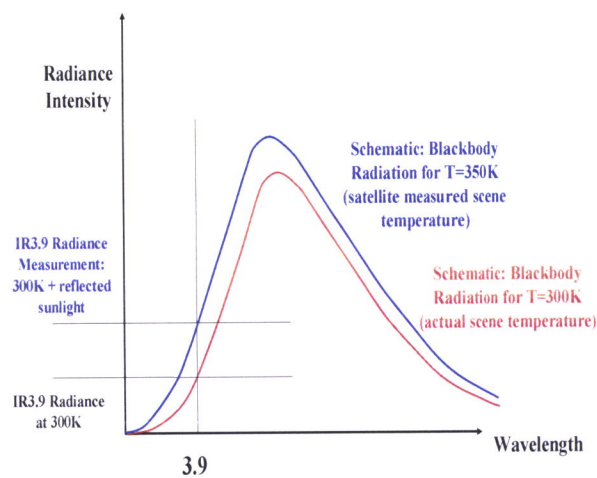


Figura 2.13: Curvas de radiação para um corpo negro a 300 K, e para a mesma temperatura somando a reflectividade da radiação solar.

Fonte: Kerkmann, 2004

O canal IV3.9 em conjunto com o IV10.8 tem uma série de aplicações entre as quais a detecção de nuvens baixas ou nevoeiros, a detecção de cirros pouco espessos, a determinação do estado da nuvem, etc. A identificação de nevoeiro ou estratos baixos é a principal aplicação do canal IV3.9 durante a noite. A técnica baseia-se no princípio de que a emissividade das nuvens contendo somente água no estado líquido é menor no c.d.o. 3.9 μm do que no 10.8 μm (Figura 2.14), logo a diferença entre a BT do canal IV3.9 e da BT do canal IV10.8 é negativa na presença desse tipo de nuvens, nas quais se inclui o nevoeiro. Desta forma, a detecção e evolução do nevoeiro/estratos baixos é facilmente observada pela animação de imagens de satélite nestas bandas espectrais.

Nevoeiro e Estratos Baixos

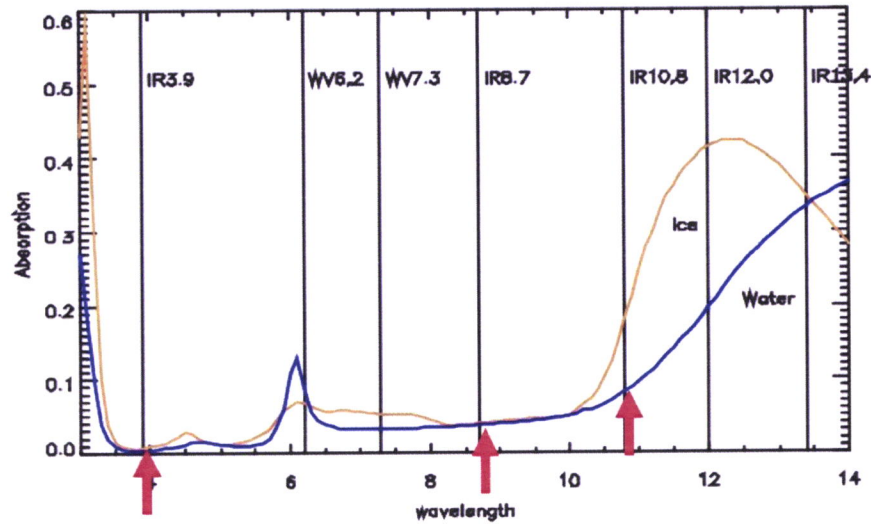


Figura 2.14: Índice de absorção das gotículas de água (nevoeiro/estratos baixos) para os canais IV3.9 e IV10.8.

Fonte: Kerkmann, 2004

Durante a noite, a diferença BT3.9-BT10.8, apresenta valores negativos nas regiões com nevoeiro pela razão anteriormente apresentada. No entanto, devido à contribuição da radiação solar, os valores da BT3.9 aumentam a partir do nascer do Sol, assim, quando o Sol nasce ou se põe os valores da BT3.9 e BT10.8 são muito idênticos, sendo nesta fase impossível aplicar esta técnica para a detecção seja de nevoeiros ou de outro tipo de nuvens. Durante o dia os valores da BT3.9 são superiores à da BT10.8, logo nas regiões com nevoeiro a diferença entre a BT dos dois canais é positiva. Nas regiões com céu limpo a diferença depende do tipo de superfície, isto porque a emissividade varia ao longo do espectro de radiação para cada tipo de terreno. No caso da região Sul de Portugal observa-se que a BT do canal IV3.9 é um pouco mais baixa do que a BT do canal IV10.8, logo as diferenças vão ser ligeiramente negativas ao longo de todo o dia.

A detecção do estado das nuvens e as dimensões das partículas que as constituem são outra das aplicações do canal IV3.9. Esta aplicação é utilizada sobretudo durante o dia, pois depende do albedo de dispersão simples (Figura 2.15). O albedo de dispersão simples (ω) é definido como a razão entre coeficiente de dispersão (k) e o coeficiente de extinção (α) (equação 2.4), o qual é a soma dos coeficientes de dispersão (k) e absorção (σ). O princípio de tal detecção reside no facto do albedo de dispersão simples no canal IV3.9 ser extremamente sensível ao estado da nuvem e à dimensão das partículas, tal como demonstrado na Figura 2.15. Assim, a dispersão é maior para gotículas de água do que para cristais de gelo, e é também superior para gotículas de água/cristais de gelo de menor dimensão. Durante o dia, nuvens com pequenas gotículas de água (estratos, estratocumulos), são mais escuras do que nuvens de gelo. Nuvens formadas sobre o mar, são constituídas por gotículas maiores do que as que se formam em terra, são exemplo disso os estratocumulos, é essa a razão porque os estratocumulos formados no mar são mais escuros do que os formados em terra.

$$\omega = k/\alpha \quad (2.4)$$

Outra aplicação deste canal é a detecção de cirros pouco espessos. As nuvens de gelo são mais transparentes no canal IV3.9 do que no IV10.8, pois absorvem menos radiação (Figura 2.16). Desta forma, no caso de cirros pouco espessos, a BT3.9 é maior do que a BT10.8, podendo estes ser assim facilmente detectados por apresentarem diferenças positivas bastante significativas (Figura 2.16).

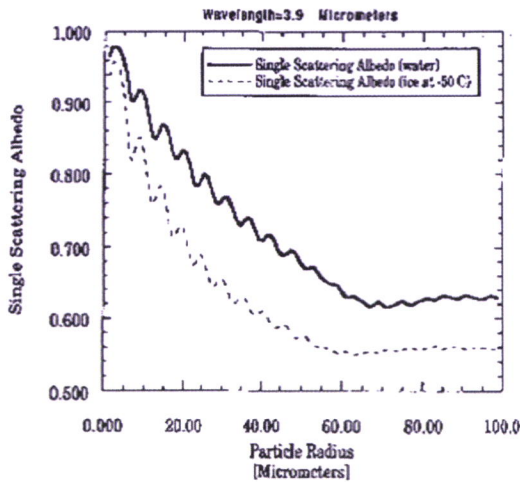


Figura 2.15: Albedo de dispersão simples no canal IV3.9, para gotículas de água, e partículas de gelo, em função do raio das partículas. Fonte: Kerkmann, 2004

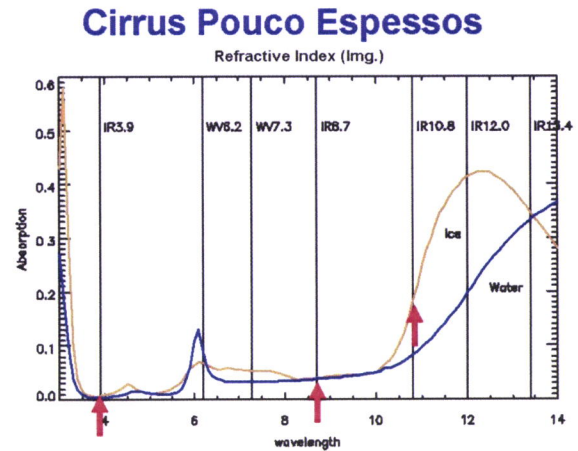


Figura 2.16: Índice de absorção das partículas de gelo (cirros pouco espessos) para os canais IV3.9 e IV10.8.

Fonte: Kerkmann, 2004

2.3.2 Utilização dos Canais IV8.7 e IV10.8

Os canais IV8.7 e IV10.8 são tal como os anteriores, canais que se localizam na janela atmosférica (não há na prática absorção por parte dos diversos gases atmosféricos). Estes canais recebem a sua radiação quase exclusivamente da Terra, daí serem canais do infravermelho térmico (Figura 2.17). O canal IV8.7 tem algumas aplicações comuns ao canal IV3.9, assim, este é utilizado em conjunto com o canal IV10.8 com o propósito de detectar a fase das nuvens, cirros pouco espessos, e nevoeiros ou estratos baixos.

O método para a detecção de nevoeiros é idêntico ao BT3.9-BT10.8, e resulta da diferença entre as BT dos canais IV8.7 e IV10.8. A técnica é também baseada no princípio de que a emissividade das nuvens contendo somente água no estado líquido no c.d.o. 8.7 μm é inferior à emissividade no 10.8 μm , logo a diferença entre a BT do canal IV8.7 e da BT do canal IV10.8 é negativa na presença desse tipo de nuvens, nas quais se inclui o nevoeiro (Figura 2.14). A grande vantagem deste método relativamente ao método que emprega o canal IV3.9, é que pode ser utilizado a qualquer hora, pois não é afectado pela radiação solar. A grande desvantagem é que as diferenças de emissividade entre os canais IV8.7 e IV10.8, são menores do que no caso do método anterior, o que se traduz em diferenças nas temperaturas também menores, levando a que a detecção de nevoeiro seja mais difícil e menos fiável com este método.

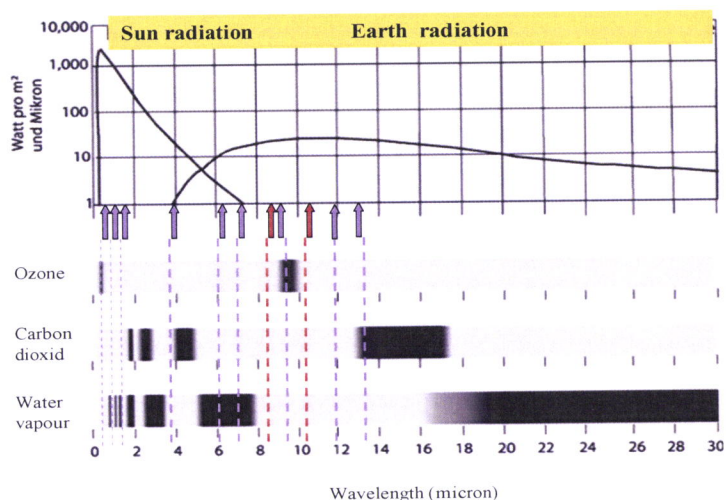


Figura 2.17: Contribuição da radiação terrestre para o canal IV8.7 e IV10.8, e bandas de absorção que se situam nas suas vizinhanças.

Fonte: Zwatz-Meise, 2004

Tal como no método anterior, a detecção de cirros pouco espessos resulta do facto das nuvens de gelo serem mais transparentes no canal IV8.7 do que no IV10.8, pois absorvem menos radiação (Figura 2.16). Assim, a BT8.7 é maior do que a BT10.8 para cirros pouco espessos, e estes são desta forma detectados por apresentarem diferenças positivas.

Quanto ao estado da nuvem, a detecção utiliza três princípios: o primeiro resulta da componente imaginária do índice de refração (m_i) diferir para a água e gelo nos c.d.o. do 8.7 μm e 10.8 μm (Figura 2.16); em segundo a atmosfera é relativamente transparente para os gases, no entanto a absorção pelo vapor de água numa coluna acima do nível das nuvens pode exercer um forte efeito sobre a temperatura; por último, sendo o factor menos preponderante, as partículas que constituem as nuvens dispersam a radiação mesmo nos c.d.o. do infravermelho, nuvens com pequenas gotículas de água/cristais de gelo tendem a dispersar mais radiação, do que as que têm partículas de dimensões superiores (Figura 2.15). Resultados obtidos a partir de várias análises mostram que para nuvens de gelo, as diferenças entre a BT8.7 e a BT10.8, tendem a apresentar valores positivos, enquanto para nuvens baixas (água líquida) os valores da diferença tendem a ser negativos (inferiores a -2 K) (Yang, 2003).

2.4 NUVENS

2.4.1 Processos de Formação das Nuvens

As nuvens não passam da condensação de algum do vapor de água existente na atmosfera. O vapor de água condensa quando a humidade relativa se encontra perto dos 100%. Desde que a atmosfera tenha um gradiente adiabático negativo, (o que significa que se

tem uma porção de ar mais quente do que aquele que o envolve), o ar mais quente como é mais leve vai ascender, arrefecendo adiabaticamente, isto é, vai expandir-se devido à diminuição da pressão atmosférica, logo a base das nuvens forma-se quando a temperatura do ar em ascensão iguala a temperatura do ponto de orvalho a um determinado nível, este nível designa-se por nível de condensação (www.mcwar.org).

A condensação pode ocorrer através de vários mecanismos entre os quais: o volume de ar permanecer constante, mas a temperatura baixar até se atingir o ponto de orvalho; o volume de uma parcela de ar aumentar devido a expansão adiabática; a evaporação aumentar a tensão de vapor para além do ponto de saturação; uma alteração simultânea da temperatura e volume que faça reduzir o ponto de saturação da tensão de vapor.

Para que o ar ascenda é necessário que um dos seguintes mecanismos ocorra: movimento horizontal que force o ar a ir de encontro a uma elevação ou montanha; o ar próximo do solo aquecer por contacto com a superfície, ficando mais leve e subindo; encontro entre uma massa de ar quente e uma massa de ar fria. Estes mecanismos termodinâmicos, não são por si só suficientes para formar uma nuvem, é ainda necessária a presença abundante de um último elemento, esse elemento é o núcleo de condensação ou aerossol, em redor do qual se fixa o vapor de água por condensação ou sublimação.

2.4.2 Classificação das Nuvens

As nuvens classificam-se quanto à altura da sua base, e quanto ao tipo de desenvolvimento que estas apresentam. Em 1887, Abercromby e Hildebrandsson, publicaram um sistema de classificação de nuvens que ainda é utilizado hoje em dia. Segundo estes autores os dez principais tipos de nuvens estão divididos em quatro grupos principais. Cada grupo é identificado pela altura à qual está a base da nuvem em relação à superfície: nuvens altas, médias, e baixas. O quarto grupo contém as nuvens que de alguma forma apresentam algum desenvolvimento vertical. Na Tabela 2.2 estão representados os quatros grupos, bem como os respectivos tipos de nuvens de cada um. As nuvens altas, têm como prefixo '*cirro*', as médias, têm como prefixo '*alto*'. Quanto ao seu desenvolvimento as nuvens subdividem-se em dois grupos: as nuvens de que se desenvolvem na horizontal, as quais têm como prefixo '*estrato*', e as nuvens de desenvolvimento vertical, as quais têm como prefixo '*cumulo*'.

Na Tabela 2.3 encontra-se a altura da base das nuvens para os diferentes grupos, variando esta com a latitude, e com a estação do ano. Assim, por exemplo as nuvens altas que são sempre constituídas por cristais de gelo, nas regiões tropicais ocorrem acima dos 6000 m, enquanto nas latitudes baixas ocorrem a cerca dos 3000 m, tal deve-se ao facto de a temperatura de congelação das gotículas ocorrer a esta altitude nestas regiões.

GRUPO	TIPO DE NUVEM
Nuvens altas	<i>Cirros (Ci)</i> <i>Cirroestratos (Cs)</i> <i>Cirrocumulos (Cc)</i>
Nuvens médias	<i>Altoestratos (As)</i> <i>Altocumulos (Ac)</i>
Nuvens baixas	<i>Estratos (St)</i> <i>Estratocumulos (Sc)</i> <i>Nimboestratos (Ns)</i>
Nuvens de desenvolvimento vertical	<i>Cumulos (Cu)</i> <i>Cumulonimbus (Cb)</i>

Tabela 2.2: Os quatro maiores grupos de nuvens, e os seus diferentes tipos.
Fonte: Lester, 2000.

Grupo de nuvens	Regiões tropicais	Regiões temperadas	Regiões polares
Alta	6000 até 18000m	5000 até 13000m	3000 até 8000m
Média	2000 até 8000m	2000 até 7000m	2000 até 4000m
Baixa	0 até 2000m	0 até 2000m	0 até 2000m

Tabela 2.3: Altura aproximada da base das nuvens para várias regiões do globo.
Fonte: Lester, 2000.

Nas latitudes médias as *nuvens altas* encontram-se acima dos 6000 m, e são constituídas exclusivamente por cristais de gelo, dentro deste grupo encontram-se três tipos de nuvens: os *cirros*, os *cirroestratos*, e os *cirrocumulos*.

O *cirro*, é a nuvem alta mais comum, é uma nuvem em forma de filamento inteiramente constituída por cristais de gelo. Pode apresentar a forma de pequenos fragmentos brancos e sedosos ou então ser repuxado pelo vento e tomar a forma de finos filamentos com as extremidades enroladas. Quando aparecem no céu são muitas vezes o prenúncio de uma tempestade ou de uma frente quente em aproximação. Quando uma massa de ar quente se eleva abruptamente a grande altitude acima do ar frio, o vapor de água nela contido vai condensar-se, congelando instantaneamente. Os enrolamentos e formas de gancho dos cirros são os finos rastos de cristais de gelo que caem lentamente. As nuvens de gelo tais como os cirros, cirroestratos, e cirrocumulos formam-se quando o ar atinge o seu ponto de saturação a temperaturas inferiores a -40°C e congela imediatamente. Após a congelação estas nuvens tendem a crescer podendo ter uma longa duração.

Os *cirrocumulos* são menos frequentes que os cirros. São constituídos por cristais de gelo e desenvolvem uma configuração regular em bandas e filas de pequeníssimos tufo brancos. Em geral precedem uma tempestade ou uma frente quente em aproximação, anunciando a chegada de tempo instável.

Os *cirroestratos* são nuvens de cristais de gelo, com o aspecto de um véu nebuloso transparente. É frequente seguirem os cirros na aproximação de uma frente quente, mas é difícil distingui-los quando se tem bruma ou neblina. Os minúsculos cristais de gelo com os quais o véu de cirroestratos é composto refractam a luz, produzindo os característicos halos em redor do Sol e da Lua.

As *nuvens médias* variam a sua altura entre os 2 km, e os 7 km nas latitudes médias. Estas nuvens são constituídas por gotas de água líquida, mas quando as temperaturas baixam o suficiente podem formar-se cristais de gelo. Dentro deste grupo encontram-se dois tipos de nuvens: os *altocumulos*, e os *altoestratos*.

Os *altocumulos* são nuvens compostas na sua maioria por gotículas de água e quase nunca ultrapassam 1 km de espessura. Têm a forma de pequenos tufo de algodão e distinguem-se dos cirrocumulos porque normalmente apresentam um dos lados da nuvem mais escuro que o outro. O aparecimento destas nuvens numa manhã quente de Verão pode ser um sinal para o aparecimento de nuvens de trovoadas ao final da tarde.

Os *altoestratos* são muito semelhantes aos cirroestratos, sendo muito mais espessos e apresentando a base a uma altitude mais baixa. Cobrem em geral a totalidade do céu quando estão presentes. O Sol fica muito ténue e não se formam halos como nos cirroestratos. Uma outra forma de os distinguir é olhar para o chão e procurar por sombras. Se existirem, então as nuvens não podem ser altoestratos porque a luz que as consegue atravessar não é suficiente para produzir sombras. Podem originar chuva fraca, ou moderada.

As *nuvens baixas* variam a sua altura entre as poucas centenas de metros acima da superfície, e os 2 km; são formadas exclusivamente por gotas de água no estado líquido. Dentro deste grupo encontram-se três tipos de nuvens: os *stratocumulos*, os *estratos*, e os *nimboestratos*.

O *nimboestrato* é uma nuvem muito escura. Está associada aos períodos de chuva contínua de intensidade fraca, a moderada. Pode ser confundido com altoestratos mais grossos, mas os nimboestratos são em geral de um cinzento mais escuro e normalmente nunca se vê o Sol através deles.

Os *stratocumulos* são nuvens baixas que aparecem em filas, ou agrupadas noutras formas. Normalmente consegue ver-se céu azul nos espaços entre elas. Diferem dos altocumulos porque a sua base é muito mais baixa e são bastante maiores em dimensão. Raramente provocam precipitação, mas podem eventualmente provocar aguaceiros no Inverno no caso de se desenvolverem verticalmente em nuvens maiores e os seus topos atingirem uma temperatura de -5°C .

Os *estratos* são uma camada uniforme de nuvens que habitualmente cobre todo o céu e lembra um nevoeiro que não chega a tocar no chão. Aliás, se um nevoeiro espesso ascender, originam-se nuvens deste tipo. Normalmente não originam precipitação, que, a ocorrer, se faz sob a forma de chuvisco.

As *nuvens de desenvolvimento vertical* incluem no seu grupo os *cumulos*, e os *cumulonimbus*.

Os *cumulos* são as nuvens mais vulgares de todas, e aparecem com uma grande variedade de formas, sendo a mais vulgar a de um bocado de algodão. A base pode ir desde o branco até ao cinzento claro e pode localizar-se a partir dos 1000 m de altura (em dias húmidos). O topo da nuvem delimita o limite da corrente ascendente que lhe deu origem e habitualmente nunca atinge altitudes muito elevadas. Cumulos que tenham pequeno desenvolvimento vertical, são chamados de *cumulos humilis*, os quais estão associados ao

bom tempo, contudo se estes cumulos se continuam a desenvolver numa tarde quente de Verão, podem dar origem a *cumulos congestus*, ou *tower cumulos*, os quais podem originar aguaceiros.

Os *cumulonimbus* são nuvens de tempestade, originando os fenómenos atmosféricos mais interessantes (trovoadas, aguaceiros, granizo e até tornados). Estendem-se desde os 600 m até à tropopausa (13000 m). Ocorrem isoladamente ou em grupos. A energia libertada na condensação das gotas resulta em fortes correntes no interior da nuvem (ascendentes e descendentes). A parte inferior da nuvem (mais quente), é composta por gotículas de água, enquanto a zona intermédia é constituída por gotas de água e cristais de gelo, por sua vez no topo da nuvem apenas existem cristais de gelo. Na zona do topo, existem ventos fortes que podem originar a formação de uma bigorna.

Por último tem-se ainda uma nuvem, a qual deve a sua origem à acção humana, denominando-se *rasto de condensação*. Os rastos de condensação são linhas finas de nuvens que se formam nos rastos dos aviões a grandes altitudes, onde a temperatura é da ordem dos -40°C . Estas nuvens são resultado da condensação do vapor de água emitido pelos motores. É necessária uma mistura suficiente entre as descargas quentes de gás e o ar frio para produzir saturação. Os rastos de condensação dispersam-se rapidamente quando a humidade relativa do ar em redor é baixa, mas numa atmosfera húmida, podem permanecer por muitas horas. Rastos de condensação também podem formar-se pelo processo de arrefecimento, quando a pressão que é mais baixa na parte superior da asa arrefece o ar em contacto. Frequentemente, os rastos de condensação espalham-se devido aos ventos fortes em altitude formando cirros.

2.5 NEVOEIROS

2.5.1 Processo de Formação dos Nevoeiros

Os nevoeiros normalmente formam-se quando uma massa de ar é arrefecida pela superfície, de forma a que a temperatura de ponto de orvalho seja atingida. O nevoeiro é considerado um tipo de nuvem que se forma na superfície ou muito próximo dela, porém os processos de formação do nevoeiro são distintos dos das nuvens. Em termos de meteorologia considera-se que se tem nevoeiro quando a visibilidade horizontal é inferior a 1000 metros, devido à presença de pequenas gotículas de água.

Os nevoeiros ocorrem quando se tem uma inversão térmica bem desenvolvida, ou quando se tem uma camada isotérmica. Em termos de estabilidade, uma camada isotérmica dificulta movimentos ascendentes e portanto favorece a acumulação de humidade nos níveis mais baixos da atmosfera. Estas condições são obtidas com mais frequência durante a noite. Além disso, se a atmosfera estiver estavelmente estratificada, com vento calmo e céu limpo, se houver uma diminuição significativa da temperatura, e ainda se o ar localizado abaixo for suficientemente húmido, uma camada de nevoeiro com topo à altura da base da inversão pode formar-se. A base da inversão deve estar próxima da superfície. A formação de nevoeiro dá-se mais facilmente se a camada logo acima da inversão estiver bastante seca.

O nevoeiro ocorre geralmente próximo da hora do nascer do Sol, em correspondência da ocorrência das temperaturas mais baixas, e quando a humidade relativa apresenta valores mais elevados. As condições para a formação de nevoeiro encontram-se frequentemente com as altas pressões, e estas condições também servem para mantê-lo, isto porque apesar do nevoeiro diminuir a perda de calor da superfície, a perda de radiação no topo deste é mais intensa, mantendo-se assim o nevoeiro.

O tipo de solo influencia a rapidez com que o nevoeiro emite radiação para a atmosfera, condicionando desta forma a formação deste. Solo sem vegetação arrefece devagar devido à condução de calor dos níveis mais profundos até à superfície, raramente formando nevoeiro (apesar da superfície em si arrefecer rapidamente). Solo coberto de erva ou outro tipo de vegetação baixa, atinge a saturação mais rapidamente, e se este for muito húmido aquece menos e perde mais calor, calor esse que não é “substituído” por calor de níveis mais profundos devido à ausência de aquecimento desses níveis (Camargo, 2003).

2.5.2 Classificação dos Nevoeiros

Existem diversas formas de classificar os nevoeiros, tudo depende da forma como se classifica e daquilo que se pretende. Do ponto de vista físico, os nevoeiros podem ser formados tanto por arrefecimento até se atingir a temperatura do ponto de orvalho, como por adição de vapor de água até que a temperatura do ponto de orvalho iguale a temperatura do ar. Consoante o processo físico em questão têm-se dois grandes grupos: o primeiro engloba os nevoeiros formados por arrefecimento da massa de ar, e dentro desta classe têm-se os nevoeiros de radiação, advecção, orográfico, e de evaporação; na segunda classe têm-se os nevoeiros frontais, formados na presença de precipitação, sendo o factor mais importante neste tipo de nevoeiros, um aumento da temperatura do ponto de orvalho (Camargo, 2003).

O *nevoeiro de radiação* é o tipo de nevoeiro que se forma nos vales e terras baixas, produzido pelo arrefecimento do ar húmido, quando o solo perde calor. Este tipo de nevoeiro forma-se apenas em terra e é mais frequente nas épocas do ano em que as noites são longas (Outono e Inverno), podendo persistir durante todo o dia seguinte, ou mesmo durante vários dias seguidos. Durante o Verão o aquecimento é em geral suficiente para fazer desaparecer este nevoeiro logo pela manhã. A formação deste tipo de nevoeiro necessita de céu limpo, de modo a que o solo vá perdendo calor ao longo de toda a noite, e de um ligeiro movimento horizontal da camada de ar junto ao solo (1 a 3 m/s). Se o ar estiver completamente imóvel forma-se apenas uma estreita camada de nevoeiro junto à superfície, se o vento for superior a cerca de 3 m/s, o nevoeiro eleva-se formando estratos baixos. O nevoeiro de radiação é frequentemente fragmentado, pois a sua formação depende dos contornos do terreno e da rapidez com que o solo perde calor. Tende a acumular-se nos vales e nas terras baixas pois, ao arrefecer, o ar torna-se mais denso e mais pesado, descendo desta forma até ao fundo dos declives. A espessura do nevoeiro de radiação pode atingir os 300 metros, mas é geralmente inferior.

O *nevoeiro de advecção* é geralmente o resultado do deslocamento de uma massa de ar quente e húmida sobre uma superfície fria. O ar arrefece e o vapor de água condensa. É frequente no mar, quando uma massa de ar quente e húmido se desloca sobre uma corrente marítima fria, ou quando ar tropical, muito quente e muito húmido, se move por cima da

superfície da água do mar, mais fria. A formação do nevoeiro de advecção é muito semelhante à dos estratos, mas acontece quando o ar junto ao solo está mais calmo. O ar imediatamente acima da superfície mantém-se frio e a "nuvem" permanece junto ao solo. Intensidades do vento de cerca de 4 a 5 m/s constituem as condições ideais para o nevoeiro de advecção e em geral a sua espessura é de cerca de 100 metros. O nevoeiro proveniente do mar dissipa geralmente ao alcançar as superfícies mais aquecidas em terra. Quando o nevoeiro de advecção se forma em terra tende a dissipar durante o dia à medida que o solo aquece, e volta a formar-se durante a noite seguinte. Tanto o aquecimento diurno como o aumento da intensidade do vento, podem fazer elevar o nevoeiro do solo, formando estratos. O nevoeiro nas elevações é muitas vezes formado por este processo.

O *nevoeiro de evaporação* forma-se pelo deslocamento de uma massa de ar frio sobre uma extensão de água mais quente. Para o nevoeiro se formar deverá verificar-se uma diferença de pelo menos 10°C entre o ar e a água. A evaporação da água, muito mais quente, no seio de um ar muito mais frio, fá-lo saturar quase imediatamente, e o vapor nele contido condensa. Este tipo de nevoeiro é frequente no Ártico, quando o ar frio que sopra das superfícies geladas passa sobre a água. É raro a espessura deste nevoeiro atingir os 15 metros, sendo na maioria dos casos menos espesso. Podem observar-se fenómenos semelhantes quando cai um aguaceiro súbito numa estrada fortemente aquecida pelo Sol, ou quando o ar frio se move sobre as águas mais quentes de rios e lagos.

