



**UNIVERSIDADE DE ÉVORA**  
**ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

***Simulações numéricas sobre a formação e evolução  
de nevoeiros na Região Alentejo***

***Carlos Augusto Martins Policarpo***

Orientação: Rui Paulo Vasco Salgado

Coorientação: Maria João Tavares da Costa

**Mestrado em Ciências da Terra, da Atmosfera e do Espaço**

Área de especialização: Física da Atmosfera e do Clima

Dissertação

Évora, 2014



À Madalena e ao André



## AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda a minha família, em particular à Madalena e ao André, todo o carinho, amor, apoio e paciência que tiveram durante todo o curso mas em especial na fase em que decorreu a elaboração desta dissertação.

A todos os meus Amigos que sempre me apoiaram e ajudaram nos bons e maus momentos.

A todos os professores da Universidade de Évora que contribuíram para a minha formação académica ao longo do curso que agora termina.

Em particular quero agradecer ao Professor Doutor Rui Salgado pela sua sábia orientação, bem como conselhos, críticas e ensinamentos que foram essenciais na minha formação e conclusão deste trabalho e à Professora Doutora Maria João Costa pela coorientação, colaboração e disponibilidade fundamentais no desenrolar deste trabalho.

Ao Departamento de Física da Universidade de Évora, por todas as condições oferecidas para a execução desta Dissertação e ao CGE (Centro de Geofísica de Évora), em particular ao seu Diretor, Professor Doutor Heitor Reis, pelas condições que me ofereceram, nomeadamente, pela disponibilização de meios de cálculo e apoio técnico.

À Base Aérea Nº 11 na pessoa do seu Comandante, Excelentíssimo Senhor Coronel Mário Alberto Vilhena da Salvação Barreto, por me ter disponibilizado a utilização os dados da estação meteorológica da Base Aérea Nº11, para a realização deste trabalho.

À NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration, USA*) pelo fornecimento dos dados meteorológicos das restantes estações meteorológicas da região.

Agradeço à EUMETSAT (*European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites*) pelo fornecimento dos dados do satélite MSG SEVIRI do Satélite METEOSAT-10, e à NASA-GIOVANNI pelos dados fornecidos do sensor MODIS dos satélites TERRA e AQUA necessários à realização deste trabalho.

À ESA (*European Space Agency*) a disponibilização da aplicação BEAM-VISAT para análise de imagens de satélite e à Quantum-GIS a disponibilização da sua aplicação livre, de utilização em Sistemas de Informação Geográfica.

Ao CNRM/GMME (*Groupe de Météorologie de Moyenne Echelle du Centre National de Recherches Météorologiques*) da MÉTÉO FRANCE, pelo fornecimento do seu modelo Meso-NH (*Mesoscale Non-Hydrostatic Model*) e pelo acolhimento durante a minha estadia em Toulouse aquando do 7<sup>th</sup> Meso-NH User's Meeting, em 21 e 22 de novembro de 2013.

Agradeço ainda, à EDIA (Empresa de Desenvolvimento e Infraestruturas do Alqueva) em particular ao Excelentíssimo Senhor Engenheiro Jorge Vasquez a cedência dos dados referentes à ocupação da albufeira da Barragem de Alqueva.

A todos, muito obrigado.

Página intencionalmente em branco

## RESUMO

### ***Simulações numéricas sobre a formação e evolução de nevoeiros na Região Alentejo***

Os episódios de nevoeiro têm frequentemente grande impacto nos transportes aéreos, marítimos e terrestres, sendo de destacar os frequentes atrasos, desvios e cancelamentos na aviação com grandes impactos na sociedade. Por este fenómeno afetar sobretudo a visibilidade e por esta ser uma das variáveis meteorológicas mais difíceis de prever, torna a sua compreensão bastante necessária.

Este trabalho tem como principal objetivo, melhorar o conhecimento sobre a formação e evolução dos nevoeiros na Região do Alentejo, tendo sido utilizada como ferramenta essencial, o modelo atmosférico Meso-NH (*Mesoscale Non-Hydrostatic Model*).

Foram realizadas simulações numéricas a alta resolução sobre a região, recorrendo à técnica de aninhamento de grelhas (*grid nesting*). Os resultados obtidos foram confrontados com observações meteorológicas de superfície e de deteção remota por satélite, tendo sido identificados vários mecanismos forçadores e potenciadores da formação, intensificação, desenvolvimento e dissipação dos nevoeiros na Região.

Para os vários casos em estudo neste trabalho foi conseguida uma boa aproximação, na ocorrência e persistência do nevoeiro, entre as situações observadas e a sua modelação.

**Palavras-chave:** Nevoeiro, Modelação Numérica, Meso-NH, Previsão Meteorológica.

Página intencionalmente em branco

## ABSTRACT

### *Numerical simulations of fog formation and evolution in Alentejo Region*

Usually, a fog episode has a large impact on air, maritime and land transportation, most particularly in aviation, the frequent delays, diversions and cancellations that have various impacts on society. This phenomenon mostly affects visibility and this is one of the most difficult weather variables to predict, making its understanding quite necessary.

The aim of this work is the improvement of knowledge about the formation and evolution of fog in the Alentejo Region and for this purpose, the atmospheric model Meso-NH (Non-Hydrostatic Mesoscale Model) was used as an essential tool.

Numerical simulations were performed at high resolution in the region, using the grid nesting procedure. The results were compared with meteorological surface observations and satellite remote sensing. Various forcing mechanisms and enhancers for formation, intensification, development and dissipation of fog were identified in region.

A good approximation in occurrence and persistence was obtained between the observed situations and its modeling for the several cases studied in this work.

**Key-words:** Fog, Numerical Modeling, Meso-NH, Weather Forecast.

Página intencionalmente em branco

# ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	I
RESUMO .....	III
ABSTRACT .....	V
ÍNDICE .....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	XI
LISTA DE TABELAS.....	XIX
LISTA DE ACRÓNIMOS.....	XXI
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 – Objetivo .....	1
1.2 – Motivação.....	1
1.3 – Caracterização da Região .....	3
CAPÍTULO 2 – OS NEVOEIROS E A SUA PREVISÃO .....	9
2.1 – Os Nevoeiros .....	9
2.1.1 – A Formação de Nevoeiro .....	9
2.1.2 – Tipos de Nevoeiro .....	11
2.1.3 – Dissipação de Nevoeiro .....	13
2.2 – Climatologia dos Nevoeiros.....	15
2.3 – A Modelação Numérica de Nevoeiros .....	16
CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
3.1 – Observações Meteorológicas.....	21
3.1.1 – Observações de Superfície.....	22
3.1.2 – Imagens de Satélite.....	24
3.2 – Bases de Dados.....	30
3.2.1 – Cobertura da Superfície (ECOCLIMAP) .....	30
3.2.2 – Orografia (GTOPO30).....	33
3.2.3 – Composição do Solo (Bases de Dados FAO) .....	34
3.3 – Descrição do Modelo MESO-NH .....	34
3.3.1 – Sistema de Coordenadas e Discretização do Modelo .....	36
3.3.2 – Interação Superfície - Atmosfera.....	38
3.3.3 – Física do Modelo .....	43
3.3.4 – Variáveis Meteorológicas .....	47
3.4 – Simulações.....	50
3.4.1 – Estratégia Adotada .....	55
3.4.2 – Validação da Parametrização a utilizar.....	58

CAPÍTULO 4 – ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	63
4.1 – Os Nevoeiros na Região Alentejo .....	64
4.2 – Casos de Estudo .....	69
4.2.1 – Caso I - 2012/12/08.....	71
4.2.2 – Caso II - 2012/12/23.....	77
4.2.3 – Caso III - 2013/02/05.....	83
4.2.4 – Caso IV - 2013/07/16.....	90
4.2.5 – Caso V - 2013/07/18.....	96
4.2.6 – Comparação entre Observações e as Simulações (Beja-Base Aérea).....	102
4.2.7 – Influência da Albufeira do Alqueva .....	105
4.3 – Análise dos Resultados das Simulações em Modo de Previsão .....	110
4.3.1 – Caso I - 2012/12/08.....	110
4.3.2 – Caso II - 2012/12/23.....	111
4.3.3 – Caso III - 2013/02/05.....	112
4.3.4 – Caso IV - 2013/07/16.....	112
4.3.5 – Caso V - 2013/07/18.....	113
4.3.6 – Diferenças entre os Resultados do Modelo no Modo de Previsão e no Modo de Simulação.....	114
4.3.7 – Comparação com as Observações e as Simulações (Beja-Base Aérea) ..	116
4.5 – Discussão dos Resultados .....	119
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	123
5.1 – Sugestões para Trabalhos Futuros .....	127
ANEXO 1.A – Mapas de Solo, Ocupação e População .....	131
ANEXO 1.B – Mapas Climáticos para a Península Ibérica.....	133
ANEXO 2.A – Tipos de Nevoeiro (esquemas).....	135
ANEXO 3.A – Códigos METAR dos dias de nevoeiro em estudo.....	137
ANEXO 3.B – Características Espectrais dos Canais do SEVIRI.....	141
ANEXO 3.C – Composições RGB e Esquema de Interpretação .....	143
ANEXO 3.D – Utilização da Aplicação BEAM_VISAT.....	145
ANEXO 3.E – Alteração da base de dados ECOCLIMAP .....	147
ANEXO 3.F – Exemplo de Aplicação do Modelo FLake .....	149
ANEXO 3.G – Processos de Microfísica do Modelo-MH .....	151
ANEXO 3.H – Comparação dos Resultados de Várias Configurações com as Imagens de Satélite .....	153
ANEXO 3.I – Erro Médio e Erro Médio Absoluto entre as Observações e Simulações .....	155
ANEXO 4.1.A – Frequência Mensal de Nevoeiro Segundo a Direção do Vento na Base Aérea de Beja .....	157
ANEXO 4.2.A – Sequência de Imagens de Satélite (Caso I).....	159
ANEXO 4.2.B – Altura do Topo das Nuvens – Meso-NH (Caso I).....	161

---

ANEXO 4.2.C – Fração de Nuvens (Nevoeiro) e Escoamento a 5 m de Altura – Meso-NH (Caso I).....	163
ANEXO 4.2.D – Perfis Verticais da Temperatura do ar e da Temperatura do Ponto de Orvalho desde a superfície até 1000 m de Altura para o Ponto de “Beja – Base Aérea” (Caso I).....	165
ANEXO 4.2.E – Sequência de Imagens de Satélite (Caso II).....	167
ANEXO 4.2.F – Altura do Topo das Nuvens – Meso-NH (Caso II).....	169
ANEXO 4.2.G – Fração de Nuvens (Nevoeiro) e Escoamento a 5 m de Altura – Meso-NH (Caso II).....	171
ANEXO 4.2.H – Perfis Verticais da Temperatura do ar e da Temperatura do Ponto de Orvalho desde a superfície até 1000 m de Altura para o Ponto de “Beja – Base Aérea” (Caso II).....	173
ANEXO 4.2.I – Sequência de Imagens de Satélite (Caso III).....	175
ANEXO 4.2.J – Altura do Topo das Nuvens – Meso-NH (Caso III).....	177
ANEXO 4.2.K – Fração de Nuvens (Nevoeiro) e Escoamento a 5 m de Altura – Meso-NH (Caso III).....	179
ANEXO 4.2.L – Perfis Verticais da Temperatura do ar e da Temperatura do Ponto de Orvalho desde a superfície até 1000 m de Altura para o Ponto de “Beja – Base Aérea” (Caso III).....	181
ANEXO 4.2.M – Sequência de Imagens de Satélite (Caso IV).....	183
ANEXO 4.2.N – Altura do Topo das Nuvens – Meso-NH (Caso IV).....	185
ANEXO 4.2.O – Fração de Nuvens (Nevoeiro) e Escoamento a 5 m de Altura – Meso-NH (Caso IV).....	187
ANEXO 4.2.P – Perfis Verticais da Temperatura do ar e da Temperatura do Ponto de Orvalho desde a superfície até 1000 m de Altura para o Ponto de “Beja – Base Aérea” (Caso IV).....	189
ANEXO 4.2.Q – Sequência de Imagens de Satélite (Caso V).....	191
ANEXO 4.2.R – Altura do Topo das Nuvens – Meso-NH (Caso V).....	193
ANEXO 4.2.S – Fração de Nuvens (Nevoeiro) e Escoamento a 5 m de Altura – Meso-NH (Caso V).....	195
ANEXO 4.2.T – Perfis Verticais da Temperatura do ar e da Temperatura do Ponto de Orvalho desde a superfície até 1000 m de Altura para o Ponto de “Beja – Base Aérea” (Caso V).....	197
ANEXO 4.2.U – Comparação entre as Observações e a Simulações (Beja-Base Aérea).....	199
ANEXO 4.2.V – Análise da Influência da Albufeira do Alqueva - Diferença de Nebulosidade (Secções Verticais Com e Sem “Alqueva”).....	205
ANEXO 4.3.A – Comparação entre as Observações e a Simulações (Beja-Base Aérea).....	209
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	215