O *nevoeiro orográfico* forma-se como resultado do arrefecimento do ar por expansão adiabática à medida que este se move para altitudes maiores, até alcançar o nível de condensação. É um dos poucos tipos de nevoeiro que se mantém em condições de vento relativamente forte. A razão para tal é que quanto mais rápido for o vento, mais rápido será o movimento para altitudes superiores, e mais rápido será o arrefecimento. As diferenças entre este tipo de nevoeiro e os estratos orográficos são mínimas. Em geral, os estratos são o resultado de um vento com uma certa força, enquanto os nevoeiros orográficos resultam de correntes de ar com uma força menor. Estes nevoeiros formam-se frequentemente por efeitos combinados da ascensão e radiação, e em alguns casos por aumento de humidade devido à precipitação. O nevoeiro orográfico é frequente em todo o tipo de cordilheiras.

Por último têm-se os nevoeiros que se formam na presença de precipitação, por aumento da temperatura do ponto de orvalho. Estes são os *nevoeiros frontais*, os quais se formam na parte fria das massas de ar. Assim, este tipo de nevoeiros subdivide-se em dois: nevoeiros pré-frontais, associados a frentes quentes, e os nevoeiros pós-frontais, associados a frentes frias.

O *nevoeiro pré-frontal* forma-se devido ao efeito da precipitação em colunas estáveis de ar, o que pode aumentar a temperatura do ponto de orvalho até que nevoeiro seja formado, sem arrefecimento da camada de ar inferior. Estas condições são mais facilmente obtidas no lado frio à frente de uma frente quente. No Inverno, massas de ar polar continental, quando associadas com frentes quentes que estão a precipitar, apresentam normalmente nevoeiro ou nuvens estratiformes bem baixas, por serem bastante estáveis. Por outro lado, uma massa de ar polar marítima não é suficientemente estável para permitir a formação de nevoeiro. Assim, como para os demais tipos de nevoeiro, a intensidade do vento é um factor predominante, uma vez que frentes quentes estão em geral associadas a ciclones cuja circulação é mais intensa do que o normal, nuvens estratiformes na frente quente são desta forma mais comuns que nevoeiros.

Entre o nevoeiro pré-frontal e o *nevoeiro pós-frontal* há apenas uma ligeira diferença, uma vez que ambos se formam pela humidade da precipitação frontal. O que os distingue é que a faixa de precipitação associada a uma frente fria é muito mais estreita em área do que a de uma frente quente, logo o nevoeiro pós-frontal apresenta dimensões inferiores. De facto, apenas frentes frias que se tornam quase-estacionárias, apresentam áreas extensas de nevoeiro. Como no caso da frente quente, estas circunstâncias apenas levam à formação de nevoeiro se o ar frio for estável.

2.6 O CAMPO ELÉCTRICO ATMOSFÉRICO E A METEOROLOGIA LOCAL

O campo eléctrico atmosférico resulta de haver uma distribuição espacial desigual dos iões positivos e negativos, e é uma consequência da existência de uma carga na superfície da Terra e da condutividade. Dado que a superfície da Terra está em média carregada negativamente relativamente à atmosfera, o campo eléctrico é, em média, dirigido da atmosfera para a superfície terrestre. Nos continentes, o campo eléctrico médio de bom tempo é de cerca de 120 V/m. Este valor corresponde a uma carga superficial de $-1,2 \times 10^{-9}$ C/m² que integrada sobre a superfície da Terra resulta numa carga total de 600 kC. No entanto este campo é imperceptível nas nossas vidas. Isto deve-se ao facto de virtualmente todas as coisas, incluindo o nosso corpo, serem condutoras quando comparadas com o ar.

Na descarga do circuito eléctrico global, os iões positivos fluem para a superfície da Terra, e os iões negativos fluem para a electrosfera. Os iões reagem com as moléculas neutras ou prendem-se a moléculas de vapor de água, formando aglomerados de iões estáveis.

O campo eléctrico de bom tempo apresenta variações diurnas e sazonais. A variação diurna do campo eléctrico foi atribuída à actividade global de tempestades, isto devido à grande semelhança entre a variação diurna na actividade global de tempestades e a curva de Carnegie (www.dge.inpe.br/elat/hp2005_800/eletricidade_p.htm), com valores máximos e mínimos aproximadamente nas mesmas horas universais, sendo este o argumento mais forte a favor da teoria que considera o sistema atmosfera/superfície terrestre como um condensador esférico.

Em 1920, Wilson estabeleceu a hipótese, conhecida como teoria do condensador esférico, na qual a superfície da Terra, e uma superfície equipotencial a uma determinada altitude se deveriam comportar como placas de um condensador esférico. A camada equipotencial foi primeiramente chamada de electrosfera e estaria supostamente localizada entre 40 e 60 km. Mais tarde, considerou-se que esta camada coincidia com a Ionosfera. Este condensador esférico é carregado até uma diferença de potencial de 200 kV. As cargas entre as placas estariam a mover-se em direcção ao solo, constituindo uma corrente de fuga. Esta corrente pode ser calculada multiplicando a densidade de corrente em condições de bom tempo pela área da superfície da Terra. Isto resulta numa corrente total de descarga do condensador de cerca de 1000 A. De modo a manter o condensador esférico carregado, supôs-se que a actividade das tempestades em todo o planeta actuaria como um gerador de corrente, separando cargas e provocando o transporte de cargas positivas da Terra para a Ionosfera na mesma razão de 1000 A.

A teoria do condensador esférico pode também ser vista como um grande circuito eléctrico, o qual inclui a superfície da Terra, a Ionosfera e a atmosfera juntamente com as tempestades. Este circuito é geralmente conhecido como circuito eléctrico atmosférico global. Esta teoria é do tipo quase estática, onde o campo eléctrico atmosférico deve ser considerado como um campo estacionário (e não estático), resultante do equilíbrio entre o processo de geração de cargas pelas tempestades e o processo de aniquilação das mesmas nas regiões com condições de bom tempo.

Três fontes quase directas transferem força electromotriz no circuito global: as tempestades, uma interacção de dínamo entre o vento solar e a Magnetosfera, e o efeito dínamo de corrente na Termosfera. As tempestades são consideradas as fontes mais poderosas, com uma ordem de grandeza três vezes superior, relativamente aos outros mecanismos.

Variações temporais no circuito global estão, predominantemente associadas com variações das tempestades, principalmente longe das regiões polares, mas também podem estar associadas a variações no vento solar, através da sua modulação com a intensidade da radiação cósmica.

A meteorologia local influencia a mobilidade dos iões, assim estes ao agruparem-se a aerossóis ou pequenas gotículas de água formam iões de maior tamanho perdendo mobilidade e reduzindo a sua contribuição para a condutividade do ar.

O campo eléctrico atmosférico varia inversamente com a condutividade eléctrica. Desta forma o campo eléctrico pode registrar as influências da meteorologia local, isto porque a condutividade eléctrica está dependente da mobilidade iónica, a qual por sua vez é extremamente influenciada pela poluição local e pela humidade do ar. Através desta relação é possível compreender como o campo eléctrico e fenómenos como nevoeiros, nuvens, transporte de aerossóis, etc., estão extremamente relacionados.

Em situações de bom tempo, o valor do campo eléctrico ao nível do solo varia entre os 100 e 300 V/m (Serrano et al, 2006). Este valor sofre variações da ordem das centenas de volt com cobertos de nuvens de pequeno desenvolvimento vertical (estratocúmulos, altoestratos, estratos, etc.), e da ordem dos milhares de volt sob cumulonimbos (MacGorman and Rust, 1998). Algum tempo antes do aparecimento de nevoeiros, o campo eléctrico atmosférico sofre um forte aumento e a condutividade do ar baixa acentuadamente. Este efeito é devido ao crescimento higroscópico das gotículas que originarão posteriormente o nevoeiro, assim a mobilidade destas decresce, diminuindo a condutividade do ar e aumentando desta forma o campo eléctrico. A previsão da ocorrência nevoeiros, algumas horas antes da sua formação poderá beneficiar do estudo deste efeito (Van der Hege, 1999).

Com esta relação entre o campo eléctrico atmosférico e algum tipo de tempo característico da camada limite, pretende-se com o presente estudo procurar correlações entre o valor do campo eléctrico ao nível do solo e a ocorrência de nevoeiros.

2.7 TÉCNICAS UTILIZADAS

2.7.1 Funções de Covariância Cruzada e de Correlação Cruzada

Para dois processos $x(t)$ e $y(t)$, que tenham valor médio nulo, ou que tenham sido centrados, por subtração dos respectivos valores médios, a função de covariância cruzada (\hat{R}_{xy}) pode ser estimada por (Kreyszig, 1970)

$$\hat{R}_{xy}(\tau) = \frac{1}{T_p} \int_0^{T_p-|\tau|} x(t)y(t-\tau)dt \quad (2.5)$$

ou em domínios discretos

$$\hat{R}_{xy\tau} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^{N-\tau} x_t y_{t+\tau} \quad \tau = -N_R, \dots, -2, -1, 0, 1, 2, \dots, N_R \quad (2.6)$$

com $N_R \leq N - 1$, necessariamente mas, em geral, não se ultrapassando $N_R \leq N/2$ ou $N_R \leq N/4$, em que N é o número de termos da série.

A função de correlação cruzada ($\hat{\rho}_{xy\tau}$) é então estimada por

$$\hat{\rho}_{xy\tau} = \frac{\hat{R}_{xy\tau}}{\hat{\sigma}_x \hat{\sigma}_y} \quad (2.7)$$

2.7.2 Teste de Tendência de Mann-Kendall

A tendência estatisticamente significativa de uma série, é determinada, neste estudo, a partir da aplicação do Teste de Mann-Kendall (Sneyers, 1975) que a seguir se descreve.

Neste teste assume-se o carácter aleatório de uma série de observações. Uma das características deste teste é que não é paramétrico, tendo como base uma ordenação crescente dos termos da série cronológica.

Então para uma série cronológica

$$X_i \quad i = 1, \dots, N$$

em que N é o número total de termos da série, obtemos a estatística

$$t = \sum_{i=1}^N n_i \quad (2.8)$$

em que $n_i = n_{i1} + 0.5n_{i2}$, com n_{i1} a representar o número de vezes que os termos X_j ($j < i$) são menores que o termo X_i e em que n_{i2} representa o número de vezes em que os termos X_j ($j < i$) são iguais ao termo X_i .

Com a condição da hipótese nula da série original ser estacionária, isto é, não haver tendência, obtêm-se a média da amostra ($M(t)$):

$$M(t) = \frac{N(N-1)}{4} \quad (2.9)$$

e a variância ($\text{var}(t)$)

$$\text{var}(t) = \frac{N(N-1)(2N+5)}{72} \quad (2.10)$$

A partir daqui pode-se obter a variável $u(t)$ que vem dada por

$$u(t) = \frac{t - M(t)}{\sqrt{\text{var}(t)}} \quad (2.11)$$

que se pode mostrar ter distribuição normal reduzida.

Então para valores de $|u(t)|$ elevados, a hipótese nula é rejeitada, de forma a que se aceita estatisticamente a existência de tendência. A probabilidade, ν_1 , do valor $|u(t)|$ ser ultrapassado é dada por:

$$\nu_1 = P(|u| > |u(t)|) \quad (\text{Teste bilateral}) \quad (2.12)$$

de acordo com a distribuição já referida para $u(t)$.

Então para a hipótese nula ser aceite, isto é, quando a tendência não é estatisticamente significativa, tem que se ter $\nu_1 > \nu_0$, em que ν_0 é o nível de significância escolhido. Para a hipótese nula não ser aceite, isto é, para a tendência ser estatisticamente significativa tem que se ter $\nu_1 < \nu_0$.

Os níveis de significância que são utilizados são $\nu_0 = 0.1$, $\nu_0 = 0.05$, $\nu_0 = 0.01$, que correspondem aos intervalos de confiança de 90%, 95% e 99%, respectivamente. Se houver tendência esta será positiva, isto é, há tendência para aumentar, se $u(t) > 0$. Será negativa, isto é, há tendência para diminuir se $u(t) < 0$.

Este teste utiliza apenas o conhecimento do número total de termos da amostra e a relação de grandeza entre os termos, não utilizando os valores dos mesmos; deste modo a relação de ordem (maior, menor ou igual) entre os termos, permite que o teste seja utilizado

para séries temporais em que os dados não surjam igualmente distantes no tempo, isto acontece quando temos falhas nos dados (Moreira et al, 1997).

3. DADOS UTILIZADOS E METODOLOGIA

3.1 DADOS UTILIZADOS

Com o intuito de detectar nevoeiros na região Sul de Portugal a partir da detecção remota multi-espectral de satélite, foram analisadas várias imagens do satélite de órbita geostacionária MSG-SEVIRI (Secção 2.2, capítulo 2), seleccionando-se para o estudo os canais espectrais centrados nos seguintes comprimentos de onda: 3.9, 8.7, e 10.8 μm (secção 2.2, capítulo 2).

O estudo compreendeu o período entre Janeiro de 2004 e Agosto de 2005. Foram analisados 68 dias para o período referido dos quais são válidos para o estudo 45 dias, sendo 17 desses dias durante o Inverno (meses de Dezembro, Janeiro, e Fevereiro), 12 dias durante a Primavera (meses de Março, Abril, e Maio), 6 dias durante o Verão (meses de Junho, Julho, e Agosto), e finalmente 10 dias durante o Outono (meses de Setembro, Outubro, e Novembro) (Tabela 3.1). A não utilização de diversos dias deveu-se à contaminação das zonas com nevoeiro por outro tipo de nuvens, em especial nuvens médias, nuvens altas (cirros), e rastos de condensação. O período horário varia de dia para dia consoante a extensão temporal do nevoeiro.

INVERNO		PRIMAVERA		VERÃO		OUTONO	
DIA	HORA (n° imagens)	DIA	HORA (n° imagens)	DIA	HORA (n° imagens)	DIA	HORA (n° imagens)
21-01-2004	06:06/11:57 (45)	17-03-2004	04:12/08:57 (20)	11-06-2005	04:12/07:57 (18)	05-09-2004	04:12/05:27 (8)
22-01-2004	04:12/15:57 (53)	18-03-2004	04:12/10:27 (26)	14-06-2005	04:12/06:42 (11)	07-09-2004	04:12/08:12 (17)
23-01-2004	04:27/10:42 (26)	07-04-2004	06:12/09:42 (15)	13-07-2005	04:12/08:57 (20)	09-09-2004	04:12/07:27 (16)
06-02-2004	04:12/10:12 (22)	21-04-2004	04:12/05:57 (8)	09-08-2005	06:12/07:57 (8)	26-09-2004	04:12/07:57 (18)
08-02-2004	05:42/10:12 (19)	10-05-2004	04:27/08:12 (16)	17-08-2005	04:12/08:27 (18)	14-10-2004	04:12/05:5 (8)
09-12-2004	04:12/14:57 (40)	22-05-2004	04:12/09:27 (22)	25-08-2005	05:42/07:42 (9)	16-10-2004	05:12/06:57 (8)
17-12-2004	04:12/12:57 (36)	06-03-2005	04:12/09:27 (22)			22-10-2004	04:12/06:57 (12)
18-12-2004	05:12/11:57 (28)	15-03-2005	03:12/10:27 (30)			26-10-2004	04:12/06:12 (9)
01-01-2005	04:12/16:12 (49)	24-03-2005	07:12/08:57 (8)			02-11-2004	04:12/08:12 (17)
02-01-2005	02:42/15:42 (53)	04-04-2005	04:12/08:57 (20)			19-11-2004	05:42/13:27 (32)
03-01-2005	03:42/10:57 (30)	25-04-2005	04:12/07:27 (14)				
08-01-2005	05:57/09:42 (16)	03-05-2005	04:57/07:12 (10)				
09-01-2005	07:27/10:27 (13)						
24-01-2005	07:57/11:12 (11)						
04-02-2005	06:12/11:57 (21)						
08-02-2005	06:12/08:57 (12)						
13-02-2005	04:12/10:42 (27)						

Tabela 3.1: Dias analisados, hora do início e fim da análise, e n° de imagens MSG-SEVIRI utilizadas em cada dia para as quatro estações do ano, com o propósito de desenvolver um algoritmo para a detecção de nevoeiro e nuvens.

A região estudada corresponde a uma malha que varia aproximadamente entre as latitudes 36.5°N e 39.5°N, e as longitudes 6.5°W e 9.5°W, com um pixel de aproximadamente 5×5 km² nas latitudes em estudo (Figura 3.1). São analisados apenas os pixels sobre terra. As medidas utilizadas para o estudo são as Temperatura de Brilho (BT), obtidas a partir da função de Planck (Cap. 2, equação 2.1), para os vários canais espectrais utilizados (3.9, 8.7 e 10.8 μm).

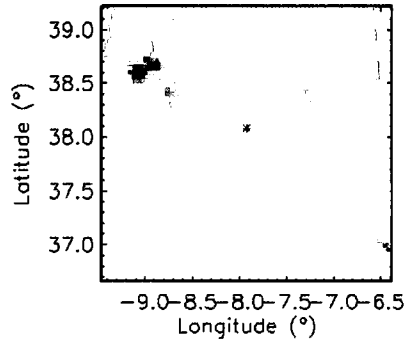


Figura 3.1: Mapa representativo da região em estudo. O asterisco (*) no mapa representa a localização de Base Aérea N°11 em Beja, onde foram realizadas as observações meteorológicas de nevoeiro utilizadas neste trabalho.

As observações efectuadas na estação meteorológica da Base Aérea N°11, em Beja, foram utilizadas para confirmar a presença de nevoeiro na região durante o período em que o estudo foi realizado. Esta estação apresenta um elevado número de nevoeiros em especial durante o Inverno, o qual é confirmado na Tabela 3.2.

MÊS	Nº de dias com Nevoeiro em Beja 1994-2005		
	Mínimo	Média	Máximo
JAN	2	8	15
FEV	1	9	15
MAR	3	7	11
ABR	0	5	11
MAI	1	4	9
JUN	0	2	5
JUL	0	2	7
AGO	0	3	5
SET	2	5	15
OUT	3	7	10
NOV	3	5	10
DEZ	4	9	12

Tabela 3.2: Número mínimo, médio, e máximo de dias de nevoeiro, em Beja durante o período 1994-2005.

Os dados utilizados para validar o algoritmo de detecção de nuvens e nevoeiro, desenvolvido neste estudo, estão compreendidos entre Junho de 2005 e Maio de 2006. A sobreposição de Julho e Agosto de 2005 entre o período da análise e o período da validação deve-se ao facto deste estudo estar a ser elaborado antes do Verão de 2006, sendo impossível dessa forma validar os resultados obtidos com dados de Julho e Agosto de 2006, no entanto é

de referir que os dias de Julho e Agosto de 2005 utilizados para o desenvolvimento do algoritmo, não são comuns aos dias utilizados para a validação.

O registo do campo eléctrico pode ser usado em estudos da fenomenologia da camada limite, nomeadamente concentração de aerossóis, nevoeiros, nuvens e como elemento importante na protecção civil, podendo levar a alertas de risco em determinadas actividades (manuseamento de combustíveis, ambientes com poeiras em suspensão, etc) quando o campo atinge valores críticos (www.cge.uevora.pt). Analisou-se o período entre Agosto de 2005 e Março de 2006 a fim de se tentarem correlacionar os dados do campo eléctrico atmosférico na região de Évora com a formação e dissipação do nevoeiro, de forma a estudar se existe alguma capacidade de previsão da evolução dos nevoeiros, a partir da evolução do campo eléctrico atmosférico. O facto de se dispor de um período tão curto deveu-se a duas razões: em primeiro lugar o electrómetro do tipo Keithley JCI 131 (aparelho que regista continuamente a componente vertical do campo eléctrico atmosférico) só esteve operacional no Observatório do Centro de Geofísica de Évora (CGE), em Évora, a partir do Verão de 2005, e em segundo lugar o número de eventos de nevoeiros registados nesse período em Évora foi bastante reduzido (Tabela 3.3). De referir que as observações de nevoeiro em Évora foram obtidas na estação meteorológica do Instituto de Meteorologia em Évora, o qual dista do Observatório do CGE cerca de 5 km.

ANO/MÊS/DIA (HORA)	ANO/MÊS/DIA (HORA)
2005/AGO/17 (02:12/09:57)	2006/MAR/07 (02:12/09:57)
2005/OUT/31 (02:12/09:57)	2006/MAR/08 (02:12/09:57)
2005/NOV/28 (02:12/09:57)	2006/MAR/15 (02:12/09:57)
2005/DEZ/28 (02:12/10:57)	2006/MAR/28 (02:12/10:57)
2006/JAN/16 (02:12/09:57)	
2006/FEV/14 (02:12/09:57)	

Tabela 3.3: Dias e horas disponíveis, para a correlação do campo eléctrico com o nevoeiro, na região de Évora.

3.2 METODOLOGIA E ANÁLISE DOS DADOS UTILIZADOS

O primeiro passo da análise consistiu na selecção dos testes para a detecção e classificação das nuvens. Esta selecção foi obtida através da análise de vários estudos, entre os quais se contam os realizados por Bendix e Cemark (2004 e 2005), Kerkmann e Zwatz-Meise (2004) e Ackerman (1998). Estes estudos concluem que os métodos mais adequados para a detecção de nevoeiros resultam da diferença da Temperatura de Brilho (BT) entre os canais IV3.9 e IV10.8, e os canais IV8.7 e IV10.8. A razão invocada nestes trabalhos, para justificar tal escolha reside no facto das emissividades serem diferentes nos canais anteriormente referidos para a água e gelo (ver secção 2.3, do capítulo 2), como tal optou-se pela utilização destes dois métodos no presente estudo.

Seguidamente procedeu-se à análise das imagens obtidas aplicando ambas as diferenças. O objectivo desta análise era perceber quais os valores típicos obtidos numa região com e sem nevoeiro para os dois casos ao longo do dia, e se as imagens estavam ou não contaminadas com outro tipo de nebulosidade.

Depois de obtidos os valores para as várias imagens e para os diversos dias precedeu-se a uma análise estatística diária, anual, e sazonal, na qual são obtidas médias, desvios padrão,

tendências das séries, e histogramas. Esta análise foi repartida em três períodos: noite, nascer do Sol, e dia. Depois de efectuada a análise estatística, seleccionou-se o método mais adequado a utilizar para os vários períodos, e os intervalos de valores que definem a existência de nevoeiro, nuvens, e superfície para ambos os métodos.

O passo seguinte foi aplicar o método de detecção de nevoeiro e nuvens desenvolvido, a um período diferente do utilizado na análise anterior de modo a confirmar com observações locais (Beja) se a máscara obtida apresenta resultados concordantes. A máscara de nuvens e nevoeiros consiste na distinção de várias classes sobre a área de estudo: céu limpo, ocorrência de nevoeiro, ocorrência de nuvens, podendo estas últimas ser ainda discriminadas em vários tipos. A máscara é obtida através de um método de detecção remota que utiliza vários canais espectrais, com o propósito de detectar nuvens e nevoeiros através da análise multi-espectral de imagens de satélite.

Finalmente avaliaram-se as correlações entre o campo eléctrico atmosférico e o nevoeiro na região de Évora, estimando-se as funções de correlação cruzada (ver secção 2.7.1 do capítulo 2).

Para todos os cálculos foram utilizados programas, desenvolvidos para o efeito em linguagem IDL e Fortran, e desenvolvidas folhas de cálculo Excel.

3.2.1 ANÁLISE DIÁRIA

Analisaram-se dia a dia, os métodos aplicados para a detecção de nevoeiros e estratos baixos. Com esta análise pretende-se verificar a evolução dos resultados ao longo do dia, pondo em evidência de uma forma preliminar os problemas que podem surgir. Foram analisadas em simultâneo uma região com e sem nevoeiro, na região Sul de Portugal.

3.2.1.1 MÉTODO BT3.9-BT10.8

Calculou-se a diferença entre a temperatura de brilho (BT) nos canais espectrais IV3.9 e IV10.8, para as imagens MSG-SEVIRI seleccionadas para a análise (Tabela 3.1). Ao analisarem-se os resultados dia a dia, verifica-se que na região com nevoeiro o valor da diferença aumenta a partir do momento em que a Terra começa a receber radiação solar (nascer do Sol). Durante a noite, o valor da diferença é inferior na região com nevoeiro, relativamente à região com céu limpo. Assim que o Sol nasce, na região com nevoeiro observa-se que a diferença aumenta à medida que a radiação Solar também aumenta, tornando-se a diferença durante o período do dia superior na região com nevoeiro. Apresentam-se como exemplo disto as Figuras 3.2 e 3.3.

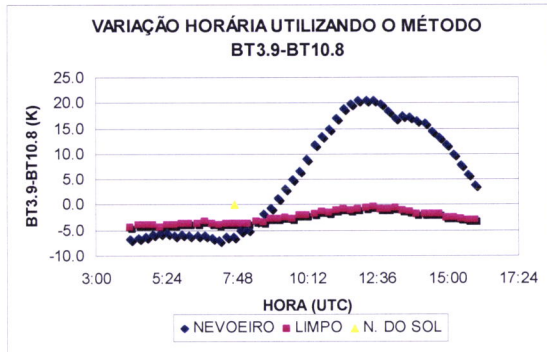


Figura 3.2: Variação horária utilizando o método BT3.9-BT10.8 para o dia 22/01/2004, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo, e indicação da hora do nascer do Sol (07:44 UTC).

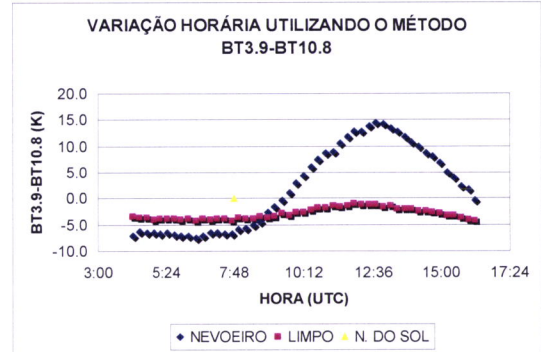


Figura 3.3: Variação horária utilizando o método BT3.9-BT10.8 para o dia 01/01/2005, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo, e indicação da hora do nascer do Sol (07:48 UTC).

Quando se analisam dias como 22/01/04, e 01/01/05, verifica-se que durante a noite, as diferenças tanto na região com céu limpo como na região com nevoeiro, se mantêm constantes, no entanto pouco depois do Sol nascer observa-se um aumento da diferença em ambas as regiões, sendo este aumento substancialmente superior na região com nevoeiro. Assim, durante o dia tem-se uma sinusóide para a BT3.9-BT10.8, a qual atinge o seu valor máximo cerca do meio-dia solar, momento a partir do qual a diferença volta novamente a diminuir. Esta situação verifica-se porque o canal IV3.9 é sensível à radiação solar, e porque em situações de nevoeiro esta região do espectro na qual se localiza o canal IV3.9 reflecte mais radiação solar do que na região com céu limpo (secção 2.3.1, capítulo 2).

Conclui-se desta forma que durante a noite, o valor da diferença é menor na região com nevoeiro do que na área sem nevoeiro, aumentando a diferença a partir do nascer do Sol, altura em que é difícil distinguir ambas as regiões através deste método pois os seus valores são idênticos. Cerca de uma hora depois do nascer do Sol, é possível distinguir novamente ambas as regiões, no entanto neste período a diferença é maior na região com nevoeiro do que na região com céu limpo.

Analisando a BT3.9-BT10.8 em função da BT10.8, e não da escala temporal, constata-se que na região com nevoeiro a BT10.8 varia pouco, o que já era de alguma forma esperado, pois a radiação solar não consegue penetrar nesta zona devido à elevada absorção provocada pelas gotículas de água do nevoeiro (ver secção 2.3.2 do capítulo 2). A partir do momento em que o Sol nasce na região com céu limpo a BT10.8 aumenta significativamente. Ainda nesta região observa-se uma ligeira tendência para a diferença aumentar à medida que a BT10.8 aumenta (Figuras 3.4 e 3.5).

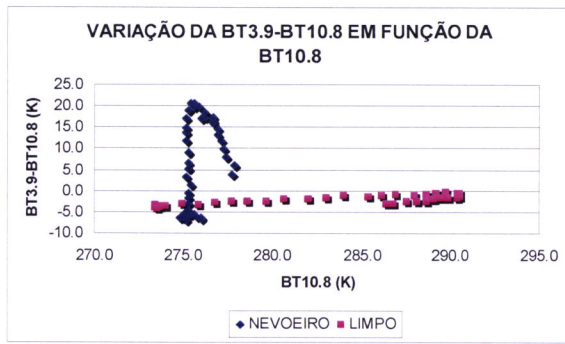


Figura 3.4: Variação da BT3.9-BT10.8 em função da BT10.8 para o dia 22/01/2004, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo.

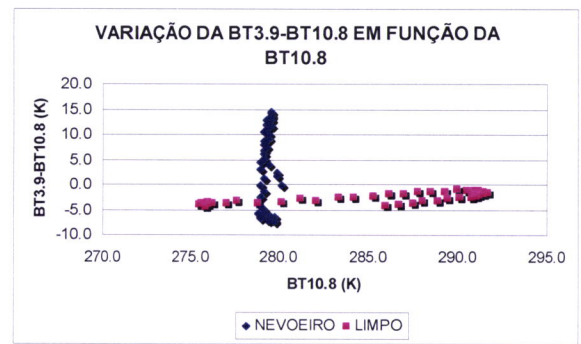


Figura 3.5: Variação da BT3.9-BT10.8 em função da BT10.8 para o dia 01/01/2005, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo.

A análise do método BT3.9-BT10.8 foi então feita para toda a região Sul de Portugal (Figura 3.1). Os resultados apresentam-se na forma de histogramas de distribuição das diferenças para dois períodos distintos, noite e dia (Figuras 3.6 e 3.7). Verifica-se que durante o dia os valores das diferenças entre uma região com e sem nevoeiro são extremamente acentuadas, tornando este método bastante eficiente durante este período. Durante o período nocturno as diferenças não são tão acentuadas, no entanto é ainda assim possível distinguir durante este período de uma forma clara uma região com nevoeiro e outra com céu limpo.

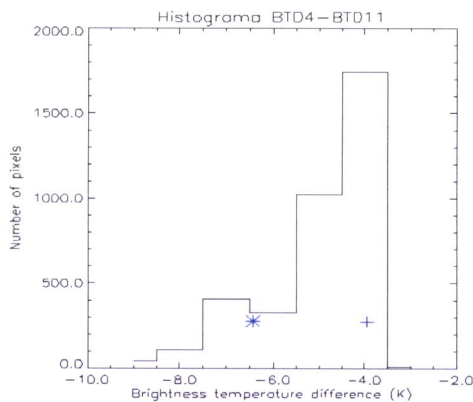


Figura 3.6: Histograma de distribuição do método BT3.9-BT10.8, às 04:57 UTC do dia 01/01/2005, para toda a região Sul de Portugal. O sinal (*) representa a região com nevoeiro, enquanto o sinal (+) a região com céu limpo.

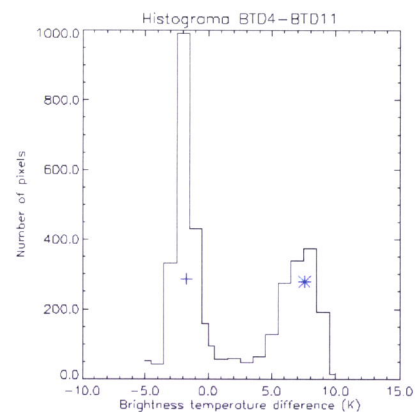


Figura 3.7: Histograma de distribuição do método BT3.9-BT10.8, às 10:42 UTC do dia 01/01/2005, para toda a região Sul de Portugal. O sinal (*) representa a região com nevoeiro, enquanto o sinal (+) a região com céu limpo.

3.2.1.2 MÉTODO BT8.7-BT10.8

A análise da variação do método BT8.7-BT10.8, em função da BT10.8, leva à conclusão que a diferença é mais elevada na região sem nevoeiro, do que na região com nevoeiro, e que a BT10.8 na região com nevoeiro varia pouco, ao contrário da região com céu limpo (Figuras 3.8 e 3.9).

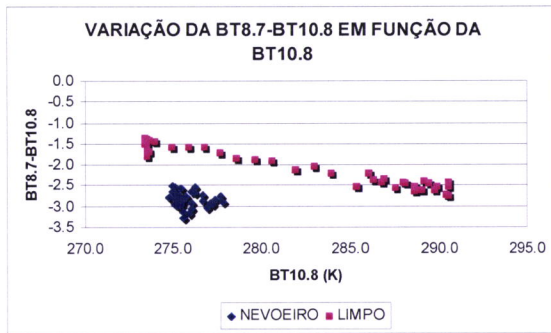


Figura 3.8: Variação da BT8.7-BT10.8 em função da BT10.8 para o dia 22/01/2004, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo.

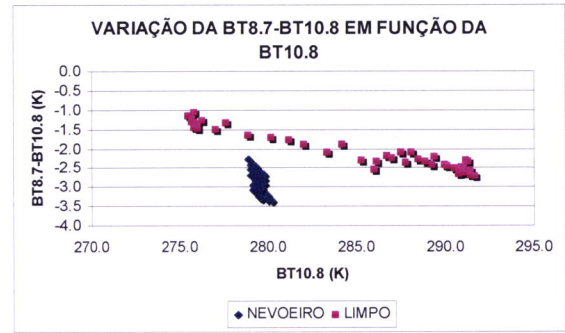


Figura 3.9: Variação da BT8.7-BT10.8 em função da BT10.8 para o dia 01/01/2005, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo.

Na região com céu limpo, a série BT8.7-BT10.8 apresenta uma tendência no sentido de diminuir a diferença à medida que a BT10.8 aumenta. Esta tendência tem como consequência que quando se observam as séries da diferença a variar com o tempo (região com nevoeiro e região com céu limpo) os seus valores se aproximam à medida que o dia avança (Figuras 3.10 e 3.11). Isto dificulta a distinção entre uma região com nevoeiro e outra com céu limpo durante o dia. Para distinguir as duas regiões é necessário ter em conta as séries da BT8.7-BT10.8 e da BT10.8 simultaneamente, só desta forma é possível distinguir uma região com e sem nevoeiro (Figuras 3.10 e 3.11).

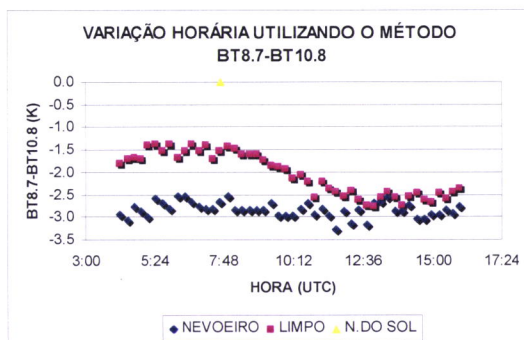


Figura 3.10: Variação horária utilizando o método BT8.7-BT10.8 para o dia 22/01/2004, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo, e indicação da hora do nascer do Sol (07:44 UTC).

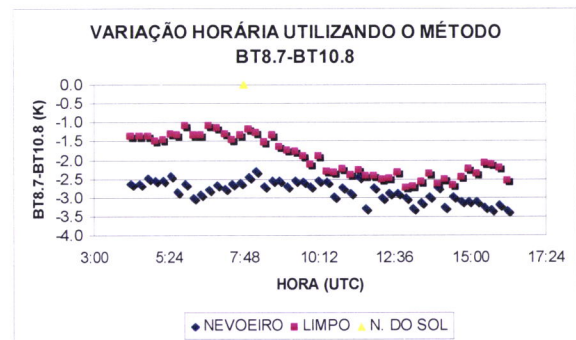


Figura 3.11: Variação horária utilizando o método BT8.7-BT10.8 para o dia 01/01/2005, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo, e indicação da hora do nascer do Sol (07:48 UTC).

A análise estendeu-se também neste caso a toda a região Sul de Portugal. Os histogramas de distribuição das diferenças para o período da noite e do dia (Figuras 3.12 e 3.13) mostram que para ambos os períodos, as diferenças da BT8.7-BT10.8 entre uma região com nevoeiro e outra com céu limpo são muito pequenas, sendo essas diferenças ainda menores durante o dia.

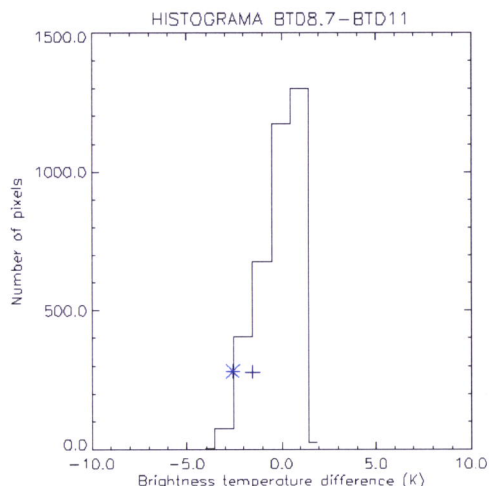


Figura 3.12: Histograma de distribuição do método BT8.7-BT10.8, às 04:57 UTC do dia 01/01/2005, para toda a região Sul de Portugal. O sinal (*) representa a região com nevoeiro, enquanto o sinal (+) a região com céu limpo.

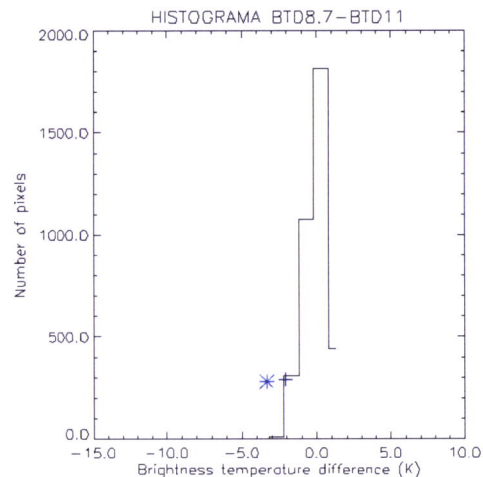


Figura 3.13: Histograma de distribuição do método BT8.7-BT10.8, às 15:42 UTC do dia 01/01/2005, para toda a região Sul de Portugal. O sinal (*) representa a região com nevoeiro, enquanto o sinal (+) a região com céu limpo.

O facto de as diferenças entre uma região com nevoeiro e outra com céu limpo serem menores com este método do que com o método BT3.9-BT10.8, torna este método menos apropriado na detecção de nevoeiros. No entanto, este método tem a vantagem de poder ser aplicado a todas as horas sem restrições, ao contrário do método BT3.9-BT10.8 que não pode ser aplicado logo após o nascer do Sol.

3.2.2 ANÁLISE ANUAL

A análise anual consiste na análise conjunta de todos os dias estudados nos anos de 2004 e 2005. São elaborados dois tipos de análise, uma para o período do dia e noite em conjunto, e outra somente para o período da noite.

3.2.2.1 MÉTODO BT3.9-BT10.8

Ao analisar-se a região sem nevoeiro para o período do dia e da noite em conjunto (Figura 3.14), verifica-se que há uma tendência para um aumento da diferença à medida que a BT10.8 aumenta. Esta é a única conclusão que se pode tirar para este período, pois para a região com nevoeiro este tipo de análise é inconclusivo devido à grande dispersão dos pontos (Figura 3.14).

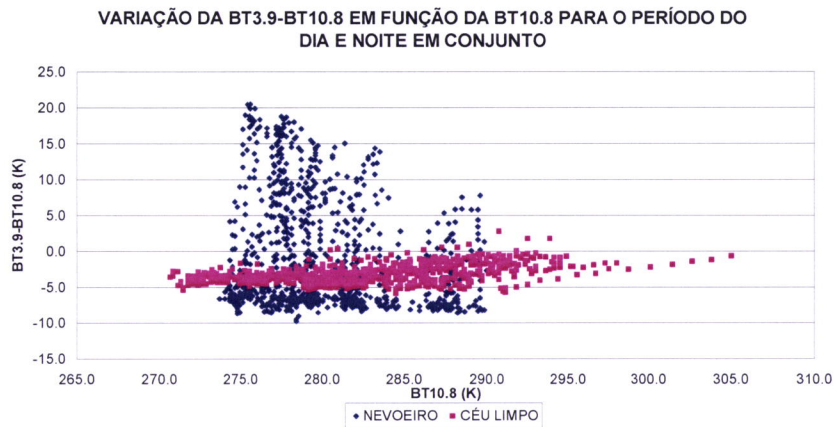


Figura 3.14: Variação anual da BT3.9-BT10.8 em função da BT10.8, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo, para o período do dia e noite em conjunto.

É de noite que o problema da detecção remota do nevoeiro se põe com mais ênfase, pois de dia os canais do visível detectam perfeitamente o nevoeiro, desde que este não esteja coberto por outro tipo de nuvens. Desta forma decidiu-se não ter em conta para a análise anual os dados obtidos durante o período diurno.

Quando se analisam os dados apenas para o período nocturno, entendendo-se como noite todos os valores obtidos antes do nascer do Sol, diversas conclusões podem ser retiradas. Analisando o gráfico da BT3.9-BT10.8 em função da BT10.8 apresentado na Figura 3.15, verifica-se que existe uma ligeira tendência em ambas as séries no sentido da diminuição da diferença à medida que a BT10.8 aumenta, sendo esta tendência linear para ambas as séries, apresentando a da região com nevoeiro um declive de -0.088 , e a série da região com céu limpo de -0.059 . O teste de tendência de Mann-Kendall (secção 2.7.2, capítulo 2) (Sneyers, 1975), confirma que a tendência de ambas séries é estatisticamente significativa com um nível de confiança de 95%. O teste de tendência tem o propósito de confirmar se uma tendência tem ou não significado em termos estatísticos.

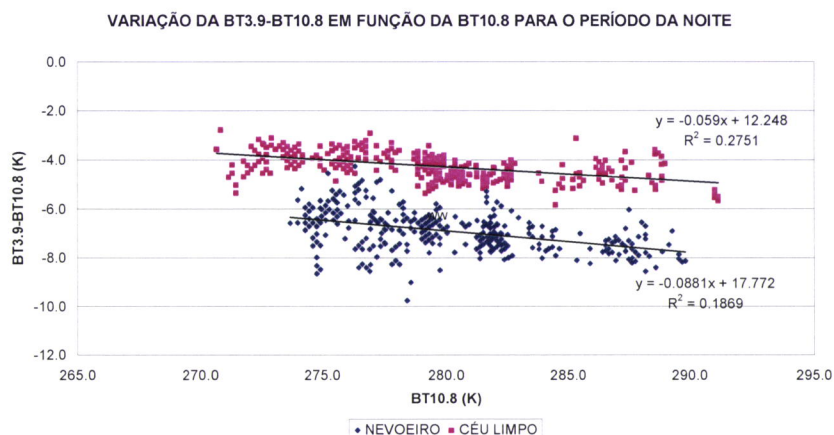


Figura 3.15: Variação anual da BT3.9-BT10.8 em função da BT10.8, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo, para o período da noite.

A série da diferença na região com nevoeiro apresenta um valor médio de -6.9 K, com um desvio padrão (d.p) de 0.83 K. A série da diferença na região sem nevoeiro apresenta um

valor médio de -4.2 K, com um d.p. de 0.53 K. Quanto à série da BT10.8 na região com nevoeiro o valor médio é de 280 K, com um d.p. de 4.08 K, a mesma série para a região sem nevoeiro apresenta um valor médio de 279.1K, com um d.p. de 4.70 K.

Conclui-se com estes resultados que existe uma grande dispersão de valores, situação essa que dificulta a construção de uma máscara para este método para o ano inteiro, e que leva por sua vez à elaboração de uma análise sazonal com vista à criação não de uma máscara mas sim de quatro, uma para cada estação do ano.

3.2.2.2 MÉTODO BT8.7-BT10.8

Ao analisar-se o gráfico da BT8.7-BT10.8 em função da BT10.8 para o dia e para a noite (Figura 3.16), observa-se uma tendência linear em ambas as séries no sentido da diminuição da diferença à medida que a BT10.8 aumenta. O declive para a série com nevoeiro é de -0.047, e para a série sem nevoeiro é de -0.066. O teste de tendência de Mann-Kendall, confirma que a tendência em ambas séries é estatisticamente significativa com um nível de confiança de 99%.

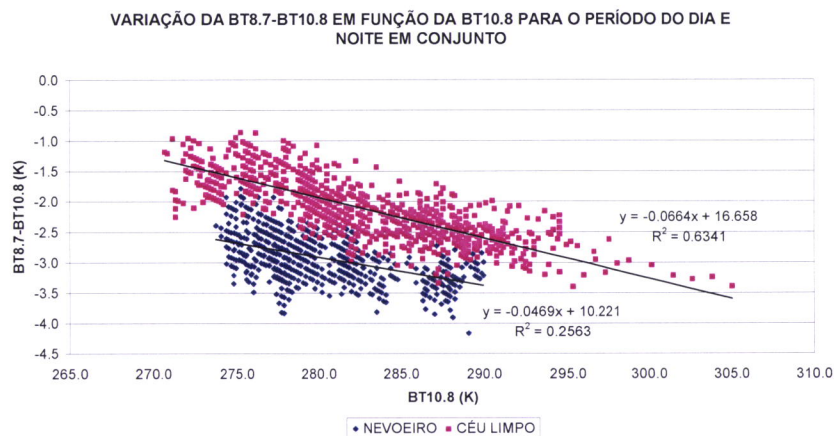


Figura 3.16: Variação anual da BT8.7-BT10.8 em função da BT10.8, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo, para o período do dia e noite em conjunto.

A série da diferença na região com nevoeiro apresenta um valor médio de -2.9 K, com um d.p. de 0.37 K, enquanto a série da diferença na região com céu limpo apresenta um valor médio de -2.1 K, com um d.p. de 0.51 K. Quanto à série da BT10.8 na região com nevoeiro o valor médio é de 280 K, com um d.p. de 3.99 K, a mesma série para a região com céu limpo apresenta um valor médio de 282.3 K, com um d.p. de 6.10 K.

Seguidamente analisam-se as mesmas séries mas só para o período da noite, obtendo-se as mesmas tendências: em ambas as séries observa-se uma diminuição da diferença (BT8.7-BT10.8) à medida que a BT10.8 aumenta (Figura 3.17). O declive para a região com nevoeiro é de -0.058, e para a região com céu limpo é de -0.079. Pelo teste de tendência de Mann-Kendall, só a tendência da série da região com nevoeiro é estatisticamente significativa ao nível de confiança de 90%. A série da diferença na região afectada pelo nevoeiro apresenta um valor médio de -2.8 K, com um d.p. de 0.37 K. Por sua vez a série da diferença na região sem nevoeiro tem um valor médio de -1.9 K, com um d.p. de 0.48 K. Quanto à série da

BT10.8 na região com nevoeiro o valor médio é 280.1 K, com um d.p. de 4.09 K; a mesma série para a região com céu limpo apresenta um valor médio de 279.1 K, com um d.p. de 4.70 K.

Este método obtém conclusões idênticas àquelas que foram obtidas para método anterior no que se refere à análise anual, ou seja, existe uma grande dispersão de valores, o que impossibilita a construção de uma máscara com este método para o ano inteiro.

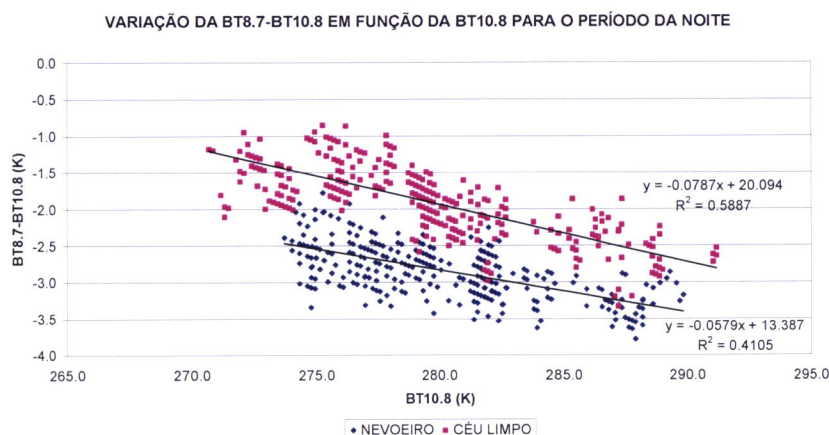


Figura 3.17: Variação anual da BT8.7-BT10.8 em função da BT10.8, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo, para o período da noite.

3.2.3 ANÁLISE SAZONAL - PRIMAVERA

Da análise da secção anterior, isto é, da análise anual, constata-se que é extremamente difícil construir um algoritmo para a máscara de nuvens, que consiga abranger o ano inteiro com um grau de certeza elevado. Tal situação deve-se à grande heterogeneidade na temperatura ao longo das quatro estações do ano. Como tal, surgiu a necessidade de efectuar uma análise sazonal, com vista a alcançar uma maior homogeneidade nos valores.

A análise aos dias de nevoeiro na Primavera é dividida em quatro períodos: nocturno, o qual compreende todos os valores obtidos antes do Sol nascer; nascer do Sol, o qual compreende os dados obtidos desde o nascer do Sol até uma hora e meia depois; diurno o qual compreende os dados obtidos depois do período do nascer do Sol até que este se ponha; e por fim é feita uma análise conjunta para todos estes períodos, quando tal se justifique.

3.2.3.1 MÉTODO BT3.9-BT10.8

A análise sazonal conjunta não faz sentido para este método, porque se estariam a misturar os períodos do dia e da noite, períodos estes que apresentam resultados opostos nas regiões com nevoeiro, isto é, no período diurno as diferenças são positivas, e no período nocturno as diferenças são negativas (secção 3.2.1.1).

Ao analisar-se somente o período da noite verifica-se no gráfico da BT3.9-BT10.8 em função da BT10.8 (Figura 3.18) uma ligeira tendência linear para a série da região com nevoeiro aumentar à medida que a BT10.8 aumenta, passando-se o inverso na região com céu limpo. O declive da recta mais provável para a série da área com nevoeiro é de 0.029, e para a série da região com céu limpo é de -0.045. Para este período e para este método existe uma diferença clara entre a região com e sem nevoeiro, pois a BT3.9-BT10.8 na região com nevoeiro é sempre inferior à da região com céu limpo. O teste de tendência de Mann-Kendall para as duas séries, demonstra que a tendência não é estatisticamente significativa, para um grau de confiança de 95%, logo não se pode dizer que exista uma tendência para um aumento/diminuição da diferença em função da BT10.8. É no entanto possível definir valores limite que permitem distinguir regiões com e sem nevoeiro durante o período nocturno em função da diferença BT3.9-BT10.8 e da BT10.8 (Tabela 3.4)

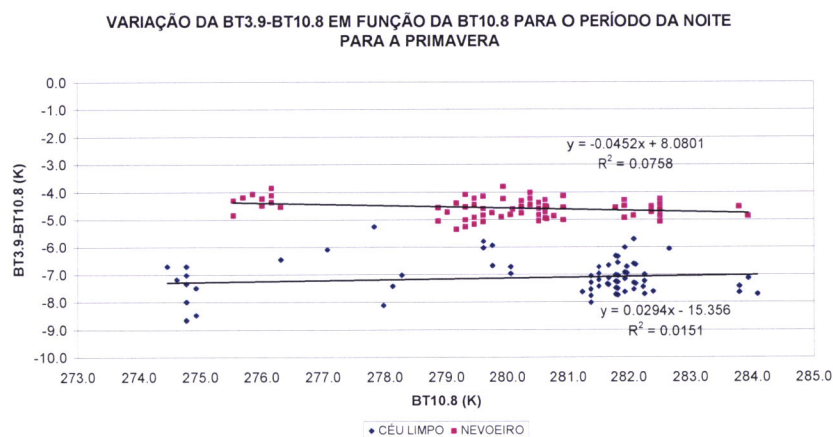


Figura 3.18: Variação da BT3.9-BT10.8 em função da BT10.8, na Primavera, para o período da noite, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo.

A série da diferença na região com nevoeiro apresenta um valor médio de -7.1 K, com um d.p. de 0.65 K. A série da diferença na região com céu limpo apresenta um valor médio de -4.6 K, com um d.p. de 0.33 K. Quanto à série da BT10.8 na região com nevoeiro o valor médio é 280.4 K, com um d.p. de 2.7 K, a mesma série para a região sem nevoeiro apresenta um valor médio de 279.9 K, com um d.p. de 1.98 K.

Ao analisarem-se as séries obtidas com o método BT3.9-BT10.8 para o período do dia, verifica-se que as diferenças da série da região com céu limpo aumentam à medida que a BT10.8 aumenta. Quanto à série da região com nevoeiro, os valores são muito dispersos, no entanto observa-se também uma tendência no sentido da diferença aumentar à medida que a BT10.8 aumenta. Outra conclusão evidente é que para esta série os valores são quase todos superiores a zero (Figura 3.19).

A série da diferença na região com nevoeiro apresenta um valor médio de 6.6 K, com um desvio padrão de 4.3 K, o que prova a grande dispersão de valores, a qual se deve à sinusóide descrita na análise diária temporal (secção 3.2.1.1, Figuras 3.2 e 3.3). A série da diferença na região com céu limpo apresenta um valor médio de -2.2 K, com um d.p. de 1.37 K. Relativamente à série da BT10.8 na região com nevoeiro o valor médio é 280.9 K, com um d.p. de 2.3 K, a mesma série para a região sem nevoeiro apresenta um valor médio de 286.8 K, com um d.p. de 3.54 K.

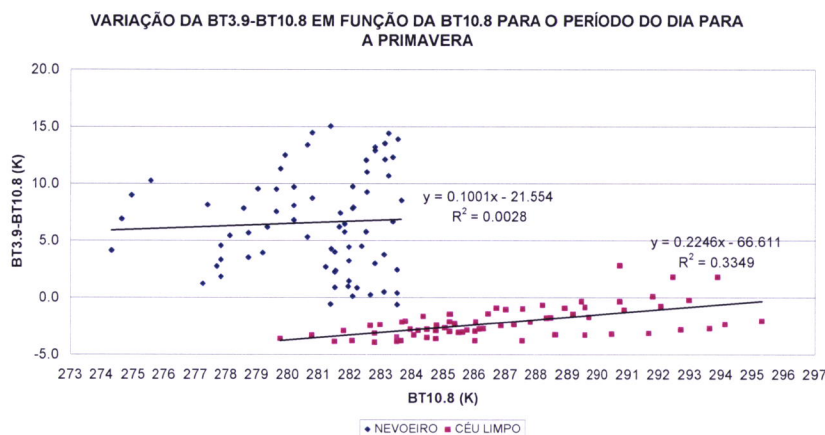


Figura 3.19: Variação da BT3.9-BT10.8 em função da BT10.8, na Primavera, para o período do dia, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo.

Para este método e para esta estação do ano é possível construir uma máscara de nuvens e nevoeiro (Tabelas 3.4 e 3.6), isto porque, pelos resultados dos parágrafos anteriores existe uma certa homogeneidade nos valores para os períodos noturno e diurno, em especial no que se refere às séries da diferença, no entanto quanto analisa a série da BT10.8, verifica-se alguma heterogeneidade nos valores, isto porque a Primavera é o período de transição entre o Inverno e o Verão.

3.2.3.2 MÉTODO BT8.7-BT10.8

Analisando o gráfico da BT8.7-BT10.8 em função da BT10.8 (Figura 3.20) conjuntamente para todos os períodos, constata-se que há uma ligeira tendência linear nas séries da BT8.7-BT10.8 no sentido destas diminuírem à medida que a BT10.8 aumenta. O declive para a série com nevoeiro é de -0.031, e para a série com céu limpo é de -0.066. O teste de tendência de Mann-Kendall, para as duas séries, mostra que a tendência não é estatisticamente significativa em ambas as séries, para um grau de confiança de 95%, logo não se pode afirmar que existe uma tendência para uma diminuição da diferença em função da BT10.8.

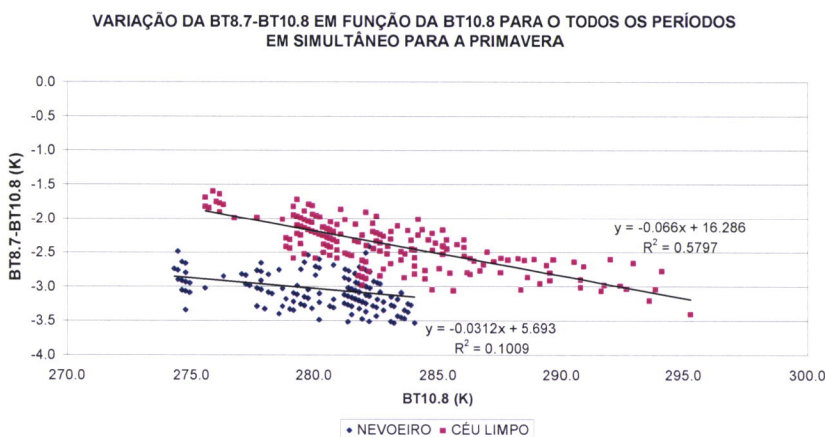


Figura 3.20: Variação da BT8.7-BT10.8 em função da BT10.8, na Primavera, para todos os períodos em simultâneo, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo.

A série da BT8.7-BT10.8 para a região com nevoeiro apresenta um valor médio de -3.0 K, com um d.p. de 0.24 K. A série da diferença para a região sem nevoeiro apresenta um valor médio de -2.4 K, com um d.p. de 0.35 K. Relativamente à série da BT10.8 na região com nevoeiro o valor médio é 280.6 K, com um d.p. de 2.48 K, a mesma série para a região com céu limpo apresenta um valor médio de 282.6 K, com um d.p. de 4.05 K.

Ao analisarem-se as séries obtidas para o método BT8.7-BT10.8 para o período da noite, verifica-se que ambas diminuem à medida que a BT10.8 aumenta. Assim, em ambas as séries há uma tendência no sentido da diminuição da diferença à medida que a BT10.8 aumenta. O declive da recta para a série da região com nevoeiro é de -0.033, e para a série com céu limpo é de -0.092, no entanto ao aplicar-se o teste de tendência de Mann-Kendall, para as duas séries constata-se que estas não são estatisticamente significativas. A série da BT8.7-BT10.8 para a região com nevoeiro apresenta um valor médio de -3.0 K, com um desvio padrão de 0.25 K. A série da diferença para a região com céu limpo apresenta um valor médio de -2.1 K, com um d.p. de 0.30 K. Relativamente à série da BT10.8 na região com nevoeiro o valor médio é 280.5 K, com um d.p. de 2.71 K, a mesma série para a região sem nevoeiro apresenta um valor médio de 279.9 K, com um d.p. de 2.00 K.

Ao analisarem-se as séries obtidas para o método BT8.7-BT10.8 para o período do nascer do Sol (Figura 3.21), constata-se que ambas as séries diminuem à medida que a BT10.8 aumenta. Assim, ambas as séries apresentam uma tendência no sentido da diminuição da diferença à medida que a BT10.8 aumenta. Para a série da região com nevoeiro o declive da recta é de -0.039, e para a série da região com céu limpo é de -0.037. O teste de tendência de Mann-Kendall, para as duas séries demonstra que estas não são estatisticamente significativas, logo não se pode dizer, existe tendência para a diminuição da diferença em função da BT10.8.

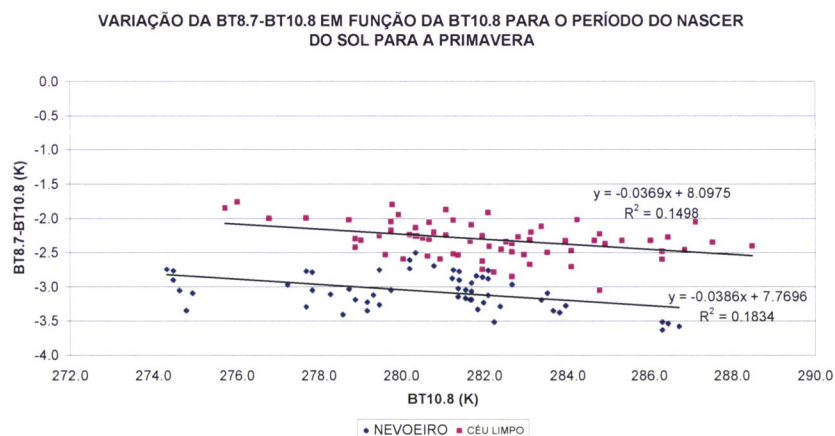


Figura 3.21: Variação da BT8.7-BT10.8 em função da BT10.8, na Primavera, para o período do nascer do sol, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo.