---

Página intencionalmente em branco

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> - Acidentes de Aviação relacionados com restrições à visibilidade e Nuvens nos EUA (1994-2003) (ROSS-LAZAROV et al., 2012). .....	2
<b>Figura 1.2</b> - Mapa Hipsométrico de Portugal. url: <a href="http://www.igeo.pt/atlas/">www.igeo.pt/atlas/</a> - Instituto Geográfico Português.....	3
<b>Figura 1.3</b> - Localização da Região Alentejo url: <a href="http://www.visitalentejo.pt/">www.visitalentejo.pt/</a> - Turismo do Alentejo. ....	3
<b>Figura 1.4</b> - a) Orografia e Principais Serras da Região b). Principais Bacias Hidrográficas.....	4
<b>Figura 1.5</b> - Classificação climática de Köppen-Geiger na Península Ibérica ( <a href="http://www.ipma.pt">www.ipma.pt</a> ). .....	5
<b>Figura 1.6</b> - Massas de ar em Portugal (Santos, 1974). .....	5
<b>Figura 1.7</b> - Sistema global de rega do Alqueva (url: <a href="http://www.alqueva.com.pt">www.alqueva.com.pt</a> ). .....	6
<b>Figura 1.8</b> - Vista sobre a Barragem do Alqueva (EDIA,2013). .....	7
<b>Figura 2.1</b> - Processos de saturação do ar (Stull, 2000).....	10
<b>Figura 2.2</b> - Nevoeiro de radiação (a) Fase 1 - arrefecimento radiativo e deposição de orvalho, (b) Fase 2 - Formação inicial do nevoeiro, (c) Fase 3 (i) - desenvolvimento do nevoeiro (com céu visível), e (d) Fase 3 (ii) - desenvolvimento do nevoeiro (com céu obscurecido). METEOFFICE (1996). .....	12
<b>Figura 2.3</b> - Dissipação de nevoeiros (Ross-Lazarov et al., 2012; url: <a href="http://www.meted.ucar.edu/fog_int/">www.meted.ucar.edu/fog_int/</a> ).14	
<b>Figura 2.4</b> - Dissipação de nevoeiros por cobertura de nuvens (Ross-Lazarov et al., 2012; url: <a href="http://www.meted.ucar.edu/fog_int/">www.meted.ucar.edu/fog_int/</a> ).....	14
<b>Figura 2.5</b> - Dissipação de nevoeiros por intensificação da velocidade do vento. (Ross-Lazarov et al., 2012; url: <a href="http://www.meted.ucar.edu/fog_int/">www.meted.ucar.edu/fog_int/</a> ).....	15
<b>Figura 2.6</b> - Componentes da Camada Limite em condições de “bom tempo” (Stull, 2000).....	17
<b>Figura 3.1</b> - Instrumentos da Base Aérea de Beja; a) transmissómetro, b) difusómetro. ....	22
<b>Figura 3.2</b> - Localização das estações de superfície nos Domínios 1 e 2 do Modelo utilizado (a azul - superfícies aquáticas).....	23
<b>Figura 3.3</b> - Temperatura da água da Albufeira do Alqueva: a) série temporal de temperaturas à superfície; b) temperatura média mensal da temperatura de fundo e à superfície.....	24
<b>Figura 3.4</b> - Balanço de energia do sistema terra-atmosfera (Lutgens & Tarbuck, 2013).....	25
<b>Figura 3.5</b> - Imagens de satélite do dia 2013/07/18 às 03:12 UTC: a) VIS, b) IR; e às 09:12UTC: c) VIS, d) IR.....	26
<b>Figura 3.6</b> - Diferenças entre os canais 9 e 4 (IR10.8 - IR3.9) do SEVIRI apresentando a evolução do nevoeiro e nuvens baixas cerca das a) 06:00 e b) 09:00 UTC do dia 05-02-2013. ....	28
<b>Figura 3.7</b> - Composições: a) Fog-Night RGB e b) Natural RGB; do SEVIRI apresentando a evolução do nevoeiro e nuvens baixas cerca das 06 e 09 UTC do dia 05-02-2013.....	29
<b>Figura 3.8</b> - Organização da base de dados ECOCLIMAP (Faroux et al., 2013).....	31
<b>Figura 3.9</b> - Mapa ECOCLIMAP-II/Europe simplificado com 103 classes de padrões dominantes (Faroux et al., 2013).....	31

## LISTA DE FIGURAS

---

<b>Figura 3.10</b> -Representação da base de dados ECOCLIMAP v2.0 a) original e b) modificada para a região. As áreas a negro representam superfícies aquáticas. ....	32
<b>Figura 3.11</b> -Imagem da base de dados GTOPO30 ( <a href="http://eros.usgs.gov/">http://eros.usgs.gov/</a> ).....	33
<b>Figura 3.12</b> -Representação da base de dados GTOPO30 a) original e b) modificada para Alqueva. ..	33
<b>Figura 3.13</b> -Fração de a) Argila e b) Areia na região em estudo.....	34
<b>Figura 3.14</b> -Coordenada vertical Gal-Chen & Sommerville .....	36
<b>Figura 3.15</b> -Discretização na horizontal a) e na vertical b) .....	37
<b>Figura 3.16</b> -Exemplo de malha com uma estrutura de <i>grid nesting</i> horizontal e temporal.....	38
<b>Figura 3.17</b> -Esquema de representação dos principais processos e funcionalidades do SURFEX (Masson et al., 2013). ....	39
<b>Figura 3.18</b> -Esquema representativo da organização da superfície usando os quatro principais mosaicos e fragmentos para a natureza (solo e vegetação) (Masson et al., 2013).....	39
<b>Figura 3.19</b> -Representação esquemática das principais variáveis de prognóstico e processos considerados no modelo TEB ( <a href="http://www.cnrm-game.fr/spip.php?article199&amp;lang=en">url: www.cnrm-game.fr/spip.php?article199&amp;lang=en</a> ). 41	41
<b>Figura 3.20</b> -Esquemas de parametrização subgrealha para nuvens quentes, nuvens com gelo e nuvens convectivas ( <a href="http://mesonh.aero.obs-mip.fr">url: http://mesonh.aero.obs-mip.fr</a> ).....	46
<b>Figura 3.21</b> -Diagrama dos esquemas de microfísica ICE3 e ICE4. Os diferentes processos designados por grupos de três letras estão descritos no anexo 3.G. ....	46
<b>Figura 3.22</b> -Configuração dos domínios D1 e D2 do modelo.....	51
<b>Figura 3.23</b> -Níveis da grealha do modelo utilizado.....	52
<b>Figura 3.24</b> -Orografia dos domínios D1 e D2. ....	53
<b>Figura 3.25</b> -Superfícies aquáticas dos domínios D1 e D2. ....	53
<b>Figura 3.26</b> -Áreas urbanas dos domínios D1 e D2. ....	53
<b>Figura 3.27</b> -Fases necessárias ao desenvolvimento de simulações numéricas no modelo Meso-NH 54	54
<b>Figura 3.28</b> -Fotografias do <i>cluster</i> de computadores do CGE.....	55
<b>Figura 3.29</b> -Altura do topo das nuvens para o evento de 2013/02/05 às 09:00 UTC: a) Natural RGB; b) 1º nível a 10 m; c) 1º nível a 5 m; d) 1º nível a 2 m. ....	57
<b>Figura 3.30</b> -Altura do topo das nuvens para 2013/02/05 às 09:00 UTC: a) 1º nível a 10 m com EDKF; b) 1º nível a 10 m sem EDKF c) 1º nível a 5 m com EDKF; d) 1º nível a 5 m sem EDKF. ..	58
<b>Figura 3.31</b> -Comparação dos dados de diferentes definições do modelo .....	60
<b>Figura 3.32</b> -Gráficos de erro absoluto de várias variáveis, para as várias simulações. ....	61
<b>Figura 4.1</b> - Número médio mensal de dias com nevoeiro em várias estações meteorológicas da região (1981-2010). Évora - CC (1996-2010) e Sines (1990-2010).....	64
<b>Figura 4.2</b> - Número de dias com nevoeiro entre 1981 e 2010 em Portalegre, Badajoz e Beja.....	65
<b>Figura 4.3</b> - Número de dias com nevoeiro entre 1981 e 2010 em Portalegre, Badajoz e Beja.....	66
<b>Figura 4.4</b> - a) Número de dias com nevoeiro entre 1994 e 2012 em Beja – Base Aérea; b) Frequência de ocorrência de eventos de nevoeiro segundo a direção do vento. ....	66
<b>Figura 4.5</b> - Número médio mensal de dias com nevoeiro em Beja – Base Aérea: a) de 1994 e 2012; b) 1994 - 2002 e 2003 – 2012 .....	67