A série da BT8.7-BT10.8 para a região com nevoeiro apresenta um valor médio de -3.1 K, com um desvio padrão de 0.26 K. A série da diferença para a região sem nevoeiro apresenta um valor médio de -2.3 K, com um d.p. de 0.26 K. Quanto à série da BT10.8 para a

região com nevoeiro o valor médio é 280.8 K, com um d.p. de 2.92 K, a mesma série para a região com céu limpo apresenta um valor médio de 282.0 K, com um d.p. de 2.68 K.

Da análise das séries do método BT8.7-BT10.8 para o período diurno, conclui-se que estas diminuem à medida que a BT10.8 aumenta. Assim, em ambas as séries há uma tendência no sentido da diminuição da diferença à medida que a BT10.8 aumenta. A recta para a região com nevoeiro tem um declive de -0.029, e para a região com céu limpo de -0.058. Pelo teste de tendência de Mann-Kendall, nenhuma série é estatisticamente significativa. A série da diferença para a região com nevoeiro apresenta um valor médio de -3.1 K, com um desvio padrão de 0.23 K. A série da diferença para a região com céu limpo apresenta um valor médio de -2.5 K, com um d.p. de 0.32 K. Relativamente à série da BT10.8 na região com nevoeiro o valor médio é 280.6 K, com um d.p. de 2.35 K, a mesma série para a região sem nevoeiro apresenta um valor médio de 284.4 K, com um d.p. de 4.04 K.

Conclui-se desta forma que para este método e para esta estação do ano é possível construir uma máscara de nuvens e nevoeiro (Tabela 3.5), pois pela análise dos resultados dos parágrafos anteriores existe uma homogeneidade nos valores para todos os períodos, no entanto tal como para o método anterior verifica-se alguma heterogeneidade nos valores na série da BT10.8, a qual se deve ao período em estudo ser de transição.

3.2.4 ANÁLISE SAZONAL - VERÃO

A análise aos dias de nevoeiro no Verão, tal como para a Primavera é dividida em quatro períodos: a noite, o nascer do Sol, o dia, e por último são analisados todos os períodos em simultâneo, no entanto para o método BT3.9-BT10.8 a análise para todos os períodos em simultâneo, e para o período do nascer do Sol, não é efectuada pelas razões invocadas na secção 3.2.3.1.

O número de dias com nevoeiro é bastante baixo nesta época do ano, relativamente às outras estações do ano. Em média, durante o Verão na região de Beja registam-se 2 a 3 dias de nevoeiro por mês, o que é significativamente pouco para tirar ilações (Tabela 3.2).

3.2.4.1 MÉTODO BT3.9-BT10.8

Analisando somente o período da noite, observa-se pelo gráfico da BT3.9-BT10.8 em função da BT10.8 (Figura 3.22), que há uma ligeira tendência para as séries das regiões com e sem nevoeiro diminuírem à medida que a BT10.8 aumenta. O declive da recta ajustada para a série com nevoeiro é de -0.086, e para a série sem nevoeiro é de -0.160. Existe uma diferença clara entre a região com nevoeiro e a região com céu limpo, isto porque a diferença na região com nevoeiro é sempre menor do que na região com céu limpo. Ao fazer-se o teste de tendência de Mann-Kendall, para as duas séries, constata-se que a tendência não é estatisticamente significativa em ambas as séries, para um grau de confiança de 95%, logo não existe tendência para um aumento ou diminuição da diferença em função da BT10.8, o que se poderá dever à escassez de dados.

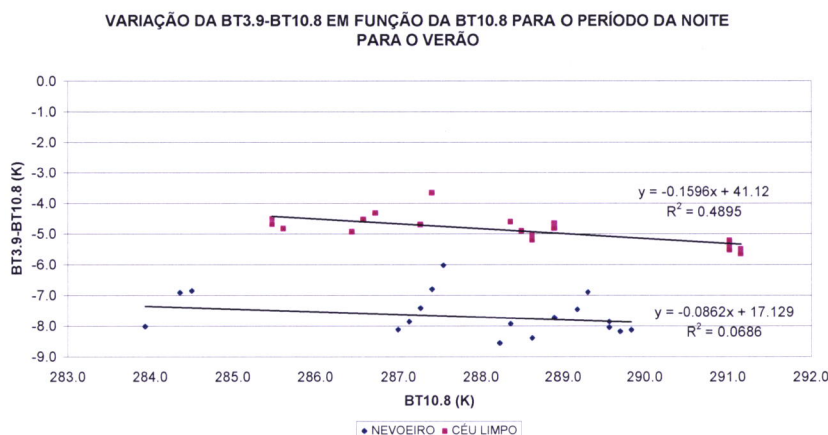


Figura 3.22: Variação da BT3.9-BT10.8 em função da BT10.8, no Verão, para o período da noite, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo.

A série da BT3.9-BT10.8 na região com nevoeiro apresenta um valor médio de -7.7 K, com um d.p. de 0.65 K. A série da diferença na região com céu limpo apresenta um valor médio de -4.9 K, com um d.p. de 0.46 K. Relativamente à série da BT10.8 na região com nevoeiro o valor médio é 287.7K, com um d.p. de 1.98 K, a mesma série para a região sem nevoeiro apresenta um valor médio de 288.2 K, com um d.p. de 2.02 K.

Ao analisarem-se as séries obtidas com o método BT3.9-BT10.8 para o período do dia, verifica-se que as diferenças da série da região sem nevoeiro aumentam à medida que a BT10.8 aumenta (0.137). Relativamente à série da região com nevoeiro os valores são muito dispersos, no entanto a tendência é também no sentido da diferença aumentar à medida que a BT10.8 aumenta (0.203). Outra conclusão evidente é que para esta série os valores são quase todos superiores a zero (Figura 3.23). Ao aplicar-se o teste de tendência de Mann-Kendall, para as duas séries, constata-se que a tendência é estatisticamente significativa somente na série da região com céu limpo, para um grau de confiança de 95%.

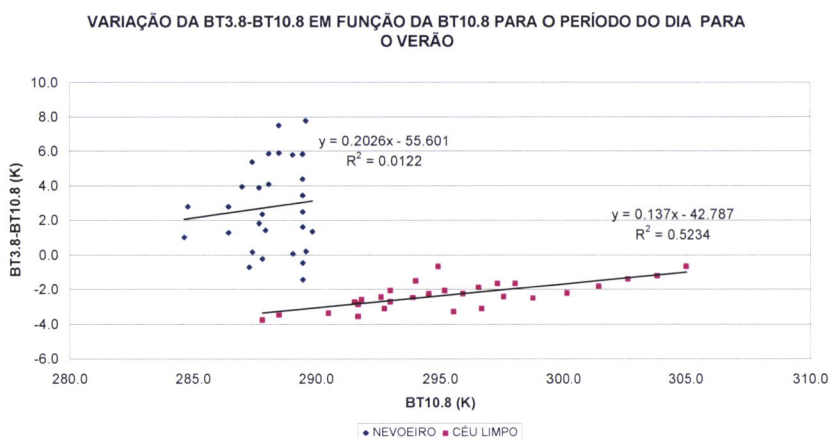


Figura 3.23: Variação da BT3.9-BT10.8 em função da BT10.8, no Verão, para o período do dia, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo.

A série da BT3.9-BT10.8 para a região com nevoeiro apresenta um valor médio de 6.6 K, com um desvio padrão de 4.3 K, o qual se deve à grande dispersão de valores, isto porque ao analisar-se a série temporalmente esta descreve uma sinusóide, com o máximo a ser atingido ao meio dia solar (secção 3.2.1.1). A série da diferença para a região com céu limpo apresenta um valor médio de -2.2 K, com um d.p. de 1.37 K. Relativamente à série da BT10.8 na região com nevoeiro o valor médio é de 280.9 K, com um d.p. de 2.3 K, a mesma série para a região sem nevoeiro apresenta um valor médio de 286.8 K, com um d.p. de 3.54 K.

Conclui-se que para o Verão é possível construir uma máscara de nuvens e nevoeiros utilizando este método (Tabelas 3.7 e 3.9), isto porque, pelos resultados dos parágrafos anteriores existe uma homogeneidade nos valores tanto para o período nocturno como para o período diurno.

3.2.4.2 MÉTODO BT8.7-BT10.8

Ao analisarem-se todos os períodos em conjunto, verifica-se pela Figura 3.24, a qual representa o gráfico da BT8.7-BT10.8 em função da BT10.8, que a tendência para a série da região sem nevoeiro diminui à medida que a BT10.8 aumenta; o inverso se passa com a série da região com nevoeiro. O declive da recta para a série da região com nevoeiro é de 0.075, e para a série da região com céu limpo é de -0.049. O teste de tendência de Mann-Kendall, para as duas séries prova que a tendência é estatisticamente significativa em ambas as séries, para um grau de confiança de 95%, logo existe tendência para um aumento ou diminuição da diferença em função da BT10.8.

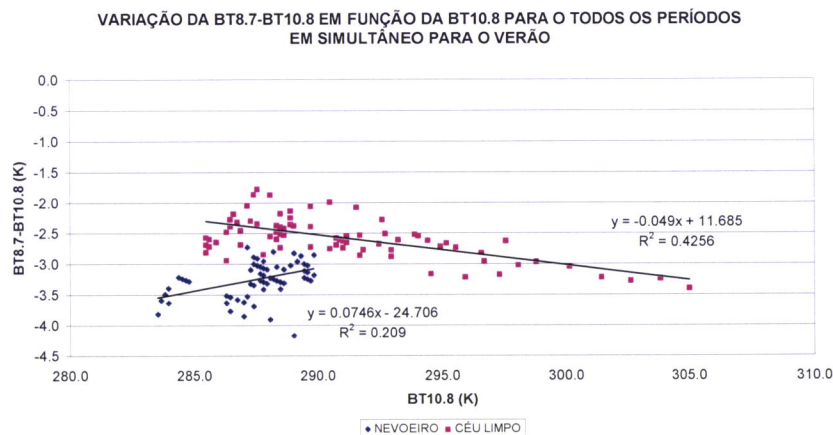


Figura 3.24: Variação da BT8.7-BT10.8 em função da BT10.8, no Verão, para todos os períodos em simultâneo, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo.

A série da diferença na área com nevoeiro apresenta um valor médio de -3.2 K, com um d.p. de 0.28 K. A série da diferença para a área com céu limpo apresenta um valor médio de -2.6 K, com um d.p. de 0.34 K. Relativamente à série da BT10.8 na região com nevoeiro o valor médio é de 287.7 K, com um d.p. de 1.71 K, a mesma série para a região sem nevoeiro apresenta um valor médio de 291.0 K, com um d.p. de 4.51K.

Ao analisarem-se as séries obtidas (nevoeiro e céu limpo) para o método BT8.7-BT10.8 para o período da noite verifica-se que estas apresentam tendências opostas, com a série da diferença da região com nevoeiro a aumentar à medida que a BT10.8 aumenta (0.064), e a série da diferença da região com céu limpo a diminuir (-0.018). Aplicando o teste de tendência de Mann-Kendall, para as duas séries, constata-se que somente a tendência da série da região com nevoeiro é estatisticamente significativa par a um nível de confiança de 95%. A série da BT8.7-BT10.8 para a região com nevoeiro apresenta um valor médio de -3.2 K, com um desvio padrão de 0.23 K. A mesma série para a região com céu limpo apresenta um valor médio de -2.5 K, com um d.p. de 0.22 K. Quanto à série da BT10.8, na região com nevoeiro o seu valor médio é de 287.7K, com um d.p. de 1.98K, a mesma série para a região sem nevoeiro apresenta um valor médio de 288.2 K, com um d.p. de 2.02 K.

Pela análise das séries obtidas para o período do nascer do Sol, para o método BT8.7-BT10.8 (Figura 3.25), constata-se que na região com nevoeiro a tendência é no sentido de aumentar a diferença à medida que a BT10.8 aumenta (0.075), já para a área sem nevoeiro o declive é o oposto com um valor de -0.009. Pelo teste de tendência de Mann-Kendall verifica-se que em ambas as séries a tendência é estatisticamente significativa a um nível de confiança de 95%.

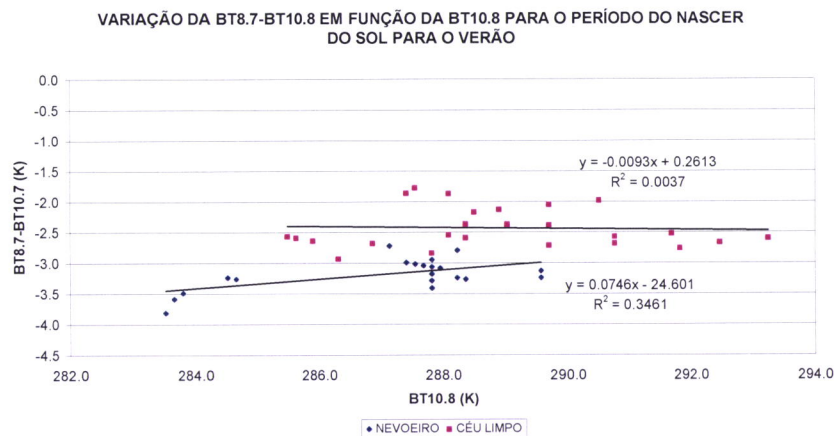


Figura 3.25: Variação da BT8.7-BT10.8 em função da BT10.8, no Verão, para o período do nascer do Sol, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo.

A série da BT8.7-BT10.8 para a área com nevoeiro apresenta um valor médio de -3.2 K, com um d.p. de 0.23 K. A série da diferença para a região com céu limpo apresenta um valor médio de -2.4 K, com um d.p. de 0.33 K. Relativamente à série da BT10.8 na região com nevoeiro o valor médio é 287.1 K, com um d.p. de 1.85 K, a mesma série para a área sem nevoeiro apresenta um valor médio de 288.9 K, com um d.p. de 2.13 K.

A análise das séries obtidas para o método BT8.7-BT10.8 para o período do dia, evidenciam que estas apresentam tendências opostas, assim, enquanto a série da região sem nevoeiro apresenta uma tendência no sentido da diferença diminuir à medida que a BT10.8 aumenta (-0.053), já na região com nevoeiro o declive tem sinal oposto apresentando um valor de 0.079. Quando se aplica o teste de tendência de Mann-Kendall verifica-se que em ambas as séries a tendência é estatisticamente significativa com um nível de confiança de 95%. A série da diferença (BT8.7-BT10.8) para a área com nevoeiro apresenta um valor

médio de -3.3 K, com um desvio padrão de 0.29 K. A série da diferença para a região com céu limpo apresenta um valor médio de -2.6 K, com um d.p. de 0.36 K. Quanto à série da BT10.8 para a região com nevoeiro, o seu valor médio é 287.7K, com um d.p. de 1.63 K, a mesma série para a região com céu limpo apresenta um valor médio de 292.0 K, com um d.p. de 4.73 K.

Para este método no Verão é possível construir uma máscara de nuvens e nevoeiro, pois a análise dos resultados dos parágrafos anteriores permite concluir que há uma homogeneidade nos valores para todos os períodos (Tabela 3.8).

3.2.5 ANÁLISE SAZONAL - OUTONO

Tal como para as restantes estações do ano, a análise para o Outono é dividida em quatro períodos, no entanto para o método BT3.9-BT10.8, a análise conjunta de todos os períodos, e o período do nascer do Sol, não é efectuada pelas razões invocadas na secção 3.2.3.1. O Outono constitui um problema complexo, sendo provavelmente a estação do ano mais heterogénea, isto porque durante o período correspondente a esta estação (Setembro, Outubro, e Novembro), a temperatura apresenta variações bastante significativas. Devido a este facto, esta foi a estação do ano em que se encontraram mais dificuldades.

3.2.5.1 MÉTODO BT3.9-BT10.8

Analisando o gráfico da BT3.9-BT10.8 em função da BT10.8 (Figura 3.26), para o período da noite, constata-se que há uma tendência linear tanto na série da região com nevoeiro, como da região com céu limpo para estas diminuírem à medida que a BT10.8 aumenta. O declive da recta que representa a série com nevoeiro é de -0.133, e para a série sem nevoeiro é de -0.066. Tal como nas análises anteriores, a diferença (BT3.9-BT10.8) na região sem nevoeiro é maior do que na região com nevoeiro. Ao fazer-se o teste de tendência de Mann-Kendall, para as duas séries, verifica-se que a tendência é estatisticamente significativa para ambas as séries, para um grau de confiança de 95%, logo existe tendência para uma diminuição da diferença à medida que a BT10.8 aumenta.

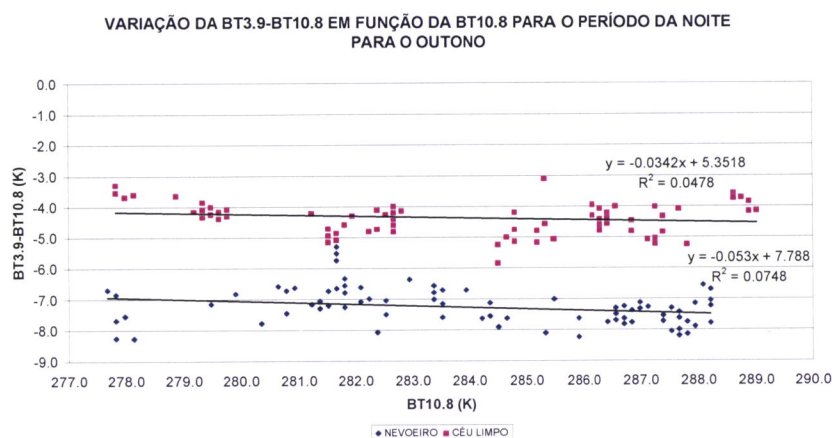


Figura 3.26:Variação da BT3.9-BT10.8 em função da BT10.8, no Outono, para o período da noite, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo.

A série da diferença para a área com nevoeiro apresenta um valor médio de -7.0 K, com um d.p. de 0.84 K. A série da BT3.9-BT10.8 para a área com céu limpo apresenta um valor médio de -4.2 K, com um d.p. de 0.58 K. Relativamente à série da BT10.8 na região com nevoeiro o valor médio é 282.9 K, com um d.p. de 4.03 K, a mesma série para a região sem nevoeiro apresenta um valor médio de 282.7 K, com um d.p. de 3.95 K.

Ao analisarem-se as séries obtidas para o método BT3.9-BT10.8 para o período do dia (Figura 3.27), constata-se que as diferenças para a região com céu limpo aumentam à medida que a BT10.8 aumenta (0.142). Relativamente à série da região com nevoeiro os valores são muito dispersos, no entanto a série apresenta uma tendência no sentido da diferença diminuir à medida que a BT10.8 aumenta (-1.011), é ainda de referir que os três valores que aparecem isolados no gráfico da Figura 3.27 correspondem a um dia de Setembro, enquanto os restantes pertencem ao mês de Novembro, por aqui é perceptível a grande dispersão de valores, e os problemas a eles associados. O teste de tendência de Mann-Kendall, aplicado às duas séries, mostra que a tendência é estatisticamente significativa em ambas as séries, para um grau de confiança de 95%.

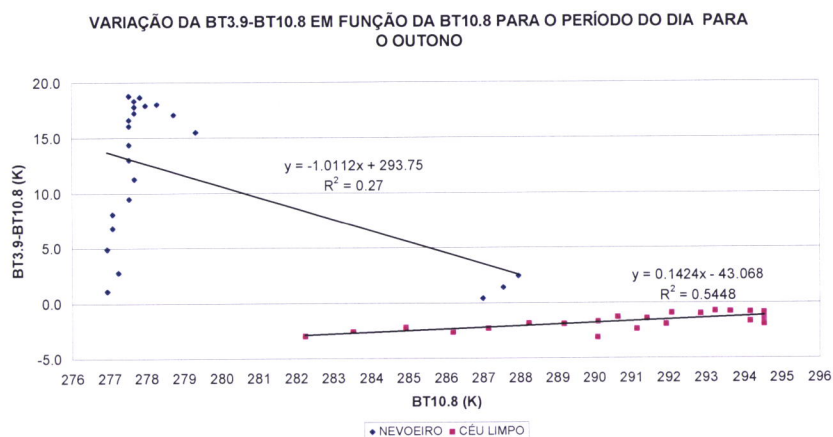


Figura 3.27: Variação da BT3.9-BT10.8 em função da BT10.8, no Outono, para o período do dia, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo.

A série da diferença na região com nevoeiro apresenta um valor médio de 10.5 K, com um d.p. de 6.47 K, o que prova a grande dispersão de valores. A série da diferença para a região com céu limpo apresenta um valor médio de -1.6 K, com um d.p. de 0.70 K. Relativamente à série da BT10.8 na região com nevoeiro o valor médio é 278.5K, com um d.p. de 3.18 K, a mesma série para a região sem nevoeiro apresenta um valor médio de 288.8 K, com um d.p. de 4.99 K.

Tal como para a Primavera, existe alguma heterogeneidade nos valores da BT10.8, a qual se deve a estarmos perante um período de transição entre o Verão e o Inverno, no entanto tal heterogeneidade não se verifica nas séries da diferença, logo a construção de um algoritmo para a máscara de nuvens e nevoeiro é possível recorrendo a simples intervalos nas séries da diferença e da BT10.8 (Tabelas 3.10 e 3.12).

3.2.5.2 MÉTODO BT8.7-BT10.8

A análise das séries da BT8.7-BT10.8 em função da BT10.8 para todos os períodos em conjunto permite concluir que existe uma tendência para as séries da região com e sem nevoeiro diminuírem à medida que a BT10.8 aumenta. O declive para a série da região com nevoeiro é de -0.095, e para a série da região com céu limpo é de -0.071. Ao aplicar-se o teste de tendência de Mann-Kendall, às duas séries, conclui-se que a tendência é estatisticamente significativa em ambas as séries, para um grau de confiança de 95%, logo existe tendência para uma diminuição da diferença à medida que a BT10.8 aumenta. A série da BT8.7-BT10.8 para a região com nevoeiro apresenta um valor médio de -2.9 K, com um d.p. de 0.50 K. A série da diferença para a área sem nevoeiro apresenta um valor médio de -2.1 K, com um d.p. de 0.50 K. Relativamente à série da BT10.8 na região com nevoeiro o valor médio é 282.2 K, com um d.p. de 4.49 K, a mesma série para a região com céu limpo apresenta um valor médio de 284.1 K, com um d.p. de 4.82 K.

A análise às séries obtidas para o método BT8.7-BT10.8 para o período da noite, permite perceber que existe uma clara tendência, no sentido da diminuição da diferença à medida que a BT10.8 aumenta. O declive da recta representativa das séries é da ordem dos -0.062 para a série da região com nevoeiro, e de -0.102 para a série da região com céu limpo. A aplicação do teste de tendência de Mann-Kendall às séries permite concluir que a tendência é estatisticamente significativa em ambas as séries, para um grau de confiança de 95%. A série da diferença para a área com nevoeiro apresenta um valor médio de -3.0 K, com um desvio padrão de 0.47 K. A série da diferença para a área sem nevoeiro apresenta um valor médio de -2.1 K, com um d.p. de 0.52 K. Quanto à série da BT10.8 na região com nevoeiro o valor médio é 282.9K, com um d.p. de 4.05 K, a mesma série para a região sem nevoeiro apresenta um valor médio de 282.7 K, com um d.p. de 3.97 K.

Ao analisarem-se as séries obtidas para o método BT8.7-BT10.8 para o período do nascer do Sol, verifica-se que existe uma clara tendência, no sentido da diminuição da diferença à medida que a BT10.8 aumenta (Figura 3.28). No caso da série da região com nevoeiro o declive da recta é de -0.064, para a área com céu limpo é de -0.107. Aplicando o teste de tendência de Mann-Kendall às séries conclui-se que a tendência é estatisticamente significativa em ambas as séries, para um grau de confiança de 95%, logo existe tendência para uma diminuição da diferença há medida que a BT10.8 aumenta. A série da diferença para a região com nevoeiro apresenta um valor médio de -2.9 K, com um d.p. de 0.56 K. A série da diferença na região com céu limpo apresenta um valor médio de -2.0 K, com um d.p. de 0.57 K. Relativamente à série da BT10.8 na região com nevoeiro o valor médio é 282.8 K, com um d.p. de 5.30 K, a mesma série para a região sem nevoeiro apresenta um valor médio de 283.9 K, com um d.p. de 4.56 K.

A análise ao período do dia, permite constatar (gráfico da Figura 3.29), que as séries da BT8.7-BT10.8 apresentam uma tendência clara, no sentido da diminuição da diferença à medida que a BT10.8 aumenta. Para a série da região com nevoeiro o declive é de -0.073, enquanto para a área com céu limpo é de -0.058. A aplicação do teste de tendência permite concluir que as tendências são estatisticamente significativas em ambas as séries, para um grau de confiança de 95%. A série da BT8.7-BT10.8 para a região com nevoeiro apresenta um valor médio de -2.9 K, com um d.p. de 0.42 K. A série da diferença para a área sem nevoeiro apresenta um valor médio de -2.2 K, com um d.p. de 0.45 K. No que diz respeito à série da

BT10.8 para a região com nevoeiro o valor médio é 282.1 K, com um d.p. de 4.76 K, a mesma série para a região com céu limpo apresenta um valor médio de 287.5 K, com um d.p. de 4.78 K.

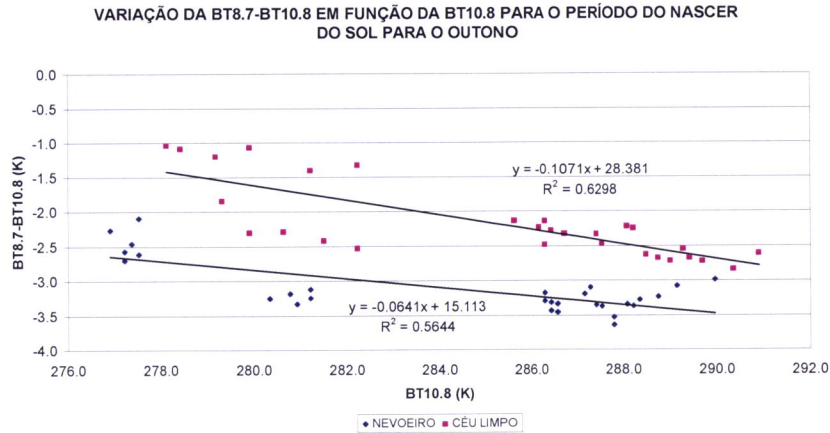


Figura 3.28: Variação da BT8.7-BT10.8 em função da BT10.8, no Outono, para o período do nascer do Sol, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo.

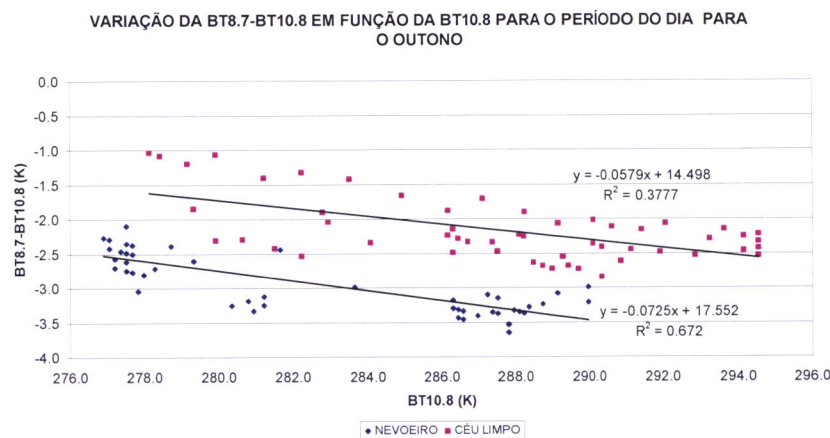


Figura 3.29: Variação da BT8.7-BT10.8 em função da BT10.8, no Outono, para o período do dia, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo.

Os resultados apresentados nos parágrafos anteriores para o Outono são extremamente heterogêneos, o que torna a construção de uma máscara de nuvens e nevoeiros numa tarefa difícil. Para se conseguir obter um algoritmo eficiente terá que se recorrer a um compromisso entre as rectas das séries das regiões com e sem nevoeiro, e a BT10.8 (Tabela 3.11).

3.2.6 ANÁLISE SAZONAL - INVERNO

A análise ao Inverno, tal como para as demais estações do ano, também se encontra subdividida em quatro períodos, no entanto para o método BT3.9-BT10.8 a análise para todos os períodos em simultâneo e para o período do nascer do Sol não é efectuada pelas razões

invocadas na secção 3.2.3.1. O Inverno é a estação do ano mais propícia à formação e duração de nevoeiros, como tal esta foi a estação que possibilitou o tratamento de mais informação (Tabela 3.1).

3.2.6.1 MÉTODO BT3.9-BT10.8

Pela análise do gráfico da BT3.9-BT10.8 em função da BT10.8 (Figura 3.30), para o período da noite, constata-se que existe uma ligeira tendência para as séries da região com e sem nevoeiro diminuírem à medida que a BT10.8 aumenta. O declive da recta ajustada para a série com nevoeiro é de -0.091, e para a série sem nevoeiro é de -0.052. Existe sempre uma diferença clara entre a região com nevoeiro e com céu limpo, isto porque a diferença na região com nevoeiro é sempre menor do que na região com céu limpo. O teste de tendência de Mann-Kendall, para as duas séries, prova que a tendência não é estatisticamente significativa em ambas as séries, para um grau de confiança de 95%, logo não existe tendência para uma diminuição da diferença em função da BT10.8. A série da diferença para a área com nevoeiro apresenta um valor médio de -6.7 K, com um d.p. de 0.83 K. A série da BT3.9-BT10.8 para a área sem nevoeiro apresenta um valor médio de -4.0 K, com um d.p. de 0.43 K. Relativamente à série da BT10.8 na região com nevoeiro o valor médio é 277.5K, com um d.p. de 2.31K, a mesma série para a região com céu limpo apresenta um valor médio de 275.9 K, com um d.p. de 3.00 K.

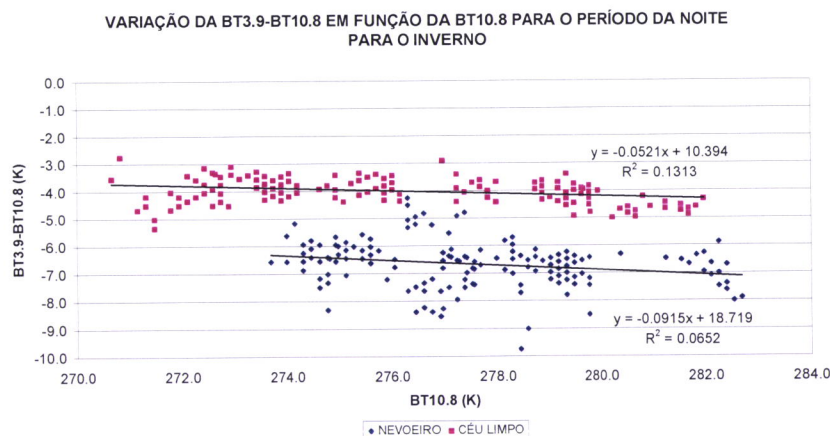


Figura 3.30: Variação da BT3.9-BT10.8 em função da BT10.8, no Inverno, para o período da noite, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo.

A análise das séries obtidas para o método BT3.9-BT10.8 para o período diurno (Figura 3.31), permite verificar que as diferenças para a área com céu limpo aumentam à medida que a BT10.8 aumenta (0.106). Relativamente à série da região com nevoeiro os valores são muito dispersos, no entanto o declive é no sentido da diferença diminuir à medida que a BT10.8 aumenta (-0.941). Para este período também existe sempre uma diferença clara entre a região com nevoeiro e a região com céu limpo, no entanto e ao contrário do que se passa no período da noite, para o período do dia a diferença na região com nevoeiro é sempre superior à da área com céu limpo. A aplicação do teste de tendência de Mann-Kendall, para as duas séries, prova que a tendência é estatisticamente significativa em ambas as séries, para um grau de confiança de 90%, logo existe tendência para um aumento/diminuição da diferença em função da BT10.8. A série da BT3.9-BT10.8 para a região com nevoeiro apresenta um valor médio de 9.2 K, com um d.p. de 5.58 K, o que prova a grande dispersão de valores. A série da diferença

para a região sem nevoeiro apresenta um valor médio de -1.9 K, com um d.p. de 0.96 K. Quanto à série da BT10.8 na região com nevoeiro o valor médio é 278.0 K, com um d.p. de 1.82 K, a mesma série para a região com céu limpo apresenta um valor médio de 285.6 K, com um d.p. de 4.18 K.

A análise dos parágrafos anteriores permite concluir que para o Inverno é possível construir uma máscara de nuvens e nevoeiros utilizando este método, isto porque, de uma forma geral existe uma grande homogeneidade nos valores, tanto para o período noturno como para o período diurno (Tabelas 3.13 e 3.15).

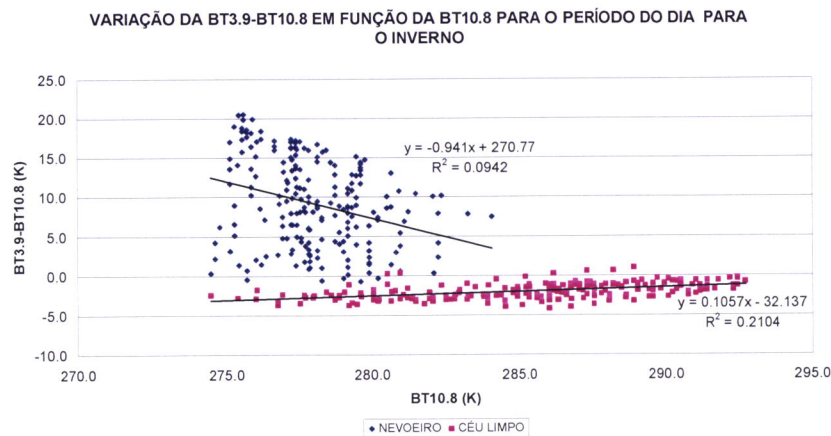


Figura 3.31: Variação da BT3.9-BT10.8 em função da BT10.8, no Inverno, para o período do dia, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo.

3.2.6.2 MÉTODO BT8.7-BT10.8

Ao analisar-se o gráfico da BT8.7-BT10.8 em função da BT10.8 (Figura 3.32), para todos os períodos em simultâneo, verifica-se que há uma ligeira tendência para as séries da região com nevoeiro e com céu limpo diminuírem à medida que a BT10.8 aumenta. O declive da recta ajustada para a série com nevoeiro é de -0.020, e para a série da área sem nevoeiro é de -0.068. Ao aplicar-se o teste de tendência de Mann-Kendall, para as duas séries, constata-se que a tendência não é estatisticamente significativa em ambas as séries, para um grau de confiança de 95%, logo não existe tendência para uma diminuição da diferença em função da BT10.8. A série da diferença (BT8.7-BT10.8) para a área com nevoeiro apresenta um valor médio de -2.8 K, com um d.p. de 0.32 K. A série da diferença para a região com céu limpo apresenta um valor médio de -1.9 K, com um d.p. de 0.49 K. Quanto à série da BT10.8 na região com nevoeiro o valor médio é 277.7 K, com um d.p. de 2.05K, a mesma série para a região sem nevoeiro apresenta um valor médio de 280.1 K, com um d.p. de 5.93 K.

A análise das séries obtidas pelo método BT8.7-BT10.8 para o período da noite, permitem concluir que estas apresentam uma ligeira tendência, no sentido da diferença diminuir à medida que a BT10.8 aumenta. Para a região com nevoeiro o declive da recta ajustada é da ordem dos -0.023, enquanto que para a região com céu limpo é de -0.038. A aplicação do teste de tendência de Mann-Kendall às respectivas séries permite concluir que estas são estatisticamente significativas, para um grau de confiança de 95%, logo existe tendência para uma diminuição da diferença em função da BT10.8. A série da diferença para a região com nevoeiro apresenta um valor médio de -2.7 K, com um desvio padrão de 0.27 K, a

mesma série para a área com céu limpo apresenta um valor médio de -1.6 K, com um d.p. de 0.30 K. Relativamente à série da BT10.8 na região com nevoeiro o valor médio é 277.6 K, com um d.p. de 2.31 K, a mesma série para a região sem nevoeiro apresenta um valor médio de 275.9 K, com um d.p. de 3.00 K.

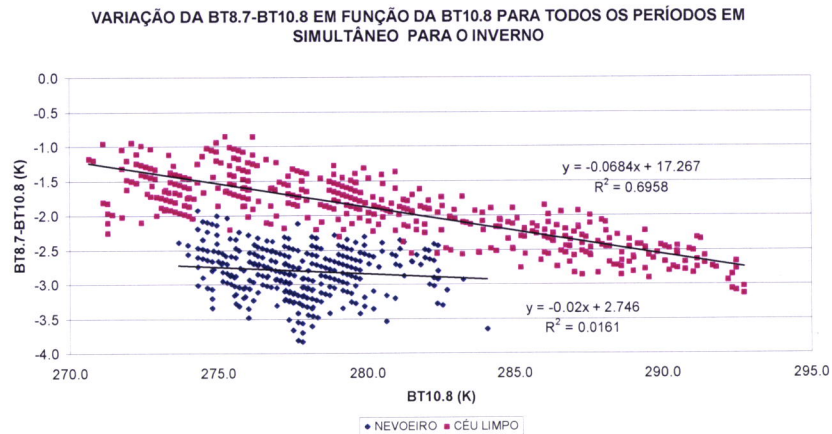


Figura 3.32:Variação da BT8.7-BT10.8 em função da BT10.8, no Inverno, para todos os períodos em simultâneo, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo.

A análise do gráfico das séries da BT8.7-BT10.8 em função da BT10.8 (Figura 3.33), para o período do nascer do Sol, permite concluir que estas séries apresentam uma ligeira tendência no sentido da diminuição da diferença à medida que a BT10.8 aumenta. Para a região com nevoeiro o declive da recta ajustada é de -0.021, e de -0.041 para a área com céu limpo. Aplicando o teste de tendência de Mann-Kendall às respectivas séries conclui-se que estas não são estatisticamente significativas, para um grau de confiança de 95%, logo não existe tendência para uma diminuição da diferença em função da BT10.8. A série da diferença para a área com nevoeiro apresenta um valor médio de -2.8 K, com um desvio padrão de 0.36 K, a mesma série para a região com céu limpo apresenta um valor médio de -1.7 K, com um d.p. de 0.31 K. Relativamente à série da BT10.8 na região com nevoeiro o valor médio é 277.6 K, com um d.p. de 2.01 K, a mesma série para a área sem nevoeiro apresenta um valor médio de 276.7 K, com um d.p. de 3.37 K.

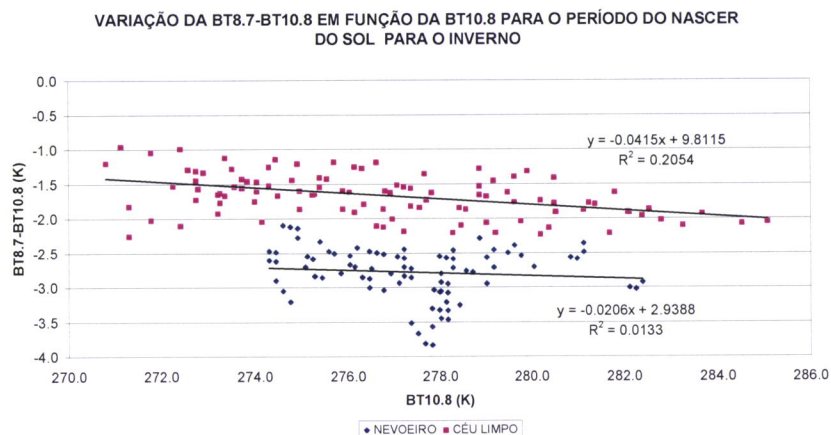


Figura 3.33:Variação da BT8.7-BT10.8 em função da BT10.8, no Inverno, para o período do nascer do Sol, para duas regiões no Sul de Portugal: uma com nevoeiro, outra com céu limpo.

Ao analisarem-se as séries obtidas para o método BT8.7-BT10.8 para o período do dia, constata-se que tanto a série da região com nevoeiro, como a da região com céu limpo apresentam uma ligeira tendência, no sentido da diminuição da diferença à medida que a BT10.8 aumenta. O declive da recta ajustada é de -0.025 no caso da área com nevoeiro, e de -0.068 na região com céu limpo. Para confirmar se as tendências são estatisticamente significativas aplicou-se o teste de tendência de Mann-Kendall às respectivas séries, concluindo-se que somente a série da região com nevoeiro é estatisticamente significativa para um grau de confiança de 95%, logo só na região com nevoeiro é que existe tendência para uma diminuição da diferença em função da BT10.8. A série da diferença para a região com nevoeiro apresenta um valor médio de -2.9 K, com um d.p. de 0.36 K. A série da diferença para área sem nevoeiro apresenta um valor médio de -2.1 K, com um d.p. de 0.47 K. Quanto à série da BT10.8 na área com nevoeiro o valor médio é 277.8 K, com um d.p. de 1.87K, a mesma série para a região com céu limpo apresenta um valor médio de 282.6 K, com um d.p. de 5.73 K.

Pode-se concluir pela análise dos parágrafos anteriores que para o Inverno é possível construir uma máscara de nuvens e nevoeiros utilizando este método (Tabela 3.14), isto porque, existe uma grande homogeneidade nos valores das séries para todos os períodos analisados.

3.2.7 MÁSCARA DE NUVENS E NEVOEIRO

Depois de se analisarem os resultados obtidos numa base diária, anual, e sazonal, para os dois métodos em estudo (BT3.9-BT10.8 e BT8.7-BT10.8), e para os quatro períodos seleccionados: noite, nascer do Sol, dia, e os três períodos em conjunto, concluiu-se que a melhor solução para a detecção de nevoeiros seria empregar o método BT3.9-BT10.8 para o período nocturno e diurno, pois com este método as diferenças entre uma região com nevoeiro e com céu limpo são maiores, minimizando o erro; já para o período do nascer do Sol não é possível aplicar este método, pois corresponde ao período em que as séries da BT3.9-BT10.8, passam de valores negativos para positivos (secção 3.2.1.1), logo para este período aplica-se o método BT8.7-BT10.8 para a detecção de nevoeiros. O método BT8.7-BT10.8, poderá ser empregue em qualquer período, no entanto como as diferenças entre uma região com e sem nevoeiro são menores relativamente ao método alternativo, só se optou por empregar este método para o período do nascer do Sol.

Tal como demonstrado na análise apresentada nas secções anteriores, a máscara de nuvens e nevoeiro obtida é diferente conforme a estação do ano em estudo, isto porque se constatou existirem diferenças significativas de estação para estação nas diversas séries em estudo (BT3.9-BT10.8, BT8.7-BT10.8 e BT10.8).

Para além de se detectarem regiões com nevoeiro ou estratos baixos, e céu limpo, o método desenvolvido no presente trabalho permite também detectar regiões com nuvens médias e baixas, e nuvens altas, entre as quais rastos de condensação. Para a detecção deste tipo de nebulosidade utilizaram-se valores padrão referenciados por vários autores (Strabala et al., 1994; , Ackerman et al., 1998; Baum, 2000). A detecção deste tipo de nebulosidade é feita empregando sempre as séries da BT8.7-BT10.8, e da BT10.8 em simultâneo (Tabelas 3.4 a 3.15).

3.2.7.1 INTERVALOS DA MÁSCARA

A partir da análise dos resultados obtidos para as quatro estações do ano, foi possível determinar os valores de referência para a detecção remota de nevoeiros, para as diferentes estações do ano, e para os diversos períodos do dia. Esses valores correspondem a intervalos fixos, ou intervalos obtidos através de rectas de equações lineares decorrentes da análise descrita entre as secções 3.2.3 e 3.2.6. As tabelas seguintes mostram estes valores, assim como os limites estabelecidos para a detecção remota de nuvens altas e de nuvens médias/baixas.

<i>PRIMAVERA</i> (Período da noite)				
TIPO DE NUVEM	BT8.7-BT10.8 (K)	BT3.9-BT10.8 (K)	Operador Lógico (∨ / ∧)	BT10.8 (K)
Nuvens altas	$\geq -0.5 K$	—	∨ (OU)	$<250 K$
Nuvens média/baixas	$<-0.5 K$	—	∧ (E)	[250K;270K]
Nevoeiro\estratos baixos	—	[-8.5K;-5.5K]	∧ (E)	[273K;285K]
Céu Limpo	Restante espectro de valores			

Tabela 3.4: Intervalos para a máscara de nevoeiro e nuvens, para a Primavera, para o período nocturno.

<i>PRIMAVERA</i> (Período do nascer do Sol)				
TIPO DE NUVEM	BT8.7-BT10.8 (K)	BT3.9-BT10.8 (K)	Operador Lógico (∨ / ∧)	BT10.8 (K)
Nuvens altas	$\geq -0.5 K$	—	∨ (OU)	$<250 K$
Nuvens média/baixas	$<-0.5 K$	—	∧ (E)	[250K;270K]
Nevoeiro\estratos baixos	$\leq -0.0386 * BT11 + 7.7696 + 2 * 0.26$	—	∧ (E)	[273K;283K]
Céu Limpo	Restante espectro de valores			

Tabela 3.5: Intervalos para a máscara de nevoeiro e nuvens, para a Primavera, para o período do nascer do Sol.

<i>PRIMAVERA</i> (Período do dia)				
TIPO DE NUVEM	BT8.7-BT10.8 (K)	BT3.9-BT10.8 (K)	Operador Lógico (∨ / ∧)	BT10.8 (K)
Nuvens altas	$\geq -0.5 K$	—	∨ (OU)	$<250 K$
Nuvens média/baixas	$<-0.5 K$	—	∧ (E)	[250K;270K]
Nevoeiro\estratos baixos	—	[-0.5K;20K]	∧ (E)	[273K;285K]
Céu Limpo	Restante espectro de valores			

Tabela 3.6: Intervalos para a máscara de nevoeiro e nuvens, para a Primavera, para o período do dia.

VERÃO (Período da noite)				
TIPO DE NUVEM	BT8.7-BT10.8 (K)	BT3.9-BT10.8 (K)	Operador Lógico (∨ / ∧)	BT10.8 (K)
Nuvens altas	≥ -0.5 K	—	∨ (OU)	<250 K
Nuvens média\baixas	<-0.5 K	—	∧ (E)	[250K;270K]
Nevoeiro\estratos baixos	—	[-9K;-6K]	∧ (E)	[283K;290K]
Céu Limpo	Restante espectro de valores			

Tabela 3.7:Intervalos para a máscara de nevoeiro e nuvens, para o Verão, para o período noturno.

VERÃO (Período do nascer do Sol)				
TIPO DE NUVEM	BT8.7-BT10.8 (K)	BT3.9-BT10.8 (K)	Operador Lógico (∨ / ∧)	BT10.8 (K)
Nuvens altas	≥ -0.5 K	—	∨ (OU)	<250 K
Nuvens média\baixas	<-0.5 K	—	∧ (E)	[250K;270K]
Nevoeiro\estratos baixos	[-4K;-2.8K]	—	∧ (E)	[283K;291K]
Céu Limpo	Restante espectro de valores			

Tabela 3.8:Intervalos para a máscara de nevoeiro e nuvens, para o Verão, para o período do nascer do Sol.

VERÃO (Período do dia)				
TIPO DE NUVEM	BT8.7-BT10.8 (K)	BT3.9-BT10.8 (K)	Operador Lógico (∨ / ∧)	BT10.8 (K)
Nuvens altas	≥ -0.5 K	—	∨ (OU)	<250 K
Nuvens média\baixas	<-0.5 K	—	∧ (E)	[250K;270K]
Nevoeiro\estratos baixos	—	[-0.5K;20K]	∧ (E)	[283K;292K]
Céu Limpo	Restante espectro de valores			

Tabela 3.9:Intervalos para a máscara de nevoeiro e nuvens, para o Verão, para o período do dia.

OUTONO (Período da noite)				
TIPO DE NUVEM	BT8.7-BT10.8 (K)	BT3.9-BT10.8 (K)	Operador Lógico (∨ / ∧)	BT10.8 (K)
Nuvens altas	≥ -0.5 K	—	∨ (OU)	<250 K
Nuvens média\baixas	<-0.5 K	—	∧ (E)	[250K;270K]
Nevoeiro\estratos baixos	—	[-9K;-5.25K]	∧ (E)	[273K;290K]
Céu Limpo	Restante espectro de valores			

Tabela 3.10:Intervalos para a máscara de nevoeiro e nuvens, para o Outono, para o período noturno.

OUTONO (Período do nascer do Sol)				
TIPO DE NUVEM	BT8.7-BT10.8 (K)	BT3.9-BT10.8 (K)	Operador Lógico (∨ / ∧)	BT10.8 (K)
Nuvens altas	≥ -0.5 K	—	∨ (OU)	<250 K
Nuvens média\baixas	<-0.5 K	—	∧ (E)	[250K;270K]
Nevoeiro\estratos baixos	$\leq -0.0641 * BT11 + 15.113 + 2 * 0.2$	—	∧ (E)	[273K;290K]
Céu Limpo	Restante espectro de valores			

Tabela 3.11: Intervalos para a máscara de nevoeiro e nuvens, para o Outono, para o período do nascer do Sol.

OUTONO (Período do dia)				
TIPO DE NUVEM	BT8.7-BT10.8 (K)	BT3.9-BT10.8 (K)	Operador Lógico (∨ / ∧)	BT10.8 (K)
Nuvens altas	≥ -0.5 K	—	∨ (OU)	<250 K
Nuvens média\baixas	<-0.5 K	—	∧ (E)	[250K;270K]
Nevoeiro\estratos baixos	—	[-0.5K;20K]	∧ (E)	[273K;290K]
Céu Limpo	Restante espectro de valores			

Tabela 3.12: Intervalos para a máscara de nevoeiro e nuvens, para o Outono, para o período do dia.

INVERNO (Período da noite)				
TIPO DE NUVEM	BT8.7-BT10.8 (K)	BT3.9-BT10.8 (K)	Operador Lógico (∨ / ∧)	BT10.8 (K)
Nuvens altas	≥ -0.5 K	—	∨ (OU)	<250 K
Nuvens média\baixas	<-0.5 K	—	∧ (E)	[250K;269K]
Nevoeiro\estratos baixos	—	[-9.5K;-5K]	∧ (E)	[273K;283K]
Céu Limpo	Restante espectro de valores			

Tabela 3.13: Intervalos para a máscara de nevoeiro e nuvens, para o Inverno, para o período noturno.

INVERNO (Período do nascer do Sol)				
TIPO DE NUVEM	BT8.7-BT10.8 (K)	BT3.9-BT10.8 (K)	Operador Lógico (∨ / ∧)	BT10.8 (K)
Nuvens altas	≥ -0.5 K	—	∨ (OU)	<250 K
Nuvens média\baixas	<-0.5 K	—	∧ (E)	[250K;269K]
Nevoeiro\estratos baixos	[-4K;-2.3K]	—	∧ (E)	[273K;283K]
Céu Limpo	Restante espectro de valores			

Tabela 3.14: Intervalos para a máscara de nevoeiro e nuvens, para o Inverno, para o período do nascer do Sol.

<i>INVERNO</i> (Período do dia)				
TIPO DE NUVEM	BT8.7-BT10.8 (K)	BT3.9-BT10.8 (K)	Operador Lógico (∨ / ∧)	BT10.8 (K)
Nuvens altas	≥ -0.5 K	—	∨ (OU)	<250 K
Nuvens média/baixas	<-0.5 K	—	∧ (E)	[250K;269K]
Nevoeiro\estratos baixos	—	[-0.5K;20K]	∧ (E)	[273K;285K]
Céu Limpo	Restantes espectro de valores			

Tabela 3.15:Intervalos para a máscara de nevoeiro e nuvens, para o Inverno, para o período do dia.

A análise das tabelas anteriores, permite verificar que o resultado das máscaras de nuvens e nevoeiros obtidas depende de um compromisso entre as séries obtidas pelos dois métodos, e as séries da BT10.8. Para o caso do céu limpo considera-se que tal situação ocorre quando nenhuma das condições anteriores se verificar.

A sobreposição de valores entre as séries da BT8.7-BT10.8, em regiões com nevoeiro e com céu limpo, na Primavera e no Outono, para o período do nascer do Sol levou à utilização de equações lineares. Deve-se ter em atenção que a recta obtida para a Primavera não é estatisticamente significativa de acordo com o teste de tendência de Mann-Kendall, no entanto esta opção minimizava o erro pelo que foi seleccionada.

No capítulo seguinte são apresentados os resultados obtidos com o método desenvolvido para a detecção remota de nevoeiro e nuvens no Sul de Portugal, assim como a sua comparação com observações da ocorrência de nevoeiro, obtidas independentemente do presente método.

4. RESULTADOS

4.1 RESULTADOS DA MÁSCARA DE NUVENS E NEVOEIRO

Em seguida é apresentado o resultado da aplicação da máscara de nuvens e nevoeiro aos diferentes períodos de cada dia, para vários dias do ano. Os dias em que foi aplicada a máscara encontram-se distribuídos desde a Primavera até ao Inverno dos anos 2004, 2005 e 2006 (Tabela 4.1), é ainda de referir que estes dias não se encontram entre os que foram utilizados para estabelecer a metodologia (Tabela 3.1). Neste relatório apenas serão apresentados os resultados de um dia por cada estação do ano. Para cada dia é apresentada uma imagem do canal IV10.8 e da máscara, para o caso do período da noite e nascer do Sol, e do VIS0.6, IV10.8 e da máscara, para o caso do período diurno. Desta forma é possível comparar as vantagens da utilização da análise multi-espectral em detrimento da análise espectral simples, para a detecção de nuvens, e em particular de nevoeiros. A estação meteorológica da Base Aérea N° 11 (Beja), serviu como controle de qualidade da máscara de nuvens e nevoeiro, na medida em que se dispunha da hora de início e fim do nevoeiro nesta estação, no entanto, no período anterior a 2006, as observações tinham início apenas às 6:00 UTC, posteriormente passaram a efectuar-se observações durante 24 horas, como tal em muitos dos dias em que foi registado nevoeiro antes de 2006 não se dispõe da hora de início do fenómeno.

INVERNO		PRIMAVERA		VERÃO		OUTONO	
DIA	HORA (n° imagens)	DIA	HORA (n° imagens)	DIA	HORA (n° imagens)	DIA	HORA (n° imagens)
28-12-2005	-/09:15 (36)	28-03-2006	04:40/08:35 (36)	10-08-2004	-/07:00 (19)	10-09-2005	-/07:30 (24)
21-01-2006	06:40/11:55 (36)	15-04-2006	01:45/09:30 (40)	11-08-2004	-/06:00 (24)	23-10-2005	-/11:30 (40)
22-01-2006	06:35/12:20 (40)	28-04-2006	03:40/08:35 (32)	11-06-2005	-/06:30 (28)	04-11-2005	-/09:00 (28)
13-02-2006	02:30/11:40 (52)	12-05-2006	05:00/08:20 (24)	14-06-2005	-/07:10 (32)	16-11-2005	-/11:02 (44)

Tabela 4.1: Dias em que a máscara de nuvens e nevoeiro foi aplicada, hora (UTC) do início e fim do nevoeiro em Beja, e n° de imagens MSG-SEVIRI utilizadas em cada dia para as quatro estações do ano.

Na Figura 4.1 apresentam-se as imagens SEVIRI dos canais espectrais IV10.8 para todos os períodos do dia, do VIS0.6 somente para o período diurno, e da máscara de nuvens também para todos os períodos do dia, para o dia 15-04-2006 representativo de um dia de Primavera. As imagens do período da noite foram obtidas à 01:57 UTC, as do período do nascer do Sol às 05:57 UTC, e finalmente as do período diurno às 10:12 UTC, de referir que neste dia o Sol nasceu às 05:50 UTC. O asterisco (*) na máscara representa a localização de Beja onde foi registado nevoeiro nesse dia.

Comparando as imagens verifica-se que a máscara de nuvens e nevoeiro obtém bons resultados, detectando tanto o nevoeiro, como nuvens médias e altas, as quais são bastante perceptíveis no canal IV10.8. Como já foi referido anteriormente a máscara desenvolvida só detecta nuvens sobre terra e não sobre o mar. Deve ter-se em atenção que para o período do nascer do Sol a área com nevoeiro parece ser maior do que para os restantes períodos, tal

deve-se à utilização do método BT8.7-BT10.8 para este período, contrariamente aos outros dois períodos em que se utiliza o método BT3.9-BT10.8, o qual é mais eficiente a detectar nevoeiros, esperando-se por isso que no período da noite e do dia os erros sejam menores.

Em Beja foi registado nevoeiro desde a 01:45 UTC até às 09:30 UTC. Na imagem da máscara de nuvens e nevoeiro para o período nocturno obtida à 01:57 UTC, já é detectado nevoeiro sobre a estação meteorológica da Base Aérea N°11 em Beja. Este continua a ser detectado no período do nascer do Sol (05:57 UTC), no entanto às 10:12 UTC (período diurno) já não é detectado nevoeiro sobre Beja, o que está de acordo com os registos da estação (Tabela 4.1). Verifica-se pela análise anterior que a detecção de nevoeiro para esta época do ano é eficiente. No período diurno, provavelmente algumas das regiões que são consideradas como nevoeiros na máscara, são na prática estratos baixos resultantes da elevação do nevoeiro. Segundo Bendix et al. (2004), distinguir entre estratos baixos e nevoeiros é o maior desafio da detecção remota nesta área, e com o algoritmo utilizado no presente trabalho tal não é possível. Outra evidência da análise destas imagens é que a extensão do nevoeiro diminui bastante à medida que o dia avança, situação esta já esperada devido ao aumento da temperatura do ar ao longo do dia.

Na Figura 4.2 encontram-se representadas as imagens dos canais do SEVIRI IV10.8 para todos os períodos do dia, do VIS0.6 para o período diurno, e da máscara de nuvens e nevoeiro também para todos os períodos do dia, para o dia 16-06-2005, ou seja, para um dia de Verão em termos climatológicos. As imagens do período da noite foram obtidas às 04:12 UTC, as do período do nascer do Sol às 05:57 UTC, e finalmente as do período do dia às 07:42 UTC, neste dia o nascer do Sol ocorreu às 05:22 UTC. O asterisco (*) na máscara representa a localização de Beja onde foi registado nevoeiro nesse dia de Verão.

Pela análise da Figura 4.2, observa-se que a existência de nevoeiro no período da noite e do nascer do Sol é imperceptível utilizando apenas o canal IV10.8, somente utilizando a máscara desenvolvida é possível detectar a existência de nevoeiro. Já para o período do dia o nevoeiro é perfeitamente detectado pela imagem do visível, conseguindo-se detectar este também, se bem que com alguma dificuldade, pela imagem do infravermelho, no entanto com a utilização da máscara a sua presença é confirmada. É ainda detectada com a máscara a presença de nebulosidade média e alta no Sotavento Algarvio, a qual é confirmada pelas imagens do infravermelho.