## LISTA DE FIGURAS

---

<b>Figura 4.6</b> - Número médio de dias com nevoeiro por hora em Beja – Base Aérea (2006 - 2012). *SR - nascer-do-sol; SS – pôr-do-sol .....	68
<b>Figura 4.7</b> - Diferença do número médio de dias com nevoeiro por hora em Beja entre as 06 e as 18 UTC entre (1994 – 2002) e (2003 – 2012): a) anual; b) horas por mês. ....	69
<b>Figura 4.8</b> - Imagens da composição <i>True Color</i> RGB – radiômetro MODIS.....	70
<b>Figura 4.9</b> - Situação sinóptica às 00:00UTC do dia 2012/12/08. a) Superfície (MSLP & T2m); b) Altitude (H500 & T500).....	71
<b>Figura 4.10</b> - Sequência de Imagens de Satélite: 21:12, 09:12 e 15:12 UTC (ver todas no ANEXO 4.2.A)	71
<b>Figura 4.11</b> - Simulação da Altura do Topo das Nuvens às 21:00, 09:00 e 15:00 UTC (todas no ANEXO 4.2.B).....	72
<b>Figura 4.12</b> - Simulação da Fração de Nuvens (Nevoeiro – escala de azuis) e Escoamento (vetores) a 5 m de altura às 22:00, 04:00 e 10:00 UTC no Domínio D1 (todas no ANEXO 4.2.C).....	73
<b>Figura 4.13</b> - Simulação do “Número de Horas com Nevoeiro” nos dois Domínios, entre as 21:00 e as 15:00 UTC. ....	73
<b>Figura 4.14</b> - Simulação da Fração de Nuvens (Nevoeiro – escala de azuis) e escoamento (vetores) a 5 m de altura à 01:00, 04:00 e 07:00 UTC no Domínio D2. ....	74
<b>Figura 4.15</b> - Simulação da razão de mistura da água líquida à 01:00, 04:00 e 07:00 UTC em D2. ....	74
<b>Figura 4.16</b> - Simulação da visibilidade horizontal à 01:00, 04:00 e 07:00 UTC em D2.....	75
<b>Figura 4.17</b> - Perfis Verticais simulados da Temperatura do Ar e da Temperatura do Ponto de Orvalho desde a superfície até 1000 m de Altitude para o Ponto de “Beja – Base Aérea” às 02, 07 e 08 UTC (todas no ANEXO 4.2.D) .....	75
<b>Figura 4.18</b> - Simulação da evolução temporal (21 às 15 UTC) da temperatura do ar (linhas) e razão de mistura da água líquida (escala de cores) em altura (0 - 1 km) para o Ponto de “Beja – Base Aérea”. A linha a tracejado representa a Base da Inversão Térmica.....	76
<b>Figura 4.19</b> - Simulação da evolução temporal (21 às 15 UTC) da temperatura do ar (linhas) e razão de mistura da água líquida (escala de cores) em altura (0 - 1 km) para o Ponto de “Beja – Base Aérea”. A linha a tracejado representa a Base da Inversão Térmica.....	77
<b>Figura 4.20</b> - Situação sinóptica às 00:00UTC do dia 2012/12/23. a) Superfície (MSLP & T2m); b) Altitude (H500 & T500).....	77
<b>Figura 4.21</b> - Sequência de Imagens de Satélite às 23:12, 09:12 e 12:12 UTC (todas no ANEXO 4.2.E)	78
<b>Figura 4.22</b> - Simulação da Altura do Topo das Nuvens às 23:00, 09:00 e 12:00 UTC (todas no ANEXO 4.2.F) .....	78
<b>Figura 4.23</b> - Simulação da Fração de Nuvens (Nevoeiro – escala de azuis) e Escoamento (vetores) a 5 m de altura às 22:00, 08:00 e 12:00 UTC no Domínio D1 (todas no ANEXO 4.2.G) .....	79
<b>Figura 4.24</b> - Simulação do “Número de Horas com Nevoeiro” nos dois Domínios, entre as 21:00 e as 15:00 UTC. ....	80
<b>Figura 4.25</b> - Simulação da Fração de Nuvens (Nevoeiro – escala de azuis) e escoamento (vetores) a 5 m de altura à 00:00, 08:00 e 12:00 UTC no Domínio D2. ....	80
<b>Figura 4.26</b> - Simulação da razão de mistura da água líquida à 01:00, 04:00 e 07:00 UTC em D2. ....	81
<b>Figura 4.27</b> - Simulação da visibilidade horizontal à 01:00, 04:00 e 07:00 UTC em D2.....	81

<b>Figura 4.28</b> -Perfis Verticais simulados da Temperatura do Ar e da Temperatura do Ponto de Orvalho desde a superfície até 1000 m de Altitude para o Ponto de “Beja – Base Aérea” (todas no ANEXO 4.2.H). .....	82
<b>Figura 4.29</b> -Simulação da evolução temporal (21 às 15 UTC) da temperatura do ar (linhas) e razão de mistura para a água líquida (escala de cores) em altura (0 – 1 km) para o Ponto de “Beja – Base Aérea” .....	82
<b>Figura 4.30</b> -Simulação da evolução temporal (21 às 15 UTC) da temperatura do ar (linhas) e razão de mistura para a água líquida (escala de cores) em altura (0 - 1 km) para o Ponto de “Alqueva” .....	83
<b>Figura 4.31</b> -Situação sinóptica às 00:00UTC do dia 2012/12/23. a) Superfície (MSLP & T2m); b) Altitude (H500 & T500) .....	84
<b>Figura 4.32</b> -Sequência de Imagens de Satélite às 00:12, 09:12 e 15:12 UTC (todas no ANEXO 4.2.I). 84	
<b>Figura 4.33</b> -Simulação da Altura do Topo das Nuvens às 02:00, 09:00 e 15:00 UTC (todas no ANEXO 4.2.J) .....	85
<b>Figura 4.34</b> -Simulação da Fração de Nuvens (Nevoeiro – escala de azuis) e Escoamento (vetores) a 5 m de altura às 02:00, 09:00 e 12:00 UTC no Domínio D1 (todas no ANEXO 4.2.K) .....	86
<b>Figura 4.35</b> -Simulação do “Número de Horas com Nevoeiro” nos dois Domínios, entre as 21:00 e as 15:00 UTC .....	86
<b>Figura 4.36</b> -Simulação da Fração de Nuvens (Nevoeiro – escala de azuis) e escoamento (vetores) a 5 m de altura às 06:00, 09:00 e 11:00 UTC no Domínio D2 .....	87
<b>Figura 4.37</b> -Simulação da razão de mistura da água líquida à 06:00, 09:00 e 11:00 UTC em D2 .....	87
<b>Figura 4.38</b> -Simulação da visibilidade horizontal à 01:00, 04:00 e 07:00 UTC em D2 .....	88
<b>Figura 4.39</b> -Perfis Verticais simulados da Temperatura do Ar e da Temperatura do Ponto de Orvalho desde a superfície até 1000 m de Altitude para o Ponto de “Beja – Base Aérea” (todas no ANEXO 4.2.L). .....	88
<b>Figura 4.40</b> -Simulação da evolução temporal (00 às 15 UTC) da temperatura do ar (linhas) e razão de mistura da água líquida (escala de cores) em altura (0 - 1 km) para o Ponto de “Beja – Base Aérea”. A linha a tracejado representa a Base da Inversão Térmica. ....	89
<b>Figura 4.41</b> -Simulação da evolução temporal (21 às 15 UTC) da temperatura do ar (linhas) e razão de mistura da água líquida (escala de cores) em altura (0 - 1 km) para o Ponto de “Beja – Base Aérea”. A linha a tracejado representa a Base da Inversão Térmica. ....	90
<b>Figura 4.42</b> -Situação sinóptica às 00:00UTC do dia 2012/12/23. a) Superfície (MSLP & T2m); b) Altitude (H500 & T500) .....	91
<b>Figura 4.43</b> -Sequência de Imagens de Satélite às 21:12, 06:12 e 10:12 UTC (todas no ANEXO 4.2.M).91	
<b>Figura 4.44</b> -Simulação da Altura do Topo das Nuvens às 21:00, 06:00 e 10:00 UTC (todas no ANEXO 4.2.N) .....	92
<b>Figura 4.45</b> -Simulação da Fração de Nuvens (Nevoeiro – escala de azuis) e Escoamento (vetores) a 5 m de altura às 03:00, 06:00 e 07:00 UTC no Domínio D1 (todas no ANEXO 4.2.O) .....	93
<b>Figura 4.46</b> -Simulação do “Número de Horas com Nevoeiro” nos dois Domínios, entre as 21:00 e as 12:00 UTC .....	93
<b>Figura 4.47</b> -Simulação da Fração de Nuvens (Nevoeiro – escala de azuis) e escoamento (vetores) a 5 m de altura às 04:00, 06:00 e 07:00 UTC no Domínio D2 .....	94
<b>Figura 4.48</b> -Simulação da razão de mistura da água líquida às 04:00, 06:00 e 07:00 UTC em D2. ....	94