Em Beja, o nevoeiro foi registado até às 06:30 UTC, não se conhecendo a hora do início deste. Na imagem da máscara de nuvens e nevoeiro para o período nocturno obtida às 04:12 UTC, o nevoeiro já é detectado muito próximo da estação meteorológica, podendo até encontrar-se já sobre esta, mas tal não é possível confirmar devido à resolução da imagem, e devido à não existência de observações em Beja. Quando se analisa o período do nascer do Sol (05:57 UTC), é perfeitamente perceptível a presença de nevoeiro sobre Beja, esta presença por sua vez é confirmada pelos registos da estação meteorológica, que em 2005 começava a operar às 06:00 UTC. Quanto se analisa a imagem da máscara para o período diurno (07:42 UTC) é ainda perceptível a presença de nevoeiro, no entanto pelos registos da estação este já não se verifica, poderá concluir-se numa primeira análise que a máscara está a falhar, no entanto o que provavelmente ocorreu é que o nevoeiro se elevou transformando-se em estratos baixos, situação muito frequente nesta região para época do ano em questão, devido à entrada de ar marítimo no Continente. Pela análise anterior conclui-se que a detecção de nevoeiro para esta época do ano é eficiente, no entanto tal como para todas as outras estações do ano é preciso ter a noção que os nevoeiros e estratos baixos são extremamente

difíceis de distinguir. Outra conclusão que se pode retirar da análise das imagens da máscara para os três períodos do dia, é que a extensão temporal dos nevoeiros para esta época do ano é sempre inferior às restantes estações do ano, tal deve-se às elevadas temperaturas que se fazem sentir nesta época.

O Outono, como já foi referido anteriormente, foi o período mais complexo no que toca à construção de uma máscara de nuvens, tal deveu-se à grande heterogeneidade de temperaturas nos meses considerados. Como tal esta será porventura a estação do ano em que a máscara de nuvens apresentará mais erros.

Analisando a Figura 4.3, verifica-se que é muito difícil a detecção de nevoeiro no período da noite e do nascer do Sol, somente com a ajuda do canal IV10.8. Como tal a utilização da máscara é imprescindível para estes dois períodos do dia. Já durante o dia o canal do visível constitui uma preciosa ajuda, confirmando a presença de nevoeiro na região Sul de Portugal.

Tal como para o Verão, no Outono (10-09-2005) só se realizavam observações em Beja a partir das 06:00 UTC, como tal para este dia só se sabe a hora a que o nevoeiro se dissipou (07:30 UTC). Pela análise da imagem da máscara de nuvens e nevoeiro para período nocturno obtida às 04:57 UTC, verifica-se que a máscara detecta nevoeiro sobre Beja, no entanto este não pode ser confirmado devido à não existência de observações em Beja. Quando se analisa a imagem da máscara para o período do nascer do Sol (07h:27 UTC), é ainda perceptível a presença de nevoeiro sobre Beja, no entanto e segundo os registos da estação este está prestes a dissipar-se. Quanto se analisa a imagem da máscara para o período diurno (08:27 UTC) verifica-se que o nevoeiro já se dissipou, o que está de acordo com os dados da estação meteorológica da Base Aérea N°11. Pela análise anterior conclui-se que a detecção de nevoeiro para este dia de Outono foi eficiente.

Tal como para as outras estações do ano, também para o Inverno (Figura 4.4) a detecção de nevoeiro durante a noite e o nascer do Sol é extremamente difícil utilizando somente o canal do infravermelho. Apenas cerca de duas horas depois do Sol nascer é perceptível a presença de um extenso nevoeiro sobre o vale do rio Guadiana, através do canal do visível. Utilizando a máscara de nuvens e nevoeiro a detecção remota deste é possível durante todos os períodos. A extensão espacial do nevoeiro é confirmada durante o período do dia comparando a imagem da máscara com a do visível.

Neste dia de Inverno o nevoeiro em Beja teve início às 06:40 UTC e terminou às 11:55 UTC. A análise à imagem da máscara de nuvens e nevoeiro para o período nocturno obtida às 07:27 UTC, detecta nevoeiro sobre a estação meteorológica da Base Aérea N°11, para a imagem do período do nascer do Sol (08:57 UTC) a máscara parece não detectar nevoeiro sobre a estação, no entanto em redor de Beja este é detectado, deve-se ter em consideração que o erro é maior para este período do dia, pois o método utilizado é o BT8.7-BT10.8. No período diurno (10:12 UTC) a máscara detecta nevoeiro sobre Beja, confirmando os registos da estação. De uma forma geral a detecção de nevoeiros pela máscara de nuvens e nevoeiro nesta época do ano é eficiente. Outra conclusão que se retira da análise para o Inverno, é que esta é a época do ano em que os nevoeiros apresentam uma extensão maior quer em termos temporais quer espaciais, o que é normal pois é a estação do ano em que a temperatura apresenta os valores mais baixos.

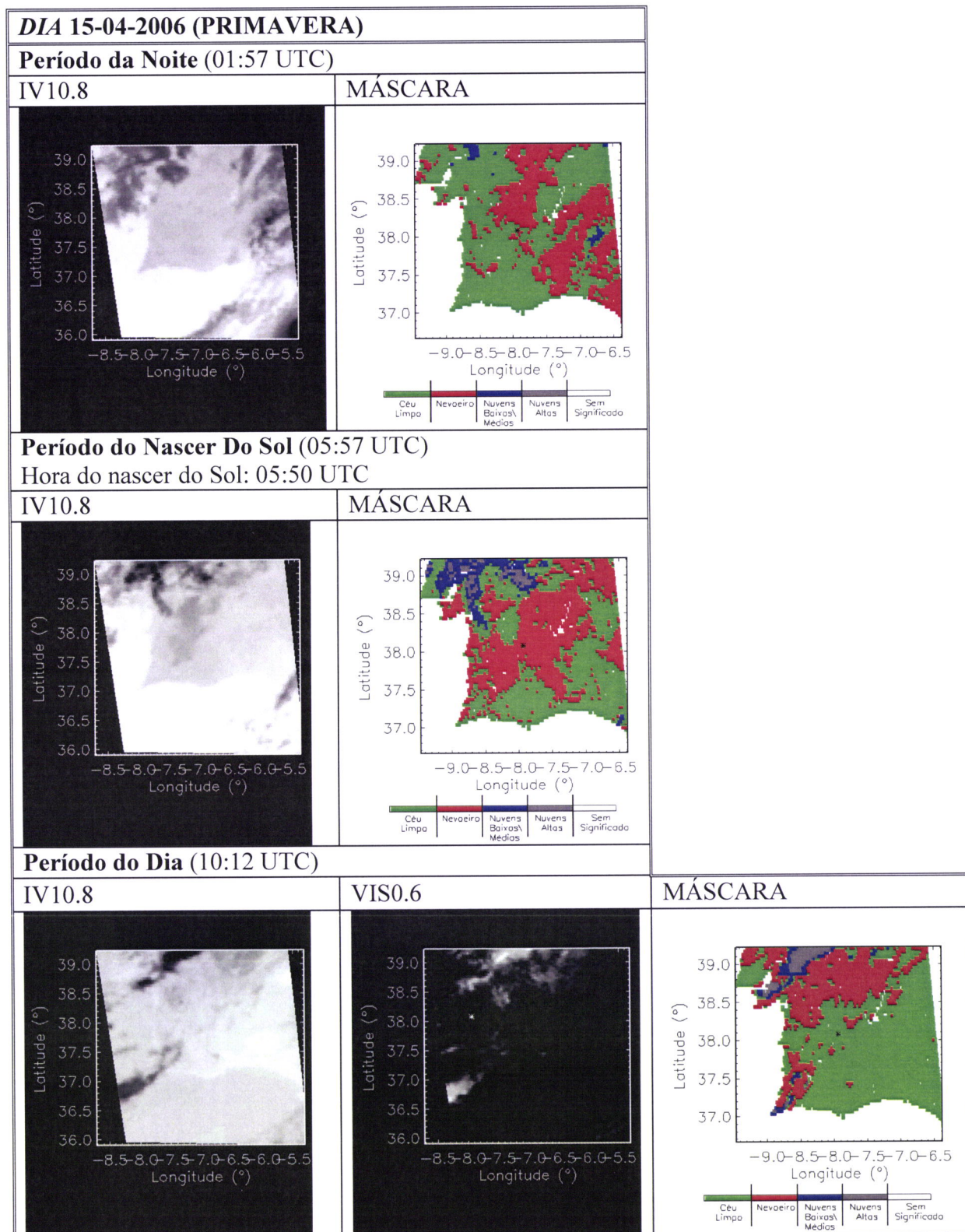


Figura 4.1: Imagens dos canais espectrais do MSG-SEVIRI VIS0.6, e IV10.8, e máscara de nuvens obtidas para o dia 15/04/2006, para os diferentes períodos do dia.

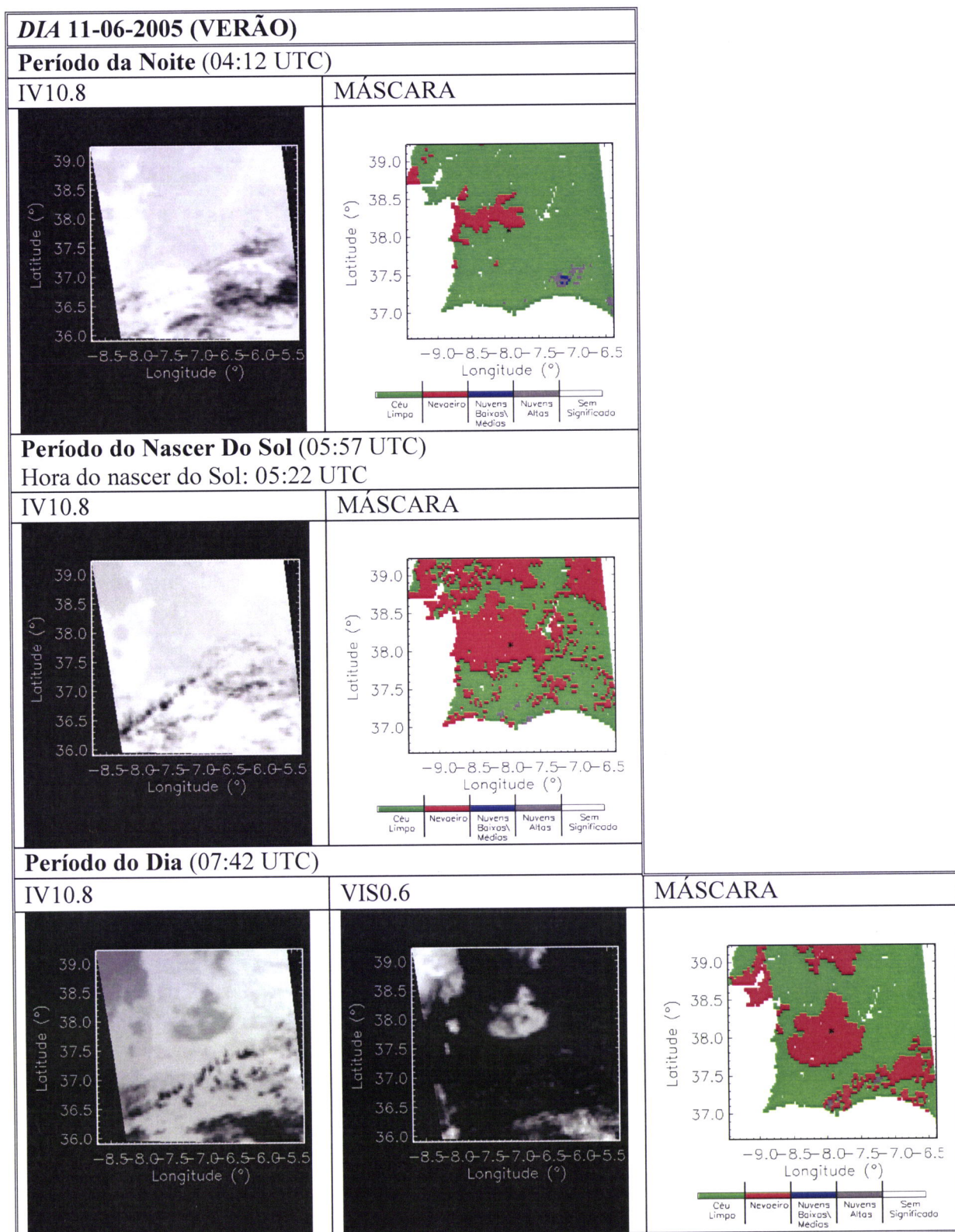


Figura 4.2: Imagens dos canais espectrais do MSG-SEVIRI VIS0.6, e IV10.8, e máscara de nuvens obtidas para o dia 11/06/2005, para os diferentes períodos do dia.

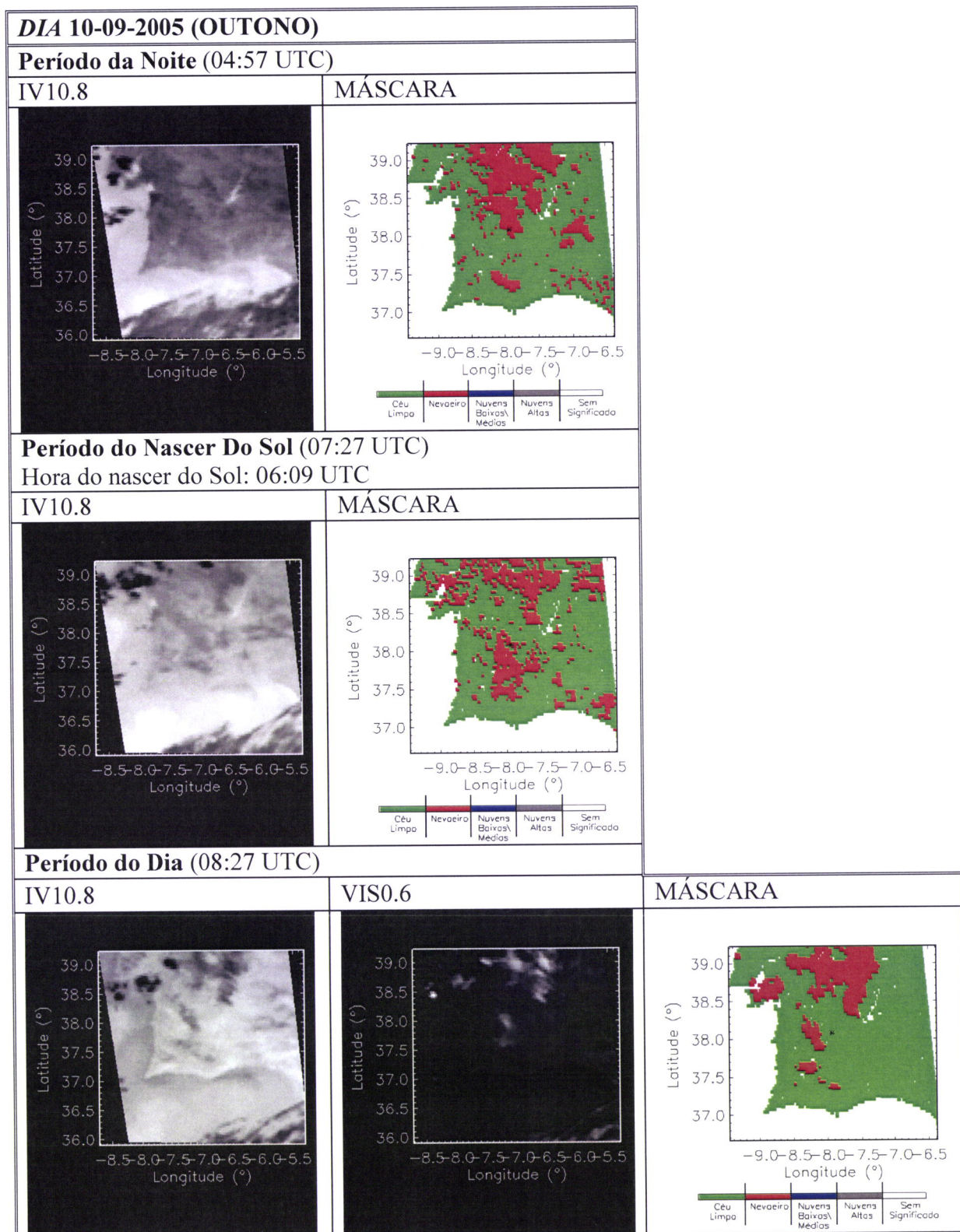


Figura 4.3: Imagens dos canais espectrais do MSG-SEVIRI VIS0.6, e IV10.8, e máscara de nuvens obtidas para o dia 10/09/2005, para os diferentes períodos do dia.

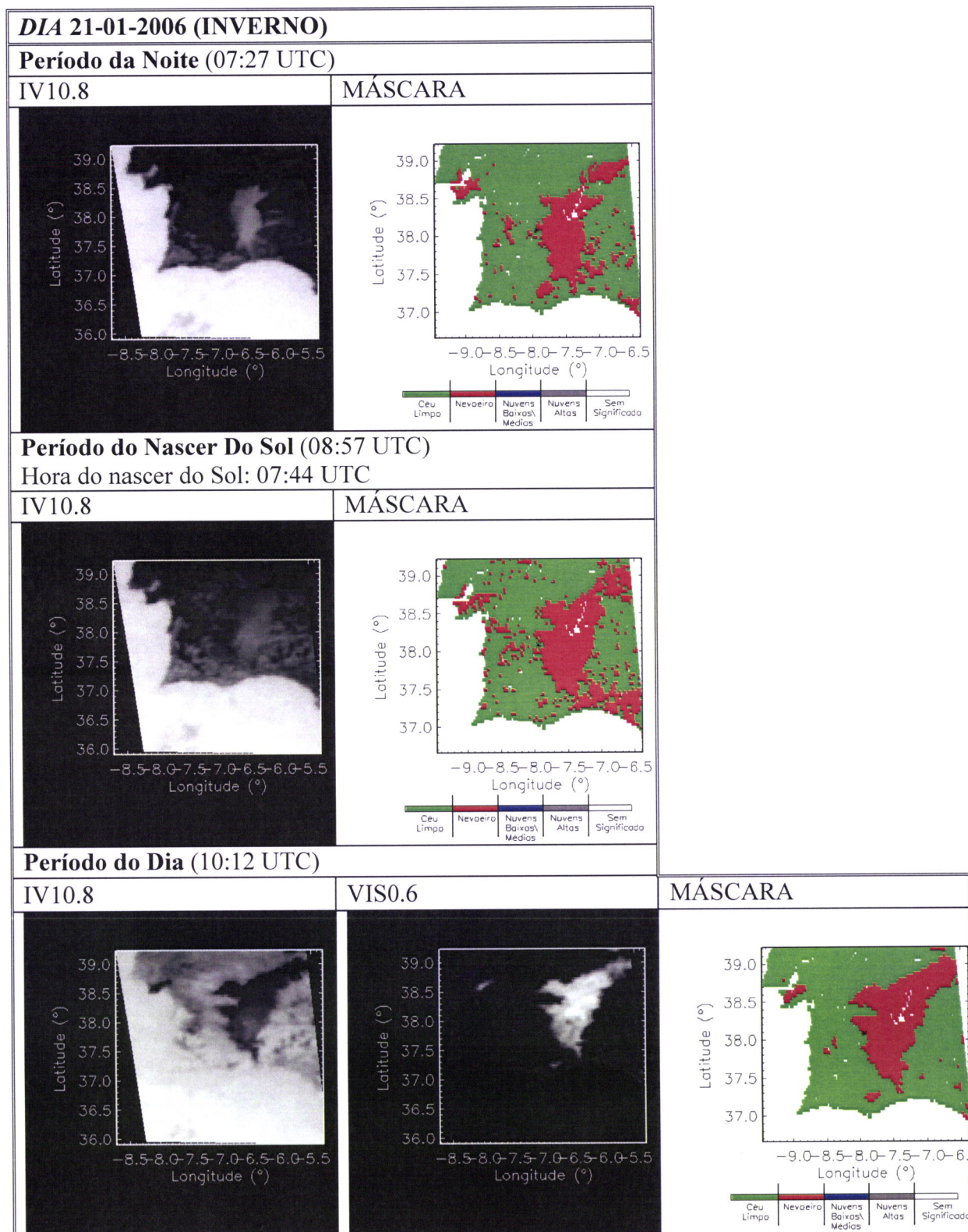


Figura 4.4: Imagens dos canais espectrais do MSG-SEVIRI VIS0.6, e IV10.8, e máscara de nuvens obtidas para o dia 21/01/2006, para os diferentes períodos do dia.

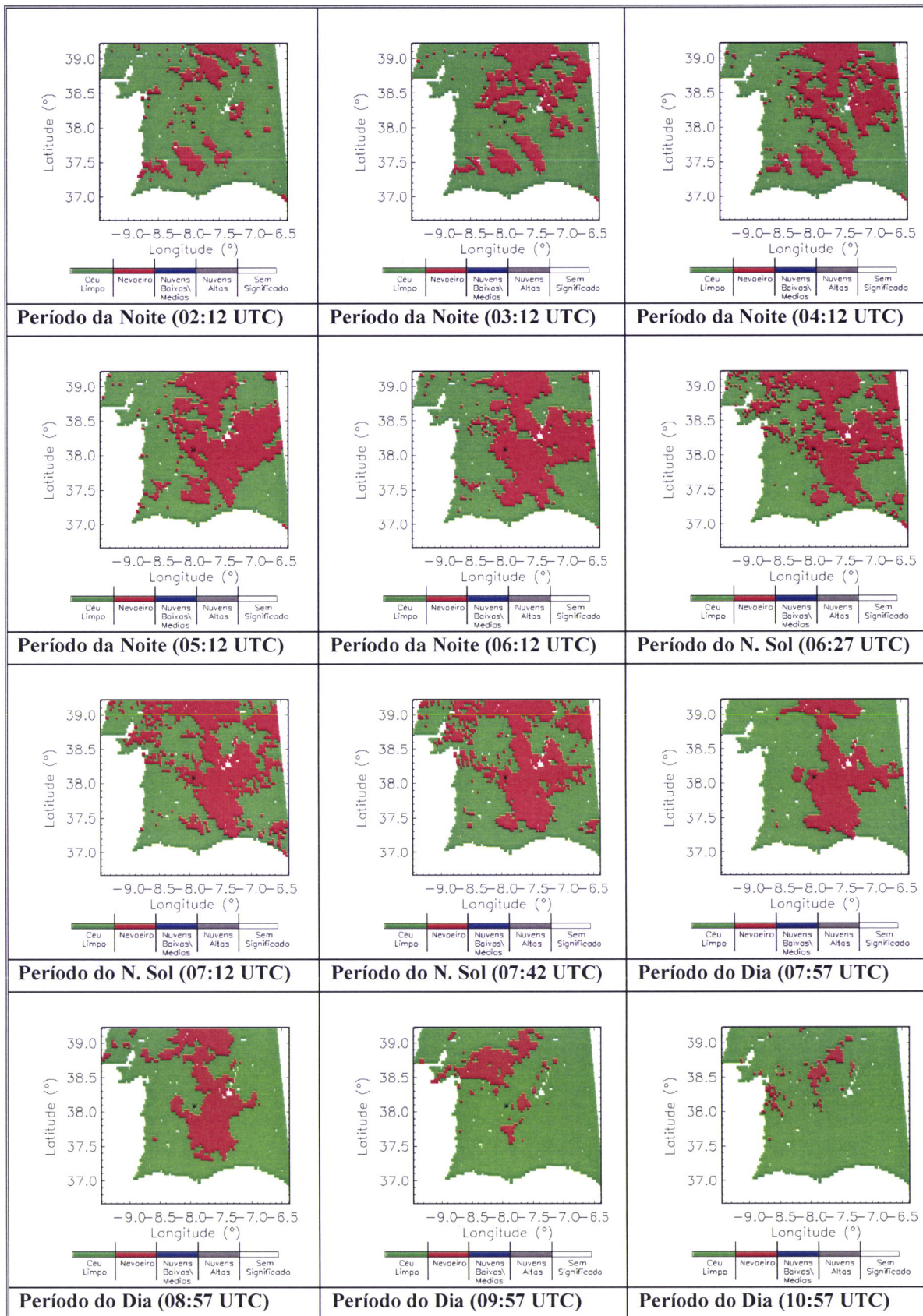


Figura 4.5: Sequência de imagens da máscara de nuvens e nevoeiro obtida para o dia 28/07/2006 entre as 02:12 UTC e as 10:57 UTC.

Os mapas na Figura 4.5, permitem observar a evolução da formação e dissipação do nevoeiro para o dia 28-03-2006 através da máscara de nuvens e nevoeiro desenvolvida no presente trabalho. Na Figura é perceptível que às 02:12 UTC algumas partes da região Sul apresentam já nevoeiro, evoluindo este nas horas que se seguiram em extensão com particular significado no vale do Guadiana. O nevoeiro atinge a sua máxima extensão por volta da 06:15 UTC, altura em que o Sol nasce e a temperatura mínima é atingida. À medida que o dia vai avançando e a temperatura aumentado a extensão do nevoeiro diminui, e cerca das 11:00 UTC já são poucas as áreas com nevoeiro. É de referir que ao passar-se do período da noite para o nascer do Sol, e deste para o período do dia, existem algumas variações na extensão do nevoeiro, devendo-se tal à utilização de métodos diferentes, isto é, durante o período do nascer do Sol utiliza-se o método BT8.7-BT10.8, ao contrário dos restantes períodos em que se utiliza o método BT3.9-BT10.8.

No que se refere à estação de Beja, esta registou nevoeiro desde as 04:40 UTC, até às 08:35 UTC. Analisando as imagens da Figura 4.5, verifica-se que a formação de nevoeiro sobre Beja ocorreu entre as 04:12 UTC, e as 05:12 UTC, o que está de acordo com os dados da estação meteorológica. Segundo a máscara este permanece até às 07:57 UTC, altura em que começa a decorrer o processo de dissipação, que se completa às 08:57 UTC. Esta análise permite concluir da eficiência da máscara de nuvens e nevoeiro, e da importância de se terem imagens de alta-frequência temporal como as que são disponibilizadas pelo MSG-SEVIRI, permitindo desta forma acompanhar a evolução deste tipo de fenómenos.

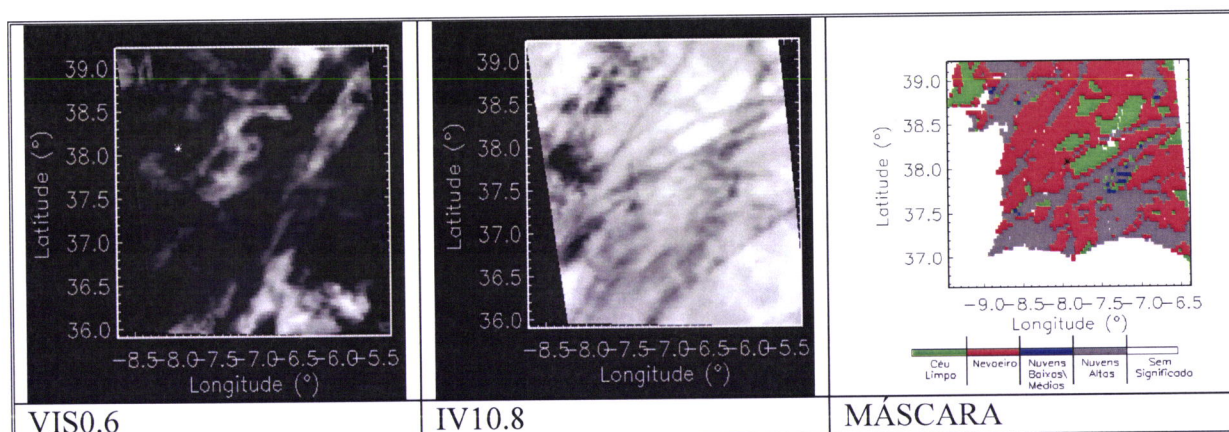


Figura 4.6: Imagens do canal VIS0.6 e IV10.8 do SEVIRI, e da máscara de nuvens para o dia 12/05/2006, às 07:57 UTC, onde é visível a presença de rastos de condensação.

Na Figura 4.6 é perceptível a presença de rastos de condensação (secção 2.4.2, capítulo 2), os quais podem apresentar valores da BT no canal IV10.8 positivos, no entanto o que distingue estes das restantes nuvens é o facto do valor da diferença da série da BT8.7-BT10.8 ser positiva. Na máscara de nuvens e nevoeiro os rastos de condensação estão incluídos no grupo das nuvens altas. Os rastos de condensação estão aqui representados pois a sua presença prejudicou a realização deste estudo, na medida em que estes ocultam a presença do nevoeiro, logo a sua presença num dia de nevoeiro implicou que esse dia não pudesse ser estudado, tal ocorreu no dia 12-05-2006. Esta foi uma das razões que levou a que nem todos os dias inicialmente analisados pudessem ser considerados válidos para o estudo.

4.1.1 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DA QUALIDADE DA MÁSCARA DE NEVOEIRO

Na Tabela 4.3 apresenta-se a taxa de sucesso e insucesso da máscara de nevoeiro, obtida a partir das imagens dos dias referenciados da Tabela 4.1. É elaborada uma avaliação sazonal, anual, e para cada período do dia. Considera-se que a máscara obteve sucesso sempre que os dados desta sejam coincidentes com os da observação da estação meteorológica da Base Aérea N°11 (Beja). De referir que no Verão e Outono, não se tem informação da hora do início do nevoeiro, como tal para estas épocas do ano os resultados da avaliação podem não ser totalmente fiáveis. A média das quatro estações do ano não dá a média anual, porque o número de imagens disponíveis por estação não é a mesma, logo cada estação tem um peso diferente na média final, o mesmo se verifica com os vários períodos do dia para a média final de cada estação do ano, e para a média final anual, pois o número de imagens analisadas é diferente em cada período, logo o peso para a média final não é o mesmo para os três períodos.

Análise Quantitativa da Máscara de Nevoeiro		
Período	Sucesso (%)	Insucesso (%)
Primavera (Nocturno)	70.9	29.1
Primavera (N. do Sol)	50.0	50.0
Primavera (Diurno)	69.8	30.2
Primavera (Total)	66.7	33.3
Verão (Nocturno)	100.0	0.0
Verão (Nascer do Sol)	87.5	12.5
Verão (Diurno)	41.3	58.7
Verão (Total)	70.9	29.1
Outono (Nocturno)	80.8	19.2
Outono (Nascer do Sol)	37.5	62.5
Outono (Diurno)	76.7	23.3
Outono (Total)	71.3	28.7
Inverno (Nocturno)	71.8	28.2
Inverno (N. do Sol)	62.5	37.5
Inverno (Diurno)	87.1	12.9
Inverno (Total)	76.2	23.8
Anual (Nocturno)	78.0	22.0
Anual (Nascer do Sol)	59.4	40.6
Anual (Diurno)	70.6	29.4
Anual (Total)	71.6	28.4

Tabela 4.2: Erros cometidos na máscara de nevoeiro com base na comparação com observações efectuadas na Base Aérea N°11 (Beja). A análise é apresentada numa base sazonal, anual e para os três período do dia (nocturno, nascer do Sol e diurno).

4.1.2 CONCLUSÕES

Como conclusões pode afirmar-se que a utilização da máscara de nuvens e nevoeiro é indispensável para a detecção de nevoeiros para os períodos da noite e nascer do Sol. Durante o dia a presença do nevoeiro detectado pela máscara é confirmada pelo canal espectral do visível. Durante o período do nascer do Sol é utilizado o método BT8.7-BT10.8, o qual introduz um erro maior comparado com o método BT3.9-BT10.8, assim durante este período surgem ligeiras diferenças na área do nevoeiro comparativamente com os restantes períodos.

A análise da Tabela 4.2, permite concluir que é no Inverno que a taxa de sucesso é maior, tal deve provavelmente a esta ter sido a estação do ano onde havia mais informação disponível para tratar com vista à construção do algoritmo. No Verão a razão para o insucesso ser maior do que no Inverno, justifica-se provavelmente pela menor informação disponível para a construção do algoritmo. A razão para uma taxa de insucesso tão elevada no período diurno no Verão, deve-se provavelmente à elevação do nevoeiro transformando-se em estratos baixos, desta forma a Estação Meteorológica da Base Nº11 (Beja) não reporta nevoeiro, enquanto a máscara como não consegue distinguir entre nevoeiro e estratos baixos detecta nevoeiro. No que diz respeito ao Outono e Primavera, estas são estações de transição, como tal já era esperado um insucesso maior do que o Inverno. Em relação aos períodos do dia, os resultados são os esperados, com uma taxa de sucesso relativamente elevada nos períodos em que a máscara utiliza o método BT3.9-BT10.8, em especial durante o período da noite. Já para o período do nascer do Sol, o insucesso da máscara é elevado, o que se deve à utilização do método BT8.7-BT10.8 que apresenta diferenças menores entre regiões com e sem nevoeiro. No entanto de uma forma geral a máscara apresenta bons resultados com taxas de sucesso acima dos 70%.

4.2 *VARIAÇÃO CONJUNTA DO CAMPO ELÉCTRICO ATMOSFÉRICO E DO NEVOEIRO NA REGIÃO DE ÉVORA*

O campo eléctrico atmosférico é uma variável meteorológica relevante para a compreensão da fenomenologia da camada limite, podendo ser usada como indicador e até como preditor de algum tipo de tempo característico da camada limite (Serrano et al., 2003). Pretende-se, com o presente estudo estudar correlações entre o valor do campo eléctrico ao nível do solo e a presença de nevoeiros, já que estas podem ser úteis na detecção precoce de nevoeiros.

A região de Évora foi o local escolhido para efectuar o estudo sobre a variação conjunta do campo eléctrico atmosférico e os nevoeiros. Para a presente análise utilizaram-se os dias seleccionados na Tabela 3.3, os quais correspondem a dias em que ocorreu nevoeiro na estação meteorológica do Instituto de Meteorologia em Évora. As séries do campo eléctrico atmosférico foram obtidas no Observatório do Centro de Geofísica de Évora.

4.2.1 SÉRIES DO CAMPO ELÉCTRICO ATMOSFÉRICO NA REGIÃO DE ÉVORA

As Figuras 4.7 e 4.8 representam as séries do campo eléctrico atmosférico para os dias 17-08-2005 e 28-03-2006 respectivamente. As setas nas Figuras representam a hora do início e fim do nevoeiro, de referir que no dia 28-03-2006 ocorreram dois episódios de nevoeiro daí a representação de quatro setas na Figura 4.8.

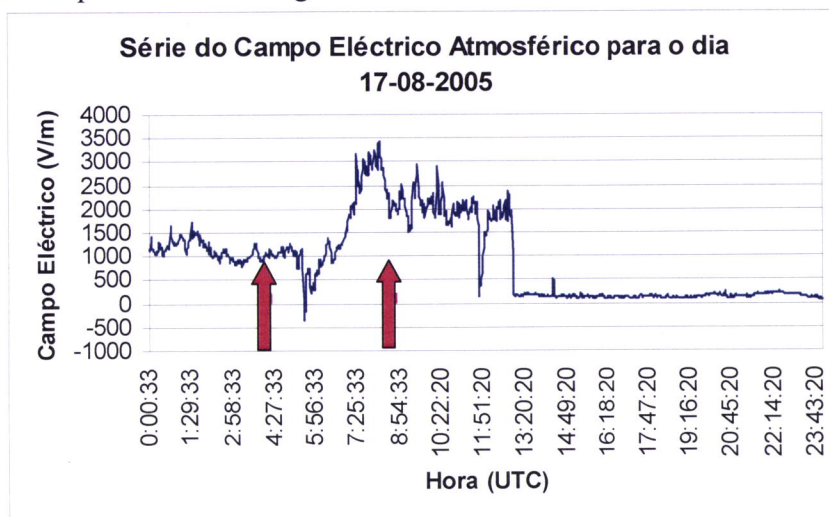


Figura 4.7: Campo eléctrico atmosférico em Évora no dia 17/08/2005. As setas representam a hora do início e fim do nevoeiro.

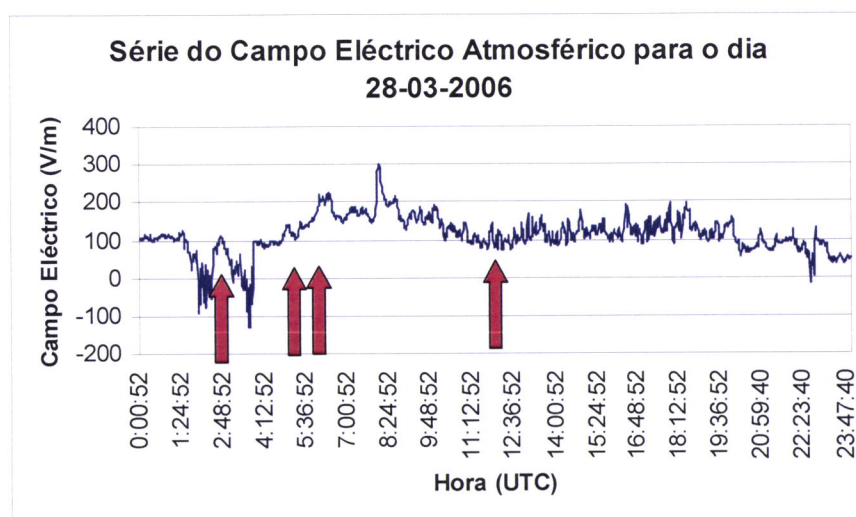


Figura 4.8: Campo eléctrico atmosférico em Évora no dia 28/03/2006. As setas representam a hora do início e fim do nevoeiro em dois períodos.

A análise das Figuras 4.7 e 4.8 sugere não haver uma relação nítida causa efeito entre o campo eléctrico atmosférico e a formação ou dissipação do nevoeiro, isto porque segundo Van der Hage (1999), pouco tempo antes da formação \ dissipação do nevoeiro, o campo eléctrico atmosférico aumenta \ diminui, no entanto pela análise simples das Figuras tal relação não parece existir.

Os elevados valores do campo eléctrico no dia 17-08-2006 os quais são suspeitos, não estão relacionados com a ocorrência de nuvens, uma vez que nesse dia não foi detectado

nenhum outro tipo de nebulosidade para além do nevoeiro. No entanto, uma análise mais cuidadosa mostra que no dia anterior Portugal estava sobre a influência de uma corrente de Leste, a qual transportou para o Sul de Portugal aerossóis (poeiras) do deserto (Figura 4.9). Devido à presença destes, a mobilidade dos iões reduziu-se, o que se pode ter traduzido num aumento substancial dos valores do campo eléctrico atmosférico. Com este exemplo é fácil perceber que a série da campo eléctrico é o reflexo de um número muito elevado de variáveis as quais podem contribuir ou para um aumento ou uma diminuição do campo, assim extrair somente a contribuição que é da responsabilidade do nevoeiro é uma tarefa extremamente difícil.

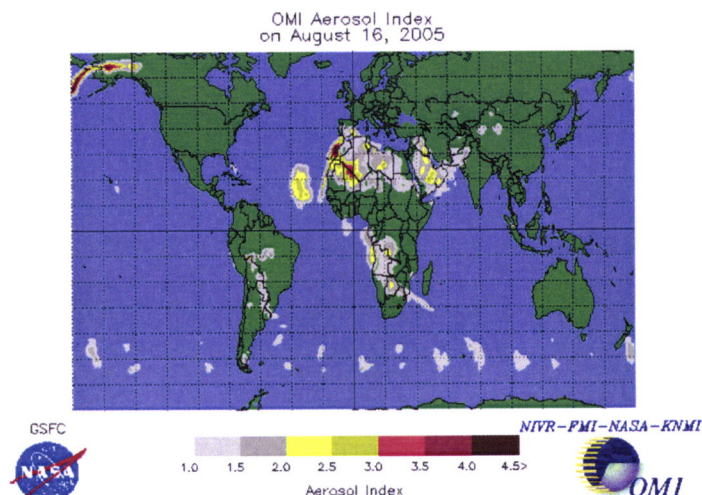


Figura 4.9: Índice global de aerossóis para o dia 16/08/2005.

Fonte: www.toms.gsfc.nasa.gov/aerosols/aerosols_v8.html

4.2.2 CAMPO ELÉCTRICO ATMOSFÉRICO E SÉRIE DA BT8.7-BT10.8, NA REGIÃO DE ÉVORA

Considera-se a série da BT8.7-BT10.8 como sendo uma das possíveis séries representativas da formação, ou dissipação do nevoeiro. Como já foi referido em pontos anteriores, sabe-se que a presença de valores baixos nessa série são sinónimo da presença de nevoeiro. Como não se dispõe de nenhum outro índice que seja representativo da ocorrência de nevoeiro para todas as horas, optou-se pela utilização desta série com vista à correlação com o campo eléctrico atmosférico.

Pouco tempo antes da formação \ dissipação do nevoeiro, o campo eléctrico atmosférico aumenta \ diminui (Van der Hage, 1999), o que contraria a tendência da série da BT8.7-BT10.8 que diminui \ aumenta, logo é de esperar que as correlações entre as duas séries sejam negativas.

4.2.2.1 Funções de correlação cruzada

Na Tabela 4.3 apresentam-se as correlações de desfase zero (secção 2.7, capítulo 2) entre o campo eléctrico atmosférico e a série da BT8.7-BT10.8, na região de Évora (secção 3.1, capítulo 3), obtidas para os dias apresentados na Tabela 3.3.

DIA	Correlação de desfasamento 0
17-08-2005	0.24
31-10-2005	0.13
28-11-2005	-0.16
28-12-2005	-0.21
16-01-2006	-0.21
14-02-2006	0.05
07-03-2006	-0.26
08-03-2006	0.02
15-03-2006	-0.25
28-03-2006	0.16

Tabela 4.3: Correlação cruzada de desfasamento nulo entre o campo eléctrico atmosférico e a série da BT8.7-BT10.8, na região de Évora, para os dias seleccionados para o estudo.

As correlações entre as séries são fracas, obtendo-se mesmo ao longo dos vários dias em análise, correlações de sinal contrário.

As Figuras 4.10, 4.11 e 4.12 representam as funções de correlação cruzada entre o campo eléctrico atmosférico e a série da BT8.7-BT10.8, entre os -180 minutos e os 180 minutos, para o dia 17-08-2006, 31-10-2006, e para os restantes dias em conjunto respectivamente. Os desfasamentos positivos correspondem a atrasos nas séries da BT8.7-BT10.8.

DIA	Correlação mais Significativa	Desfasamento (minutos)
17-08-2005	-0.30	150
31-10-2005	0.45	90
28-11-2005	0.34	120
28-12-2005	-0.30	-30
16-01-2006	0.45	-150
14-02-2006	0.50	-135
07-03-2006	0.31	-45
08-03-2006	0.50	-15
15-03-2006	-0.39	15
28-03-2006	0.45	-30

Tabela 4.4: Correlação mais significativa e respectivo desfasamento, entre o campo eléctrico atmosférico e a série da BT8.7-BT10.8, na região de Évora.



Figura 4.10: Função de correlação cruzada do campo eléctrico atmosférico\BT8.7-BT10.8 e intervalos de confiança de 95%, para o dia 17/08/2005. Os valores de desfasamento positivos correspondem a atrasos na série da BT8.7-BT10.8.

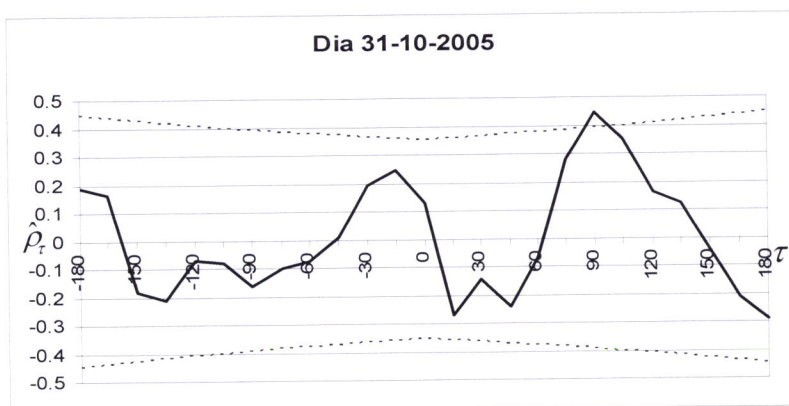


Figura 4.11: Função de correlação cruzada do campo eléctrico atmosférico\BT8.7-BT10.8, e intervalos de confiança de 95%, para o dia 31/10/2005. Os valores de desfasamento positivos correspondem a atrasos na série da BT8.7-BT10.8.

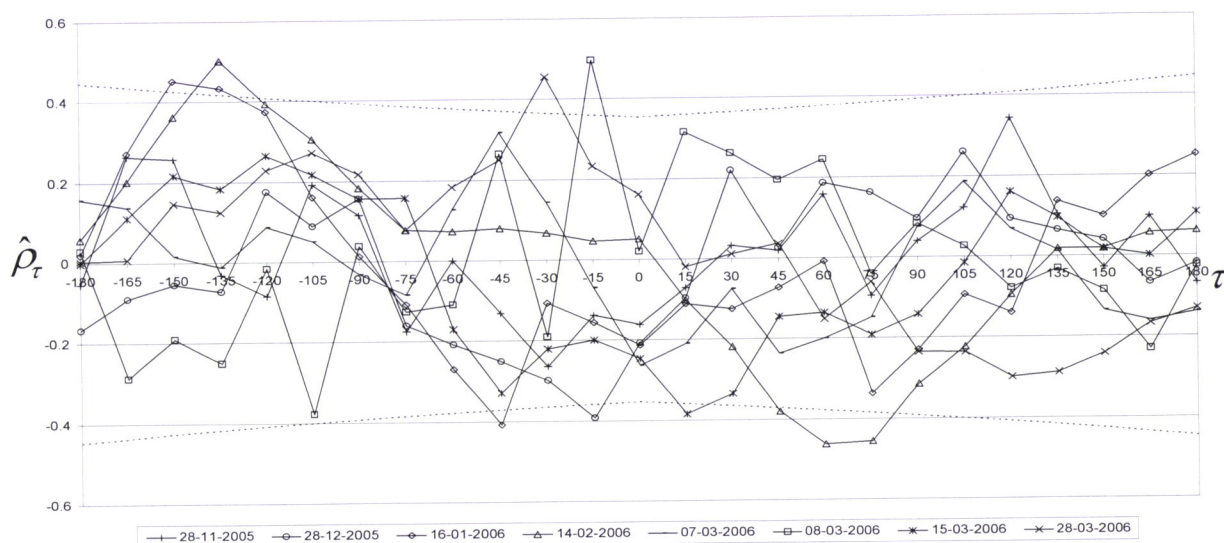


Figura 4.12: Funções de correlação cruzada do campo eléctrico atmosférico\BT8.7-BT10.8, e intervalos de confiança de 95%, para os dias 28/11/2005, 28/12/2005, 16/01/2006, 14/02/2006, 07/03/2006, 08/03/2006, 15/03/2006, e 28/03/2006. Os valores de desfasamento positivos correspondem a atrasos na série da BT8.7-BT10.8.

Pela análise da Figura 4.10, verifica-se que existe uma correlação negativa, estatisticamente significativa para um desfasamento positivo de 120 minutos, este seria o resultado esperado em termos teóricos, com a série da BT8.7-BT10.8 a responder cerca de duas horas depois do campo eléctrico, mas com sinal contrário. A análise da Figura 4.11, evidencia também um desfasamento positivo, no entanto a correlação é positiva o que contraria a teoria. Observando a Figura 4.12, e a Tabela 4.4, onde se encontram expostos os resultados para os restantes dias em análise, verifica-se que não existe um padrão definido, ao contrário do que seria de esperar, quer em termos de correlação, quer em termos de desfasamento. A razão para tal comportamento, pode dever-se a uma série de factores entre os quais, a série da BT8.7-BT10.8 não ser de facto representativa da ocorrência de nevoeiros; a escassez de dias de nevoeiro disponíveis para o estudo; a possibilidade da existência de outro tipo de nebulosidade afectar os resultados do campo eléctrico atmosférico, ou o electrómetro que está situado no Colégio Luís Verney (Observatório do CGE em Évora); a distância entre o local da observação dos nevoeiros, que se situa no Centro de Meteorologia, perto do aeródromo de Évora e o Observatório do CGE onde se encontra o electrómetro (cerca de 5 km).

4.2.3 CAMPO ELÉCTRICO ATMOSFÉRICO E ÍNDICE DE NEVOEIRO, NA REGIÃO DE ÉVORA

Devido aos resultados inconclusivos obtidos na correlação entre a série da BT8.7-BT10.8 e o campo eléctrico atmosférico, optou-se por correlacionar o campo eléctrico atmosférico com um índice de nevoeiro, obtido aplicando a máscara de nevoeiro desenvolvida no presente trabalho, na região de Évora. Assim, quando se tem nevoeiro atribui-se o valor de -1, quando se tem céu limpo atribui-se o valor de zero. Desta forma, quando se correlaciona o campo eléctrico atmosférico com este índice, e se obtêm correlações negativas, significa que um aumento do campo está associado a nevoeiro, ou então uma diminuição do campo está associado a céu limpo, o inverso se passa para correlações positivas. Desfasamentos positivos correspondem a atrasos nas séries do índice do nevoeiro.

Os dias 8 e 15 de Março de 2006 são excluídos desta correlação, pois são dias em que o nevoeiro permaneceu durante todo o período estudado, isto porque não é possível correlacionar uma função variável com outra que é constante.

4.2.3.1 Funções de correlação cruzada

As correlações de desfasamento zero entre o campo eléctrico atmosférico e a série do índice do nevoeiro, na região de Évora vêm expressas na Tabela 4.5.

As correlações entre as séries são fracas, excepto no dia 28-12-2006 em que a correlação é estatisticamente significativa ao nível de confiança de 95%, para além disso obtêm-se mesmo ao longo dos vários dias em análise, correlações de sinal contrário.

DIA	Correlação de desfasamento 0
17-08-2005	0.22
31-10-2005	0.03
28-11-2005	-0.14
28-12-2005	-0.36
16-01-2006	-0.14
14-02-2006	0.11
07-03-2006	-0.10
28-03-2006	-0.07

Tabela 4.5: Correlação cruzada de desfasamento nulo entre o campo eléctrico atmosférico e o índice de nevoeiro, na região de Évora.

DIA	Correlação mais Significativa	Desfasamento (minutos)
17-08-2005	-0.35	165
31-10-2005	-0.31	135
28-11-2005	0.50	90
28-12-2005	0.38	60
16-01-2006	-0.50	60
14-02-2006	-0.33	75
07-03-2006	-0.38	180
28-03-2006	-0.41	-60

Tabela 4.6: Correlação mais significativa e respectivo desfasamento, entre o campo eléctrico atmosférico e a série do índice do nevoeiro, na região de Évora.

Na Tabela 4.6, vêm expressas as correlações mais significativas e os respectivos desfasamentos para os vários dias em estudo. Dos resultados obtidos conclui-se que de uma forma geral as correlações mais significativas são negativas, o que vai de encontro à teoria, no entanto conclui-se também que estas de uma forma geral não são estatisticamente significativas. No que toca aos desfasamentos, e à excepção do dia 28-03-2006, estes são positivos o que significa que há atrasos nas séries do índice do nevoeiro.

As Figuras 4.13, 4.14 e 4.15 representam as funções de correlação cruzada entre o campo eléctrico atmosférico e a série do índice do nevoeiro, entre os -180 minutos e os 180 minutos, para o dia 17-08-2006, 31-10-2006, e para os restantes dias em conjunto respectivamente. Os desfasamentos positivos correspondem a atrasos nas séries do índice do nevoeiro.

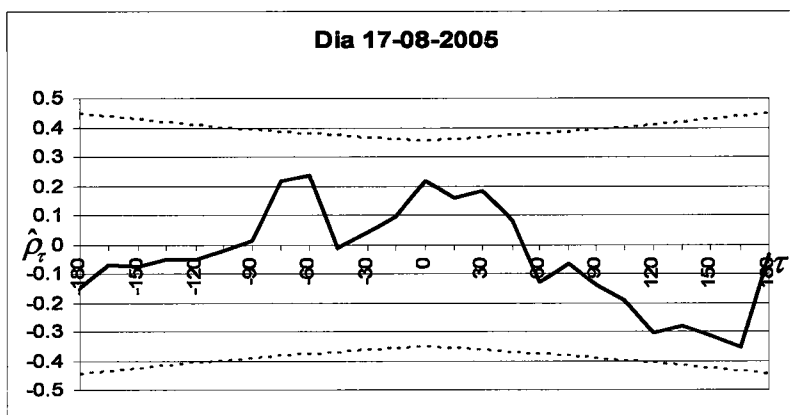


Figura 4.13: Função de correlação cruzada do campo eléctrico atmosférico\ índice de nevoeiro, e intervalos de confiança de 95%, para o dia 17/08/2005. Os valores de desfasamento positivos correspondem a atrasos na série do índice de nevoeiro.

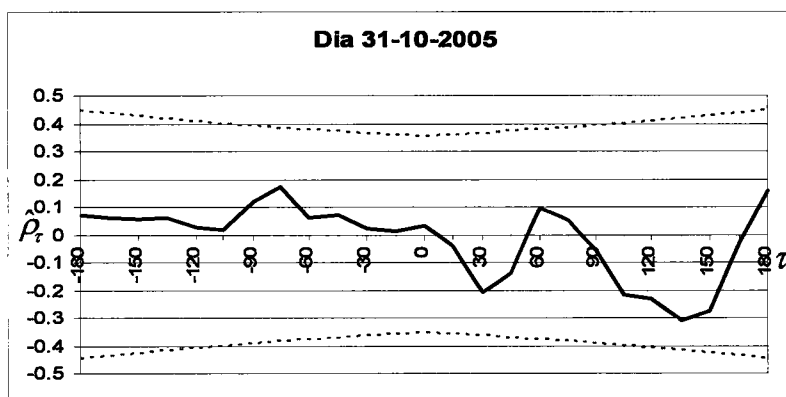


Figura 4.14: Função de correlação cruzada do campo eléctrico atmosférico\ índice de nevoeiro, e intervalos de confiança de 95%, para o dia 31/10/2005. Os valores de desfasamento positivos correspondem a atrasos na série do índice de nevoeiro.

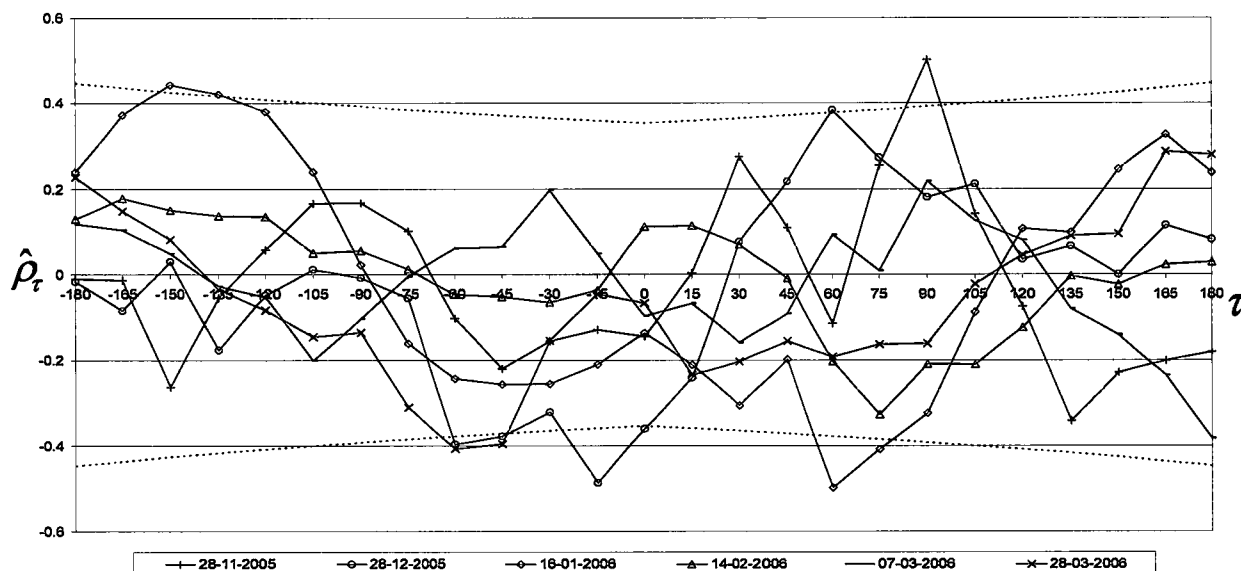


Figura 4.15: Funções de correlação cruzada do campo eléctrico atmosférico\ índice de nevoeiro, e intervalos de confiança de 95%, para os dias 28/11/2005, 28/12/2005, 16/01/2006, 14/02/2006, 07/03/2006, e 28/03/2006. Os valores de desfasamento positivos correspondem a atrasos na série do índice de nevoeiro.

Ao analisarem-se as Figura 4.13 e 4.14 verifica-se que não existe nenhuma correlação estatisticamente significativa. O que as Figuras sugerem é que para desfasamentos positivos as correlações são maiores e negativas o que vai de encontro à teoria inicial. No entanto, quando se analisa a Figura 4.15, verifica-se mais uma vez que não existe nenhum padrão definido, obtendo-se dias com correlações negativas e positivas significativas, quer para desfasamentos positivos ou negativos. Mais uma vez os resultados não são os esperados, o que poderá dever-se às razões já enunciadas para a série da BT8.7-BT10.8.

4.2.4 CONCLUSÕES

Conclui-se assim que para os dias em estudo não existe uma correlação definida entre as séries do campo eléctrico atmosférico e a série da BT8.7-BT10.8, e do campo eléctrico e o índice de nevoeiro. Para além disso, analisando simplesmente as séries do campo eléctrico atmosférico e o início e fim do nevoeiro também não é detectado qualquer indício de relação entre estas duas variáveis. No entanto, devido à escassez de dados tais conclusões não são definitivas, devendo o estudo de tal relação ser estendido a um período substancialmente maior, numa região em que se efectuem simultaneamente observações sinópticas regulares e a medição do campo eléctrico atmosférico.

5. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS DE TRABALHO FUTURO

O principal objectivo deste trabalho foi a detecção remota de nevoeiros e nuvens a partir de imagens de satélite. Foi assim desenvolvida a partir de imagens de satélite, uma máscara de nevoeiros e nuvens aplicável a toda a região Sul de Portugal. A máscara desenvolvida visa sobretudo a detecção de nevoeiros e secundariamente a detecção das restantes nuvens. Outro objectivo do presente trabalho foi o estudo da relação entre o valor do campo eléctrico ao nível do solo e a ocorrência de nevoeiros, como contribuição para o desenvolvimento de métodos para a detecção precoce de nevoeiros.

Foram analisadas várias imagens do satélite de órbita geostacionária MSG-SEVIRI, seleccionando-se para o estudo os canais espectrais centrados nos seguintes comprimentos de onda: 3.9, 8.7, e 10.8 μm . As observações efectuadas na estação meteorológica da Base Aérea Nº11, em Beja foram utilizadas para confirmar a presença de nevoeiro na região, durante o período em que o estudo foi realizado. Utilizaram-se ainda as medições do campo eléctrico na região de Évora, a fim de se determinar a correlação com a ocorrência de nevoeiros. As principais conclusões deste trabalho apresentam-se nas secções que se seguem.