## LISTA DE FIGURAS

---

<b>Figura 4.49</b> -Simulação da visibilidade horizontal às 04:00, 06:00 e 07:00 UTC em D2. ....	95
<b>Figura 4.50</b> -Perfis Verticais simulados da Temperatura do Ar e da Temperatura do Ponto de Orvalho desde a superfície até 1000 m de Altitude para o Ponto de “Beja – Base Aérea” (todas no ANEXO 4.2.P). ....	95
<b>Figura 4.51</b> -Simulação da evolução temporal (00 às 12 UTC) da temperatura do ar (linhas) e razão de mistura da água líquida (escala de cores) em altura (0 - 1 km) para o Ponto de “Beja – Base Aérea”. A linha a tracejado representa a Base da Inversão Térmica.....	96
<b>Figura 4.52</b> -Situação sinóptica às 00:00UTC do dia 2012/12/23. a) Superfície (MSLP & T2m); b) Altitude (H500 & T500).....	96
<b>Figura 4.53</b> -Sequência de Imagens de Satélite às 21:12, 06:12 e 12:12 UTC (todas no ANEXO 4.2.Q).97	
<b>Figura 4.54</b> -Simulação da Altura do Topo das Nuvens às 21:00, 06:00 e 12:00 UTC (todas no ANEXO 4.2.R).....	97
<b>Figura 4.55</b> -Simulação da Fração de Nuvens (Nevoeiro – escala de azuis) e Escoamento (vetores) a 5 m de altura às 02:00, 06:00 e 08:00 UTC no Domínio D1 (todas no ANEXO 4.2.S).....	98
<b>Figura 4.56</b> -Simulação do “Número de Horas com Nevoeiro” nos dois Domínios, entre as 21:00 e as 12:00 UTC. ....	99
<b>Figura 4.57</b> -Simulação da Fração de Nuvens (Nevoeiro – escala de azuis) e escoamento (vetores) a 5 m de altura às 03:00, 05:00 e 06:00 UTC no Domínio D2. ....	99
<b>Figura 4.58</b> -Simulação da razão de mistura da água líquida às 03:00, 05:00 e 06:00 UTC em D2. ....	100
<b>Figura 4.59</b> -Simulação da visibilidade horizontal às 03:00, 05:00 e 06:00 UTC em D2. ....	100
<b>Figura 4.60</b> -Perfis Verticais simulados da Temperatura do Ar e da Temperatura do Ponto de Orvalho desde a superfície até 1000 m de Altitude para o Ponto de “Beja – Base Aérea” às 03, 06 e 08 UTC (todas no ANEXO 4.2.T). ....	101
<b>Figura 4.61</b> -Simulação da evolução temporal (00 às 12 UTC) da temperatura do ar (linhas) e razão de mistura da água líquida (escala de cores) em altura (0 - 1 km) para o Ponto de “Beja – Base Aérea”. A linha a tracejado representa a Base da Inversão Térmica.....	101
<b>Figura 4.62</b> -Comparação entre os dados de visibilidade horizontal observados e simulados para a Base Aérea de Beja no dia 2012/12/08. ....	102
<b>Figura 4.63</b> -Comparação entre os dados de visibilidade horizontal observados e simulados para a Base Aérea de Beja no dia 2012/12/23. ....	102
<b>Figura 4.64</b> -Comparação entre os dados de visibilidade horizontal observados e simulados para a Base Aérea de Beja no dia 2013/02/05. ....	103
<b>Figura 4.65</b> -Comparação entre os dados de visibilidade horizontal observados e simulados para a Base Aérea de Beja no dia 2013/07/16. ....	103
<b>Figura 4.66</b> -Comparação entre os dados de visibilidade horizontal observados e simulados para a Base Aérea de Beja no dia 2013/07/16. ....	103
<b>Figura 4.67</b> -Gráficos com diferenças de várias variáveis em relação aos dados horários observados para os vários Casos de Estudo.....	104
<b>Figura 4.68</b> -Gráficos de erro absoluto de várias variáveis, para os vários Casos de Estudo .....	105
<b>Figura 4.69</b> -Diferença do “número de horas com Nevoeiro” entre as simulações com e sem Alqueva entre as 21:00 e as 15:00 UTC nos dois Domínios. Limites da ocupação do nevoeiro com Alqueva (linha verde), escala de cores (Alqueva-Original). ....	106

<b>Figura 4.70</b> -Diferença do “número de horas com Nevoeiro” entre as simulações com e sem Alqueva entre as 21:00 e as 15:00 UTC nos dois Domínios. Limites da ocupação do nevoeiro com Alqueva (linha verde), escala de cores (Alqueva-Original). .....	106
<b>Figura 4.71</b> -Diferença do “número de horas com Nevoeiro” entre as simulações com e sem Alqueva entre as 21:00 e as 15:00 UTC nos dois Domínios. Limites da ocupação do nevoeiro com Alqueva (linha verde), escala de cores (Alqueva-Original). .....	107
<b>Figura 4.72</b> -Diferença do “número de horas com Nevoeiro” entre as simulações com e sem Alqueva entre as 21:00 e as 15:00 UTC nos dois Domínios. Limites da ocupação do nevoeiro com Alqueva (linha verde), escala de cores (Alqueva-Original). .....	108
<b>Figura 4.73</b> -Diferença do “número de horas com Nevoeiro” entre as simulações com e sem Alqueva entre as 21:00 e as 15:00 UTC nos dois Domínios. Limites da ocupação do nevoeiro com Alqueva (linha verde), escala de cores (Alqueva-Original). .....	108
<b>Figura 4.74</b> -Secções verticais de sentido Oeste-Este do Domínio 2 que passam no ponto de “Beja-Base Aérea” às 07 UTC do dia 2012/12/08: a) e no ponto de “Alqueva” às 10 UTC do dia 2012/12/23: b); com a diferença de nebulosidade (CLDFR) entre as simulações com e sem Alqueva. Limites das nuvens (linha verde), diferença entre simulações (Alqueva-Original) escala de cores.....	109
<b>Figura 4.75</b> -Secções verticais de sentido Oeste-Este do Domínio 2 que passam no ponto de “Beja-Base Aérea” às 10 UTC: a) e no ponto de “Alqueva” às 09 UTC: b) do dia 2013/02/05, com a diferença de nebulosidade (CLDFR) entre as simulações com e sem Alqueva. Limites das nuvens (linha verde), diferença entre simulações (Alqueva-Original) escala de cores.....	109
<b>Figura 4.76</b> -Secções verticais de sentido Oeste-Este do Domínio 1 que passam no ponto de “Alqueva” às 06 UTC do dia 2013/07/16: a) e no ponto de “Beja –Base Aérea” às 06 UTC do dia 2013/07/18: b), com a diferença de nebulosidade (CLDFR) entre as simulações com e sem Alqueva. Limites das nuvens (linha verde), diferença entre simulações (Alqueva-Original) escala de cores.....	110
<b>Figura 4.77</b> -Simulação do “Número de Horas com Nevoeiro” nos dois Domínios, entre as 20:00 e as 15:00 UTC.....	111
<b>Figura 4.78</b> -Simulação do “Número de Horas com Nevoeiro” nos dois Domínios, entre as 21:00 e as 15:00 UTC.....	111
<b>Figura 4.79</b> -Simulação do “Número de Horas com Nevoeiro” nos dois Domínios, entre as 21:00 e as 15:00 UTC.....	112
<b>Figura 4.80</b> -Simulação do “Número de Horas com Nevoeiro” nos dois Domínios, entre as 21:00 e as 15:00 UTC.....	113
<b>Figura 4.81</b> -Simulação do “Número de Horas com Nevoeiro” nos dois Domínios, entre as 21:00 e as 15:00 UTC.....	113
<b>Figura 4.82</b> -Diferença do “número de horas com Nevoeiro” entre as simulações com base nas Previsões e Análises do ECMWF entre as 21:00 e as 15:00 UTC nos dois Domínios. Limites da ocupação do nevoeiro da Análise (linha verde), escala de cores (Previsão-Análise).....	114
<b>Figura 4.83</b> -Diferença do “número de horas com Nevoeiro” entre as simulações com base na Previsões e Análise entre as 21:00 e as 15:00 UTC nos dois Domínios. Limites da ocupação do nevoeiro da Análise (linha verde), escala de cores (Previsão-Análise). ....	114