5.1 MÁSCARA DE NUVENS E NEVOEIRO

- A primeira conclusão do presente estudo resultou da selecção dos testes para detecção e classificação de nevoeiros e nuvens. Esta selecção permitiu concluir que os métodos mais adequados para a detecção de nevoeiros resultam da diferença da Temperatura de Brilho (BT) entre os canais espectrais IV3.9 e IV10.8, e os canais espectrais IV8.7 e IV10.8. As razões para esta escolha resultam sobretudo, do facto de os valores da emissividade da água e gelo serem diferentes nos canais anteriormente referidos (secção 2.3, capítulo 2).
- Constatou-se que existiam diferenças significativas nas diversas séries em estudo (BT3.9-BT10.8, BT8.7-BT10.8, e BT10.8), para as diferentes estações do ano. Por esta razão optou-se por se discriminar o método para cada estação do ano. Para além disso, cada algoritmo sazonal desenvolvido encontra-se subdividido em três períodos: o nocturno, o do nascer do Sol, e o diurno.
- A análise dos resultados obtidos numa base sazonal, para os dois métodos em estudo (BT3.9-BT10.8 e BT8.7-BT10.8), e para os três períodos seleccionados (noite, nascer do Sol, e dia), permitiu concluir que a melhor solução para a detecção de nevoeiros seria empregar o método BT3.9-BT10.8 durante o período nocturno e diurno, pois com este método as diferenças entre uma região com nevoeiro e com céu limpo são maiores, minimizando o erro; já para o período do nascer do Sol não é possível aplicar este método, pois corresponde ao período em que as séries da BT3.9-BT10.8, passam de valores negativos para positivos (secção 2.3.1, capítulo 2), logo para este período aplica-se o método BT8.7-BT10.8 para a detecção de nevoeiros. O método BT8.7-BT10.8, poderá ser empregue em qualquer período, no entanto como as diferenças entre uma

região com e sem nevoeiro são menores relativamente ao método alternativo, só se optou por empregar este método para o período do nascer do Sol.

- O erro associado à detecção de nevoeiro através do método desenvolvido foi estimado, através da comparação dos resultados obtidos com observações feitas na Base Aérea N^o 11 (Beja). Esta análise demonstrou que o objectivo do desenvolvimento de um algoritmo para a detecção e classificação de nuvens e nevoeiros, foi amplamente alcançado com uma taxa de sucesso global da ordem dos 72%. Em termos sazonais foi no Inverno que se obteve a taxa de sucesso do algoritmo superior (76.2%). Em termos de períodos do dia, o melhor resultado ocorreu no período nocturno, com uma taxa de sucesso na ordem dos 78%, e o erro maior ocorreu no período do nascer do Sol, com uma taxa de sucesso na ordem dos 59%.
- Pode afirmar-se que a utilização da máscara desenvolvida para a detecção remota de nuvens e nevoeiros é indispensável para os períodos da noite e nascer do Sol. Durante o dia a presença do nevoeiro detectada pela máscara é confirmada pelo canal do visível.

5.1.1 MÁSCARA DE NUVENS E NEVOEIRO – PRIMAVERA

- Na Primavera a máscara detecta nevoeiro no período nocturno quando os valores da BT3.9-BT10.8 variarem entre os -8.5 K e os -5.5 K, e os valores da BT10.8 variarem entre os 273 K e os 285 K. Para o período do nascer do Sol tem-se nevoeiro quando os valores da BT8.7-BT10.8 forem inferiores à equação linear $-0.0386 \times BT10.8 + 7.7696 + 2 \times 0.26$, e os valores da BT10.8 variarem entre os 273 K e os 283 K. Já para o período diurno, para a máscara detectar nevoeiro os valores da BT3.9-BT10.8 têm que variar entre os -0.5 K e os 20 K, e os valores da BT10.8 variar entre os 273 K e os 285 K.
- A análise das imagens obtidas com a máscara para esta estação do ano permitem concluir que máscara de nuvens obtém bons resultados, detectando tanto nevoeiro, como nuvens médias e altas. Para o período do nascer do Sol a área com nevoeiro em alguns casos parece ser mais extensa do que para os restantes períodos do dia, tal deve-se à utilização do método BT8.7-BT10.8 para este período, contrariamente aos dois outros períodos em que se utiliza o método BT3.9-BT10.8, o qual é mais eficiente a detectar nevoeiros, como tal no período nocturno e diurno os erros são menores (secção 4.1.1 do capítulo 4). Comparando as imagens com a evolução dos registos do nevoeiro em Beja, conclui-se que detecção de nevoeiro para esta época do ano é eficiente, pois a taxa de sucesso é da ordem dos 67%.

5.1.2 MÁSCARA DE NUVENS E NEVOEIRO – VERÃO

- No Verão a máscara detecta nevoeiro para o período da noite quando os valores da BT3.9-BT10.8 variarem entre os -9 K e os -6 K, e os valores da BT10.8 variarem entre os 283 K e os 290 K. Para o período do nascer do Sol tem-se nevoeiro quando os valores da BT8.7-BT10.8 variarem entre -4 K e os -2.8 K, e os valores da BT10.8 variarem entre os 283 K e os 291 K. Por último, para o período diurno a máscara detecta

nevoeiro se os valores da BT3.9-BT10.8 variarem entre os -0.5 K e os 20 K, e os valores da BT10.8 variarem entre os 283 K e os 292 K.

- A análise das imagens obtidas com a máscara de nuvens e nevoeiro para o Verão permite concluir que a máscara obtém bons resultados, quando se comparam essas imagens com as do infravermelho e do visível. Comparando as imagens da máscara com a evolução dos registos do nevoeiro em Beja, conclui-se que a detecção de nevoeiro para esta época do ano é eficiente, obtendo uma taxa de sucesso na ordem dos 71%, no entanto, e tal como para as outras estações do ano, é preciso ter a noção de que os nevoeiros e estratos baixos são extremamente difíceis de distinguir, como tal uma estação meteorológica pode não estar a reportar nevoeiro e a máscara a detectar. Neste caso o que provavelmente ocorre é que o nevoeiro se elevou transformando-se em estratos baixos.

5.1.3 MÁSCARA DE NUVENS E NEVOEIRO – OUTONO

- No Outono a máscara de nuvens e nevoeiro detecta nevoeiro no período nocturno quando os valores da BT3.9-BT10.8 variam entre os -9 K e os -5.25 K, e os valores da BT10.8 variarem entre os 273 K e os 290 K. Para o período do nascer do Sol tem-se nevoeiro quando os valores da BT8.7-BT10.8 forem inferiores à equação linear $-0.0641 \times BT10.8 + 15.113 + 2 \times 0.2$ e os valores da BT10.8 variarem entre os 273 K e os 290 K. Para o período diurno a máscara detecta nevoeiro quando os valores da BT3.9-BT10.8 variarem entre os -0.5 K e os 20 K, e os valores da BT10.8 variarem entre os 273 K e os 290 K.
- O Outono, foi o período do ano mais complexo no que toca à construção de uma máscara de nuvens. Tal deveu-se à grande heterogeneidade de temperaturas nos meses considerados. A análise das imagens obtidas com a máscara para o Outono permite concluir que se obtém resultados satisfatórios, detectando tanto nevoeiro, como nuvens médias e altas, por comparação com as imagens do infravermelho e visível. Comparando as imagens com a evolução dos registos do nevoeiro em Beja, conclui-se que a detecção de nevoeiro para esta época do ano é de uma forma geral eficiente, com uma taxa de sucesso na ordem dos 71%.

5.1.4 MÁSCARA DE NUVENS E NEVOEIRO – INVERNO

- No Inverno a máscara detecta nevoeiro para o período da noite quando os valores da BT3.9-BT10.8 variarem entre os -9.5 K e os -5 K, e os valores da BT10.8 variarem entre os 273 K e os 283 K. Para o período do nascer do Sol tem-se nevoeiro quando os valores da BT8.7-BT10.8 variam entre -4 K e os -2.3 K, e os valores da BT10.8 variarem entre os 273 K e os 283 K. Por fim para o período diurno a máscara detecta nevoeiro se os valores da BT3.9-BT10.8 variarem entre os -0.5 K e os 20 K, e os valores da BT10.8 variarem entre os 283 K e os 285 K.
- Tal como para as outras estações do ano, também para o Inverno a detecção de nevoeiro durante a noite e o nascer do Sol é extremamente difícil utilizando somente o

canal do infravermelho. A análise das imagens obtidas com a máscara de nuvens e nevoeiro para o Inverno permite concluir que máscara obtém bons resultados, seja quando se comparam essas imagens com as do infravermelho e do visível, seja quando se compara a evolução dos registos do nevoeiro em Beja com a evolução das imagens da máscara, obtendo-se para esta estação do ano a maior taxa de sucesso entre as quatro estações do ano, com um valor na ordem dos 76%. Tal situação deve-se ao facto de o Inverno ser a estação do ano mais propícia à formação de nevoeiros, e onde a duração destes se estende por mais tempo, por essa razão esta foi a estação onde foi possível tratar mais informação. Outra conclusão que se retira para esta estação do ano, é que esta é a época do ano em que os nevoeiros apresentam uma extensão maior quer em termos temporais quer espaciais, o que é normal pois é a estação do ano em que a temperatura apresenta os valores mais baixos.

5.2 RELAÇÃO ENTRE O CAMPO ELÉCTRICO ATMOSFÉRICO E O NEVOEIRO NA REGIÃO DE ÉVORA

- Ao analisar-se a hora do início e fim do nevoeiro e as séries do campo eléctrico atmosférico para os vários dias em estudo, verifica-se que aparentemente não existe qualquer relação entre as séries do campo eléctrico e o nevoeiro.
- A correlação entre as séries do campo eléctrico atmosférico e as séries da BT8.7-BT10.8 não são estatisticamente significativas para os dias em estudo.
- Quando se correlacionam as séries do campo eléctrico atmosférico e o índice de nevoeiro, obtido aplicando a máscara de nevoeiro desenvolvida na região de Évora, também se obtêm resultados idênticos aos obtidos com as séries da BT8.7-BT10.8, ou seja, as correlações não são estatisticamente significativas para os dias em estudo.
- A série do campo eléctrico atmosférico é o reflexo de um número muito elevado de variáveis as quais podem contribuir para um aumento ou uma diminuição do campo, assim, extrair somente a contribuição que é da responsabilidade do nevoeiro é uma tarefa extremamente difícil, com pouco sucesso até ao momento.
- Devido à escassez de dados, as conclusões anteriores não são definitivas, devendo o estudo de tal relação ser estendido a um período substancialmente maior, numa região em que se efectuem simultaneamente observações sinópticas regulares, e a medição do campo eléctrico atmosférico.
- No futuro poder-se-á dar continuidade ao estudo da relação entre o campo eléctrico atmosférico e o nevoeiro, na perspectiva de extrair da série do campo eléctrico atmosférico a variação que é da responsabilidade do nevoeiro. Só dessa forma se poderão obter resultados mais conclusivos.

5. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS DE TRABALHO FUTURO

O principal objectivo deste trabalho foi a detecção remota de nevoeiros e nuvens a partir de imagens de satélite. Foi assim desenvolvida a partir de imagens de satélite, uma máscara de nevoeiros e nuvens aplicável a toda a região Sul de Portugal. A máscara desenvolvida visa sobretudo a detecção de nevoeiros e secundariamente a detecção das restantes nuvens. Outro objectivo do presente trabalho foi o estudo da relação entre o valor do campo eléctrico ao nível do solo e a ocorrência de nevoeiros, como contribuição para o desenvolvimento de métodos para a detecção precoce de nevoeiros.

Foram analisadas várias imagens do satélite de órbita geostacionária MSG-SEVIRI, seleccionando-se para o estudo os canais espectrais centrados nos seguintes comprimentos de onda: 3.9, 8.7, e 10.8 μm . As observações efectuadas na estação meteorológica da Base Aérea Nº11, em Beja foram utilizadas para confirmar a presença de nevoeiro na região, durante o período em que o estudo foi realizado. Utilizaram-se ainda as medições do campo eléctrico na região de Évora, a fim de se determinar a correlação com a ocorrência de nevoeiros. As principais conclusões deste trabalho apresentam-se nas secções que se seguem.

5.1 MÁSCARA DE NUVENS E NEVOEIRO

- A primeira conclusão do presente estudo resultou da selecção dos testes para detecção e classificação de nevoeiros e nuvens. Esta selecção permitiu concluir que os métodos mais adequados para a detecção de nevoeiros resultam da diferença da Temperatura de Brilho (BT) entre os canais espectrais IV3.9 e IV10.8, e os canais espectrais IV8.7 e IV10.8. As razões para esta escolha resultam sobretudo, do facto de os valores da emissividade da água e gelo serem diferentes nos canais anteriormente referidos (secção 2.3, capítulo 2).
- Constatou-se que existiam diferenças significativas nas diversas séries em estudo (BT3.9-BT10.8, BT8.7-BT10.8, e BT10.8), para as diferentes estações do ano. Por esta razão optou-se por se discriminar o método para cada estação do ano. Para além disso, cada algoritmo sazonal desenvolvido encontra-se subdividido em três períodos: o nocturno, o do nascer do Sol, e o diurno.
- A análise dos resultados obtidos numa base sazonal, para os dois métodos em estudo (BT3.9-BT10.8 e BT8.7-BT10.8), e para os três períodos seleccionados (noite, nascer do Sol, e dia), permitiu concluir que a melhor solução para a detecção de nevoeiros seria empregar o método BT3.9-BT10.8 durante o período nocturno e diurno, pois com este método as diferenças entre uma região com nevoeiro e com céu limpo são maiores, minimizando o erro; já para o período do nascer do Sol não é possível aplicar este método, pois corresponde ao período em que as séries da BT3.9-BT10.8, passam de valores negativos para positivos (secção 2.3.1, capítulo 2), logo para este período aplica-se o método BT8.7-BT10.8 para a detecção de nevoeiros. O método BT8.7-BT10.8, poderá ser empregue em qualquer período, no entanto como as diferenças entre uma

região com e sem nevoeiro são menores relativamente ao método alternativo, só se optou por empregar este método para o período do nascer do Sol.

- O erro associado à detecção de nevoeiro através do método desenvolvido foi estimado, através da comparação dos resultados obtidos com observações feitas na Base Aérea N° 11 (Beja). Esta análise demonstrou que o objectivo do desenvolvimento de um algoritmo para a detecção e classificação de nuvens e nevoeiros, foi amplamente alcançado com uma taxa de sucesso global da ordem dos 72%. Em termos sazonais foi no Inverno que se obteve a taxa de sucesso do algoritmo superior (76.2%). Em termos de períodos do dia, o melhor resultado ocorreu no período nocturno, com uma taxa de sucesso na ordem dos 78%, e o erro maior ocorreu no período do nascer do Sol, com uma taxa de sucesso na ordem dos 59%.
- Pode afirmar-se que a utilização da máscara desenvolvida para a detecção remota de nuvens e nevoeiros é indispensável para os períodos da noite e nascer do Sol. Durante o dia a presença do nevoeiro detectada pela máscara é confirmada pelo canal do visível.

5.1.1 MÁSCARA DE NUVENS E NEVOEIRO – PRIMAVERA

- Na Primavera a máscara detecta nevoeiro no período nocturno quando os valores da BT3.9-BT10.8 variarem entre os -8.5 K e os -5.5 K, e os valores da BT10.8 variarem entre os 273 K e os 285 K. Para o período do nascer do Sol tem-se nevoeiro quando os valores da BT8.7-BT10.8 forem inferiores à equação linear $-0.0386 \times BT10.8 + 7.7696 + 2 \times 0.26$, e os valores da BT10.8 variarem entre os 273 K e os 283 K. Já para o período diurno, para a máscara detectar nevoeiro os valores da BT3.9-BT10.8 têm que variar entre os -0.5 K e os 20 K, e os valores da BT10.8 variar entre os 273 K e os 285 K.
- A análise das imagens obtidas com a máscara para esta estação do ano permitem concluir que máscara de nuvens obtém bons resultados, detectando tanto nevoeiro, como nuvens médias e altas. Para o período do nascer do Sol a área com nevoeiro em alguns casos parece ser mais extensa do que para os restantes períodos do dia, tal deve-se à utilização do método BT8.7-BT10.8 para este período, contrariamente aos dois outros períodos em que se utiliza o método BT3.9-BT10.8, o qual é mais eficiente a detectar nevoeiros, como tal no período nocturno e diurno os erros são menores (secção 4.1.1 do capítulo 4). Comparando as imagens com a evolução dos registos do nevoeiro em Beja, conclui-se que detecção de nevoeiro para esta época do ano é eficiente, pois a taxa de sucesso é da ordem dos 67%.

5.1.2 MÁSCARA DE NUVENS E NEVOEIRO – VERÃO

- No Verão a máscara detecta nevoeiro para o período da noite quando os valores da BT3.9-BT10.8 variarem entre os -9 K e os -6 K, e os valores da BT10.8 variarem entre os 283 K e os 290 K. Para o período do nascer do Sol tem-se nevoeiro quando os valores da BT8.7-BT10.8 variarem entre -4 K e os -2.8 K, e os valores da BT10.8 variarem entre os 283 K e os 291 K. Por último, para o período diurno a máscara detecta

nevoeiro se os valores da BT3.9-BT10.8 variarem entre os -0.5 K e os 20 K, e os valores da BT10.8 variarem entre os 283 K e os 292 K.

- A análise das imagens obtidas com a máscara de nuvens e nevoeiro para o Verão permite concluir que a máscara obtém bons resultados, quando se comparam essas imagens com as do infravermelho e do visível. Comparando as imagens da máscara com a evolução dos registos do nevoeiro em Beja, conclui-se que a detecção de nevoeiro para esta época do ano é eficiente, obtendo uma taxa de sucesso na ordem dos 71%, no entanto, e tal como para as outras estações do ano, é preciso ter a noção de que os nevoeiros e estratos baixos são extremamente difíceis de distinguir, como tal uma estação meteorológica pode não estar a reportar nevoeiro e a máscara a detectar. Neste caso o que provavelmente ocorre é que o nevoeiro se elevou transformando-se em estratos baixos.

5.1.3 MÁSCARA DE NUVENS E NEVOEIRO – OUTONO

- No Outono a máscara de nuvens e nevoeiro detecta nevoeiro no período nocturno quando os valores da BT3.9-BT10.8 variam entre os -9 K e os -5.25 K, e os valores da BT10.8 variarem entre os 273 K e os 290 K. Para o período do nascer do Sol tem-se nevoeiro quando os valores da BT8.7-BT10.8 forem inferiores à equação linear $-0.0641 \times BT10.8 + 15.113 + 2 \times 0.2$ e os valores da BT10.8 variarem entre os 273 K e os 290 K. Para o período diurno a máscara detecta nevoeiro quando os valores da BT3.9-BT10.8 variarem entre os -0.5 K e os 20 K, e os valores da BT10.8 variarem entre os 273 K e os 290 K.
- O Outono, foi o período do ano mais complexo no que toca à construção de uma máscara de nuvens. Tal deveu-se à grande heterogeneidade de temperaturas nos meses considerados. A análise das imagens obtidas com a máscara para o Outono permite concluir que se obtém resultados satisfatórios, detectando tanto nevoeiro, como nuvens médias e altas, por comparação com as imagens do infravermelho e visível. Comparando as imagens com a evolução dos registos do nevoeiro em Beja, conclui-se que a detecção de nevoeiro para esta época do ano é de uma forma geral eficiente, com uma taxa de sucesso na ordem dos 71%.

5.1.4 MÁSCARA DE NUVENS E NEVOEIRO – INVERNO

- No Inverno a máscara detecta nevoeiro para o período da noite quando os valores da BT3.9-BT10.8 variarem entre os -9.5 K e os -5 K, e os valores da BT10.8 variarem entre os 273 K e os 283 K. Para o período do nascer do Sol tem-se nevoeiro quando os valores da BT8.7-BT10.8 variam entre -4 K e os -2.3 K, e os valores da BT10.8 variarem entre os 273 K e os 283 K. Por fim para o período diurno a máscara detecta nevoeiro se os valores da BT3.9-BT10.8 variarem entre os -0.5 K e os 20 K, e os valores da BT10.8 variarem entre os 283 K e os 285 K.
- Tal como para as outras estações do ano, também para o Inverno a detecção de nevoeiro durante a noite e o nascer do Sol é extremamente difícil utilizando somente o

canal do infravermelho. A análise das imagens obtidas com a máscara de nuvens e nevoeiro para o Inverno permite concluir que máscara obtém bons resultados, seja quando se comparam essas imagens com as do infravermelho e do visível, seja quando se compara a evolução dos registos do nevoeiro em Beja com a evolução das imagens da máscara, obtendo-se para esta estação do ano a maior taxa de sucesso entre as quatro estações do ano, com um valor na ordem dos 76%. Tal situação deve-se ao facto de o Inverno ser a estação do ano mais propícia à formação de nevoeiros, e onde a duração destes se estende por mais tempo, por essa razão esta foi a estação onde foi possível tratar mais informação. Outra conclusão que se retira para esta estação do ano, é que esta é a época do ano em que os nevoeiros apresentam uma extensão maior quer em termos temporais quer espaciais, o que é normal pois é a estação do ano em que a temperatura apresenta os valores mais baixos.

5.2 RELAÇÃO ENTRE O CAMPO ELÉCTRICO ATMOSFÉRICO E O NEVOEIRO NA REGIÃO DE ÉVORA

- Ao analisar-se a hora do início e fim do nevoeiro e as séries do campo eléctrico atmosférico para os vários dias em estudo, verifica-se que aparentemente não existe qualquer relação entre as séries do campo eléctrico e o nevoeiro.
- A correlação entre as séries do campo eléctrico atmosférico e as séries da BT8.7-BT10.8 não são estatisticamente significativas para os dias em estudo.
- Quando se correlacionam as séries do campo eléctrico atmosférico e o índice de nevoeiro, obtido aplicando a máscara de nevoeiro desenvolvida na região de Évora, também se obtêm resultados idênticos aos obtidos com as séries da BT8.7-BT10.8, ou seja, as correlações não são estatisticamente significativas para os dias em estudo.
- A série do campo eléctrico atmosférico é o reflexo de um número muito elevado de variáveis as quais podem contribuir para um aumento ou uma diminuição do campo, assim, extrair somente a contribuição que é da responsabilidade do nevoeiro é uma tarefa extremamente difícil, com pouco sucesso até ao momento.
- Devido à escassez de dados, as conclusões anteriores não são definitivas, devendo o estudo de tal relação ser estendido a um período substancialmente maior, numa região em que se efectuem simultaneamente observações sinópticas regulares, e a medição do campo eléctrico atmosférico.
- No futuro poder-se-á dar continuidade ao estudo da relação entre o campo eléctrico atmosférico e o nevoeiro, na perspectiva de extrair da série do campo eléctrico atmosférico a variação que é da responsabilidade do nevoeiro. Só dessa forma se poderão obter resultados mais conclusivos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ackerman, S.A.; Strabala, K.I.; Menzel, W.P.; Frey, R.A.; Moeller, C.C.; Gumley, L.E. 1998: Discriminating Clear Sky from Clouds with MODIS. *J. Geophys. Res.*, 103, 32141-32157 pp.
- Ahrens, C. Donald. 2000: *Meteorology Today, an Introduction Weather Climate, and the Environment*, Sixth Edition, Brooks/Cole, 528 pp.
- Baum 2000: Detecting Clouds. *JGR*, nº105, 11781-11792 pp.
- Bendix, J.; Thies, B.; Cemark, J. 2004: Fog Detection with Terra-MODIS and MSG-SEVIRI. *Proceedings of the 2003 Meteorological Satellite Conference, Darmstadt*, 427-435 pp.
- Bendix, J.; Thies, B.; Cemark, J.; Naub, T. 2005: Ground Fog Detection from Space Based on MODIS Daytime Data – A Feasibility Study. *Weather and Forecasting*, 20, 989-1005.
- Brasseur, G.; Solomon, S. 1986: *Aeronomy of the Middle Atmosphere*. Dordrecht D. Reidel Publishing, 452 pp.
- Camargo, R. 2003: Nevoeiro. *Laboratorio de Meteorologia Sinotica*. Cassia Simons Janeiro n. 2996259, 29 pp.
- Cemark, J.; Thies, B.; Bendix, J. 2004: A New Approach to Fog Detection Using SEVIRI and MODIS Data. *Proceedings of the 2004 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, Darmstadt, Germany*, 130-136.
- Echer, M. 2004: *Desenvolvimento de um Sistema de Mapeamento Automático da Fração de Cobertura de Nuvens*, Tese de Doutorado, INPE, 149 pp.
- Echer, E.; Souza, M. P.; Schuch, N. J. 2001: A Lei de Beer Aplicada na Atmosfera Terrestre. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 23, n. 3, 276-283 pp.
- Frolich, C.; Lean, J. 1998: The Sun's Total Irradiance: Cycles, Trends, and Related Climate Change Uncertainties since 1978. *Geophysical Research Letter*, v. 25, n. 23, 4377-4380 pp.
- Hoyt, D. V.; Schatten, K.H. 1997: *The Role of the Sun in Climate Change*. New York: Oxford University Press, 288 pp
- Iqbal, M. 1983: *Introduction to Solar Radiation*. London Academic, 381 pp.
- Iribarne, J. V.; Cho, H. R. 1980: *Atmospheric Physics*. Reidel Publishing, Dordrecht, Holanda, 212pp.
- Kerkmann, J. 2004: Applications of Meteosat Second Generation (MSG) - Meteorological Use of the SEVIRI IR3.9 Channel. *EUMETSAT*, 101 pp.
- Kreyszig, E. 1970: *Introductory Mathematical Statistics. Principles and Methods*, John Wiley & Sons, 470 pp.

- Lenoble, J. 1993: Atmospheric Radiative Transfer. A. DEEPAK Publishing, 532 pp.
- Lester, P. 2000: Aviation Weather. 2nd Edition, JEPPESEN Sanderson Training Products.
- MacGorman, D.R.; Rust, W.D. 1998: The Electrical Nature of Storms. D. Oxford Univ. Press, Ch.2.
- Martins, F. R.; Souza, M. P.; Pereira, E. B. 2003: Comparative Study of Satellite and Ground Techniques for Cloud Cover Determination . Advances in Space Research. v. 32. n.11, 2275-2280 pp.
- Mateus, C.; Pires, O.; DaCâmara, C. 2002: Variabilidade Climática e Afloramento Costeiro em Portugal Continental, Relatório de Estágio Profissionalizante, FCUL, 85pp.
- McCartney, J. H. 1976: Optics of the Atmosphere – Scattering by Molecules and Particles. John Wiley and Sons, New York, 426 pp.
- Moreira, N.; Pires, O.; Pontes, M.; Corte-Real, J. 1997: Tendências de Extremos da Agitação Marítima em Sines e do Campo de Ventos no Atlântico Nordeste, Relatório de Estágio Profissionalizante, FCUL, 100 pp.
- Peixoto, J.P.; A.H.Oort. 1992: Physics of Climat, American Institute of Physics, 520 pp.
- Pereira, E.B.; Colle, S. 1997: A Energia que Vem do Sol. Ciência Hoje. V22, nº130, 24-35 pp.
- Salby,M.L. 1995: Fundamentals of Atmospheric Physics. Academic New York, 624 pp.
- Schmetz, J.; Govaerts, Y.; König, M.; Lutz, H.; Ratier, A.; Tjemkes, S. 2005: A Short Introduction to Meteosat Second Generation (MSG).
- Serrano,C.; Zuber,D; Reis, H; Rosa,R. 2003: Estudo Preliminar da Relação entre o Campo Eléctrico Atmosférico e a Meteorologia Local na Região de Lisboa. Proc. 3º Simpósio de Meteorologia e Geofísica da APMG, 46-50 pp.
- Sneyers, R. 1975: Sur l'Analyse Statistique dès Séries d'Observations, Thechinal Note N°143, WMO-N°415.
- Strabala; Menzel; Ackerman, 1994: Tri-Spectral IR Thermodynamic Phase Algorithm. JAM, nº2, 212-229 pp.
- van der Hege, J.; Bruin, T. 1999: Proc. Int. Conf. On Atmospheric Electricity ICAE 1999.
- Vianello, R.L.;Alves, A.R. 1991: Meteorologia Básica e Aplicações. Imprensa Universitária de Belo Horizonte, 449 pp.
- Yang, P.; Baum, B.A. 2003: Cloud Properties. Encyclopaedia of Atmospheric Sciences, V nº5, 1956-1965pp.

Zwatz-Meise, V. 2004: Detection and Nowcasting of Fog. EUMETSAT, 8 pp.

LISTA DE SIMBOLOS

$B_\lambda(T)$	Função de Planck
c	Velocidade da luz
d	Dimensão da partícula
E_∞	Constante solar
F	Irradiância solar
K	Constante de Boltzmann
k	Coefficientes de dispersão da radiação
$M()$	Média da amostra
N	Número de termos da série
$P()$	Probabilidade
\hat{R}_{xyr}	Função de covariância cruzada
T	Temperatura absoluta
T_p	Período, intervalo de tempo
t	Tempo
$var()$	Variância de uma amostra
$x(t)$	Realização do processo estocástico $X(t)$
α	Coefficiente de extinção da radiação
Δl	Espessura óptica percorrida na atmosfera
λ	Comprimento de onda
ω	Albedo de dispersão simples
$\hat{\rho}_{xy}(\tau)$	Função de correlação cruzada
σ	Coefficientes de absorção da radiação (secção 2.1.2 do cap. 2)
σ	Constante de Stefan-Boltzmann (secção 2.1.5 do cap. 2)
$\hat{\sigma}_x$	Desvio padrão do processo $X(t)$
τ	Desfasamento no tempo
v	Nível de significância

LISTA DE ABREVIATURAS

Ac	Alto cumulos
As	Alto estratos
BT	Temperatura de brilho
BT3.9	Temperatura de brilho para o canal espectral 3.9 μm
BT8.7	Temperatura de brilho para o canal espectral 8.7 μm
BT10.8	Temperatura de brilho para o canal espectral 10.8 μm
Cb	Cumulonimbus
Cc	Cirrocumulos
c.d.o.	Comprimento de onda
CGE	Centro de Geofísica de Évora
Ci	Cirros
Cs	Cirroestratos
Cu	Cumulos
d.p	Desvio padrão
GERB	Geostationary Earth Radiation Budget
HRV	Canal de alta resolução no visível
IV	Infra-Vermelho
K	Graus Kelvin
m_i	Componente imaginária do índice de refração
MSG	Meteosat Second Generation
Ns	Nimboestratos
SEVIRI	Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager
Sc	Estratocumulos
St	Estratos
UTC	Universal Time Coordinate
VIS	Visível