- Figura 4.84** -Diferença do “número de horas com Nevoeiro” entre as simulações com base na Previsões e Análise entre as 21:00 e as 15:00 UTC nos dois Domínios. Limites da ocupação do nevoeiro da Análise (linha verde), escala de cores (Previsão-Análise). .....115
- Figura 4.85** -Diferença do “número de horas com Nevoeiro” entre as simulações com base na Previsões e Análise entre as 21:00 e as 15:00 UTC nos dois Domínios. Limites da ocupação do nevoeiro da Análise (linha verde), escala de cores (Previsão-Análise). .....115
- Figura 4.86** -Diferença do “número de horas com Nevoeiro” entre as simulações com base na Previsões e Análise entre as 21:00 e as 12:00 UTC nos dois Domínios. Limites da ocupação do nevoeiro da Análise (linha verde), escala de cores (Previsão-Análise). .....116
- Figura 4.87** -Comparação entre os dados de visibilidade horizontal observados e simulados com as Análises e Previsões do ECMWF para a Base Aérea de Beja no dia 2012/12/08. ....116
- Figura 4.88** -Comparação entre os dados de visibilidade horizontal observados e simulados com as Análises e Previsões do ECMWF para a Base Aérea de Beja no dia 2012/12/23. ....117
- Figura 4.89** -Comparação entre os dados de visibilidade horizontal observados e simulados com as Análises e Previsões do ECMWF para a Base Aérea de Beja no dia 2012/12/23. ....117
- Figura 4.90** -Gráficos com diferenças de várias variáveis em relação aos dados horários observados para os vários Casos de Estudo.....118
- Figura 4.91** -Gráficos de erro absoluto de várias variáveis, para os vários Casos de Estudo .....119



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3.1</b> - Estações Meteorológicas e de Qualidade da Água Utilizadas .....	23
<b>Tabela 3.2</b> - Bases de dados globais do sistema Meso-NH .....	30
<b>Tabela 3.3</b> - Variáveis do Modelo Meso-NH.....	47
<b>Tabela 3.4</b> - Níveis do modelo .....	52
<b>Tabela 3.5</b> - Características adotadas para as simulações finais com o Meso-NH.....	52
<b>Tabela 3.6</b> - Dados dos períodos das simulações e Análises.....	54
<b>Tabela A.1</b> Comunicados das observações regulares do Aeródromo de Beja - Base Aérea do dia 08/12/2012.....	137
<b>Tabela A.2</b> Comunicados das observações regulares do Aeródromo Beja - Base Aérea do dia 23/12/2012.....	137
<b>Tabela A.3</b> Comunicados das observações regulares do Aeródromo de Beja - Base Aérea do dia 05/02/2013.....	138
<b>Tabela A.4</b> Comunicados das observações regulares do Aeródromo de Beja - Base Aérea do dia 16/07/2013.....	138
<b>Tabela A.5</b> Comunicados das observações regulares do Aeródromo de Beja - Base Aérea do dia 18/07/2013.....	138
<b>Tabela A.6</b> Comunicados das observações regulares do Aeródromo da Base Aérea de Talavera la Real - Badajoz do dia 08/12/2012. ....	139
<b>Tabela A.7</b> Comunicados das observações regulares do Aeródromo da Base Aérea de Talavera la Real - Badajoz do dia 23/12/2012. ....	139
<b>Tabela A.8</b> Comunicados das observações regulares do Aeródromo da Base Aérea de Talavera la Real - Badajoz do dia 05/02/2013. ....	140
<b>Tabela A.9</b> Comunicados das observações regulares do Aeródromo da Base Aérea de Talavera la Real - Badajoz do dia 16/07/2013. ....	140
<b>Tabela A.10</b> Comunicados das observações regulares do Aeródromo da Base Aérea de Talavera La Real - Badajoz do dia 18/07/2013. ....	140
<b>Tabela A.11</b> Características dos canais do SEVIRI em termos de comprimento de onda e as suas principais áreas de aplicação.....	141
<b>Tabela A.12</b> Processos representados pelos esquemas ICE3 e ICE4 do modelo Meso-NH.....	151

Página intencionalmente em branco

## LISTA DE ACRÓNIMOS

1D - Unidimensional  
2D - Bidimensional  
3D - Tridimensional  
ALQ - Alqueva  
ALT - Variável Meso-NH, Altitude geopotencial (m)  
AROME - Modelo numérico de mesoscala de previsão do tempo da MÉTÉO FRANCE  
AVHRR - Advanced Very High Resolution Radiometer  
BT - Brightness temperature (Temperatura de Brilho)  
CAS - Chinese Academy of Sciences  
CGE - Centro de Geofísica de Évora  
CLDFR - Variável Meso-NH, Fração de nuvens (%)  
CNRM - Centre National de Recherches Météorologiques  
COBEL - Code de brouillard à l'échelle locale (Código de Nevoeiro à escala local)  
CRM - Cloud Resolving Models (Modelos de resolução de Nuvens)  
D1 - Domínio 1 (maior) do modelo desenvolvido neste trabalho  
D2 - Domínio 2 (menor) do modelo desenvolvido neste trabalho  
DEM - Digital Elevation Model  
E - Este  
ECMWF - European Centre for Medium-range Weather Forecasts  
EDIA - Empresa de Desenvolvimento e Infraestruturas do Alqueva  
EDKF - Eddy-Difusivity / Kain-Fritsh.  
EDMF - Eddy-Difusivity / Mass Flux  
EROS - Earth Resources Observation and Science  
ESA -European Space Agency  
EUMETSAT - European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites  
FAO - Food and Agriculture Organization  
FAP – Força Aérea Portuguesa  
FLake - Freshwater Lake Model (modelo de lagos de água doce)  
FRAC\_SEA - Variável Meso-NH, Fração de mar (%)  
FRAC\_TOWN - Variável Meso-NH, Fração de área urbana (%)  
FRAC\_WATER - Variável Meso-NH, Fração de águas interiores (%)  
GIOVANNI - Geospatial Interactive Online Visualization ANd aNalysis Infrastructure  
GIS - Geographic Information System  
GMME - Groupe de Météorologie de Moyenne Echelle  
HECL - Variável Meso-NH, Altura explicita do topo das nuvens (km)

HU2M - Variável Meso-NH, Humidade relativa aos 2 m (%)

HWSD - Harmonized World Soil Database

IDL - interactive Data Language

IFS - Integrated Forecast System

IIASA - International Institute for Applied Systems Analysis

IPMA - Instituto Português do Mar e da Atmosfera

IR - Infrared Band (Banda do infravermelho)

ISBA - Interaction Soil–Biosphere–Atmosphere Model (Modelo de interação Solo-Biosfera-Atmosfera)

ISRIC - International Soil Reference and Information Centre

JRC - Joint Research Centre of the European Commission

KAFR - Kain e Fritsch

LAI - Leaf Area Index (Índice de área foliar)

LEBZ - Indicativo do Aeródromo de Badajoz- Talavera la Real

LES - Large Eddy Simulation (simulação de grandes turbilhões)

LPBJ - Indicativo do Aeródromo de Beja-Base Aérea

mb - milibar

ME - mean error (erro médio)

MEA - mean absolute error (erro absoluto médio)

Meso-NH - Mesoscale Non-Hydrostatic Model

METAR - Aerodrome routine meteorological report

METEOSAT - Meteorological Satellite (Satélite meteorológico geoestacionário desenvolvido pela ESA)

METOFFICE - United Kingdom's national meteorological service

MODIS - Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer

MRC - Variável Meso-NH, Razão de mistura para a água líquida nas nuvens (g/Kg)

MSG - Meteosat Second Generation

MSLP - Variável Meso-NH, Pressão ao nível médio da água do mar (hPa)

N - Norte

NASA - National Aeronautics and Space Administration, USA

NIR - Near Infrared Band (Banda do Infravermelho próximo da banda do visível)

NMM - Nível médio da água do mar

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration, USA

NTSB - National Transportation Safety Board, USA

PRESS - Variável Meso-NH, Pressão atmosférica (hPa)

RAM - Random Access Memory (Memória de acesso aleatório)

REHU - Variável Meso-NH, Humidade relativa (%)

RGB - Red, Green and Blue, (três cores primárias: vermelho, verde e azul)

S - Sul

Sc - Estratocúmulo  
SEVIRI - Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager  
SST - Variável Meso-NH, Temperatura da superfície do mar (° C)  
St - Estratos  
SURFEX - Surface Externalisée  
T2M - Variável Meso-NH, Temperatura do ar aos 2 m (° C)  
TD - Variável Calculada a partir de variáveis Meso-NH, Temperatura do ponto de orvalho (° C)  
TEB - Town energy balance (modelo de balanço de energia em áreas urbanas)  
TEMP - Variável Meso-NH, Temperatura do ar (° C)  
TKE - Turbulence Kinetic Energy (energia cinética turbulenta)  
TS\_WATER - Variável Meso-NH, Temperatura da superfície da água (° C)  
TW - Temperature of Water (Temperatura da superfície da água em Alqueva)  
UM - Variável Meso-NH, Componente zonal do vento (m/s)  
UM10 - Variável Meso-NH, Componente zonal do vento aos 10 m (m/s)  
USGS - United States Geological Survey's  
UTC - Universal Time Coordinated (Tempo Universal Coordenado)  
VIS - Visible Band (banda do Visível)  
VISI\_HOR - Variável Meso-NH, Visibilidade Horizontal (m)  
VM - Variável Meso-NH, Componente meridional do vento (m/s)  
VM10 - Variável Meso-NH, Componente meridional do vento aos 10 m (m/s)  
VPRESS - Variável Meso-NH, Tensão de vapor (hPa)  
W - Oeste  
WM - Variável Meso-NH, Componente vertical do vento (m/s)  
WMO - World Meteorological Organization  
WND\_DIR - Variável calculada a partir de variáveis Meso-NH, Direção do vento (°)  
WND\_SP - Variáveis calculada a partir de variáveis Meso-NH, Velocidade do vento (m/s)  
ZHAT - Variável Meso-NH, Altura da grelha vertical (m)  
ZS - Variável Meso-NH, Orografia (m)

Página intencionalmente em branco

# **CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO**

## **1.1 – Objetivo**

Este trabalho tem como objetivo principal, melhorar o conhecimento sobre a formação e evolução dos nevoeiros na Região do Alentejo, tendo para isso, sido utilizada como ferramenta essencial o modelo atmosférico não hidrostático de mesoscala, Meso-NH.

Como segundo objetivo, este trabalho visa fazer um estudo mais pormenorizado sobre o aeródromo da Base Aérea de Beja, com vista a fornecer nova perspetiva na análise e previsão de nevoeiros, bem como, fornecer uma possível ferramenta no âmbito da segurança aeronáutica, contribuindo no apoio à investigação de acidentes ou incidentes.

## **1.2 – Motivação**

A comunidade científica tem mostrado interesse em compreender melhor o fenómeno meteorológico do nevoeiro ao longo dos tempos, já que este pode afetar direta e indiretamente, as atividades quotidianas.

O impacto do nevoeiro na vida humana tem aumentado significativamente nas últimas décadas, nomeadamente devido ao aumento do tráfego aéreo, marítimo e rodoviário. De facto, as perdas económicas e de vidas humanas relacionadas com nevoeiro e fraca visibilidade podem ser comparadas com as perdas devidas, por exemplo a tornados ou mesmo a furacões e tempestades severas (Gultepe, 2007). Os nevoeiros ocorrem com maior frequência e por isso os seus impactos, apesar não serem tão catastróficos, são bastante significativos. Por exemplo, na aviação os eventos de nevoeiro provocam frequentemente atrasos, desvios e cancelamentos que apresentam vários impactos para a sociedade, nomeadamente, económicos. Muitos acidentes rodoviários com vários veículos (choques em cadeia) são atribuídos a situações de visibilidade reduzida associadas a eventos de denso nevoeiro. Numerosos acidentes com embarcações ocorrem também nestas condições, tanto em mar alto como em zonas portuárias, sendo também afetadas por este fenómeno com alguma frequência, as operações de busca e salvamento.

Estes impactos, combinando o facto de a visibilidade representar uma das variáveis meteorológicas mais difíceis de prever para os modelos numéricos de previsão do tempo, torna a compreensão dos seus processos físicos ainda mais importante, existindo a necessidade de aplicar as mais recentes técnicas e abordagens no aperfeiçoamento da previsão de formação e evolução do nevoeiro.

Uma melhoria das previsões de nevoeiro em termos de localização, duração e variações na visibilidade, tem um valor operacional imenso para a área dos transportes em

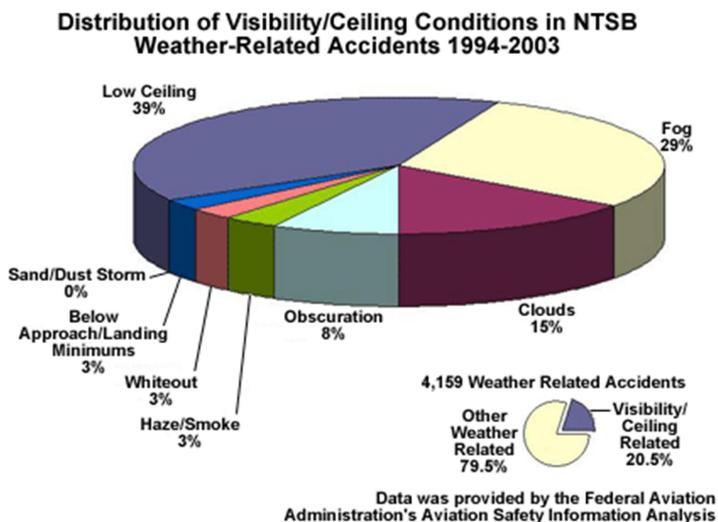
condições de baixa visibilidade, em particular para a aviação.

Neste trabalho há ainda a preocupação de estudar mais pormenorizadamente os eventos de nevoeiro no aeródromo da Base Aérea Nº11, da Força Aérea Portuguesa, localizado em Beja, onde também se encontra um terminal aeroportuário civil (Aeroporto de Beja). Por se localizar na Região do Alentejo e as operações de aterragem e descolagem de aeronaves serem com alguma frequência afetadas por eventos de nevoeiro, há todo o interesse em conhecer melhor este fenómeno na região e como este se forma e evolui, de forma a perceber quais os seus principais fatores e características com vista à otimização das técnicas de análise e previsão deste fenómeno.

Devido à degradação da visibilidade por nevoeiro, as aterragens podem ser impossíveis de realizar num determinado aeródromo. Só as mais recentes e dispendiosas aeronaves são capazes de “auto-aterar” nessas condições. Contudo, também o aeródromo deverá estar devidamente equipado para tal. Apesar dessa capacidade técnica, existem procedimentos, seja para a aviação comercial ou militar, que proíbem as “auto-aterragens” abaixo de certos limites (WMO-No. 1390, 2007).

Existem inúmeras situações que potenciam o perigo associado a eventos de nevoeiro. Por exemplo, por vezes os pilotos têm a falsa sensação de segurança quando sobrevoam um aeródromo, que reporta condições de visibilidade reduzida por nevoeiro e conseguem ao mesmo tempo visualizar bem as infraestruturas e pistas em voo (nevoeiro de céu visível - pequena extensão vertical). Contudo, quando descem para efetuar a aproximação à pista a inclinação do ângulo de visão diminui e quando dentro do nevoeiro o piloto perde rapidamente as referências no solo, ficando a partir desse momento em sérias dificuldades, pondo em perigo, tripulação, passageiros e carga. Só a experiência e treino do piloto em situações deste tipo podem oferecer maior segurança e assim prevenir acidentes de aviação.

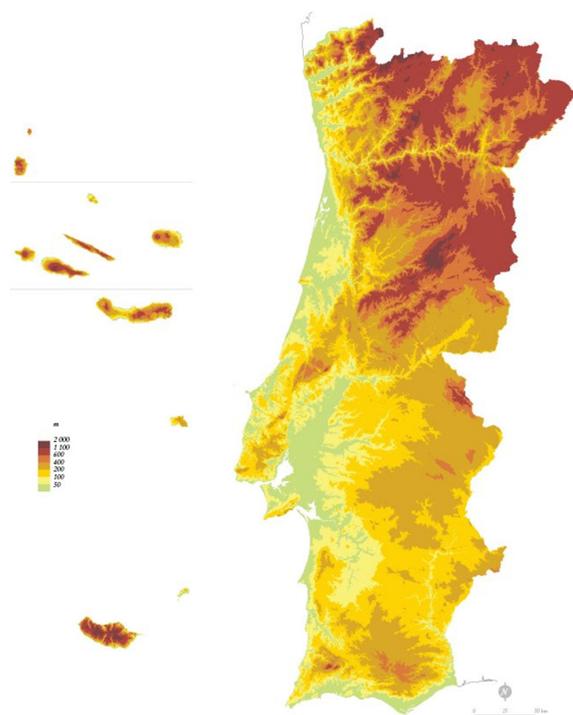
Um estudo de dez anos de acidentes de aviação do NTSB (*National Transportation Safety Board*, USA) indica que restrições à visibilidade e tetos baixos contribuíram para mais de 20% dos acidentes nos Estados Unidos da América. Desses, 29% foram devido a nevoeiro (ver figura 1.1). Deste modo, o trabalho aqui apresentado pode dar um contributo valioso, no fornecimento de uma potencial ferramenta, que poderá vir ser utilizada no futuro na análise de situações meteorológicas adversas ou mesmo na investigação de acidentes.



**Figura 1.1** - Acidentes de Aviação relacionados com restrições à visibilidade e Nuvens nos EUA (1994-2003) (ROSS-LAZAROV et al., 2012).

### 1.3 – Caracterização da Região

A Região Alentejo situa-se no Sul de Portugal Continental, ocupando uma área geográfica de 27 003,158 km<sup>2</sup> (cerca de um terço da superfície total do país) abrangendo os distritos de Portalegre, Évora e Beja e ainda os quatro concelhos mais a Sul do distrito de Setúbal (Alcácer do Sal, Grândola, Santiago do Cacém e Sines), sendo limitada a Norte pela Região do Centro (Ribatejo e Beira Baixa), a Este por Espanha, a Sul pela Região do Algarve e a Oeste pela Região da Estremadura e pelo Oceano Atlântico.



**Figura 1.2** - Mapa Hipsométrico de Portugal.  
url: [www.igeo.pt/atlas/](http://www.igeo.pt/atlas/) - Instituto Geográfico Português.



**Figura 1.3** - Localização da Região Alentejo  
url: [www.visitalentejo.pt/](http://www.visitalentejo.pt/) - Turismo do Alentejo.

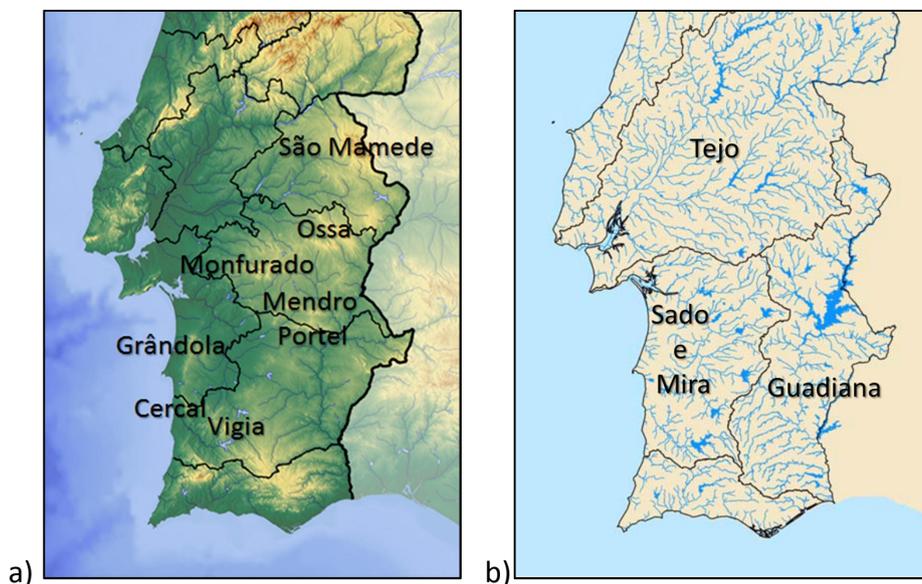
A região é cortada por 3 grandes bacias hidrográficas (Tejo, Guadiana e Sado, na cabeceira dos quais se situa a cidade de Évora) que influenciam extremamente a formação e evolução dos nevoeiros na região, em especial os seus cursos principais e as suas albufeiras (ver figura 1.4 a)).

O relevo da região caracteriza-se pela grande uniformidade de peneplanícies, levemente ondulada, cuja altitude média ronda os 200 m, apenas com afloramentos montanhosos relativamente, pouco acentuados, com exceção da serra de São Mamede (1025 m).

Contudo, no que se refere ao impacto na formação e evolução dos nevoeiros, há ainda a destacar as Serras de Ossa (Estremoz – 653 m), Monfurado (Montemor-o-Novo – 424 m), Portel (418 m), Mendro (Vidigueira – 412 m), Grândola (383 m), Cercal (Odemira – 378 m) e Vigia (Ourique - 393 m) (url: [www.infopedia.pt](http://www.infopedia.pt)) identificadas na figura 1.4 b), e nas

quais se verifica haver grande impacto, nomeadamente, na definição dos limites do nevoeiro na região.

No anexo 1.A são expostos alguns mapas com a distribuição dos tipos de solo da região, bem como, a sua ocupação e tipo de atividade agro-florestal, densidade populacional e tipos de paisagem.

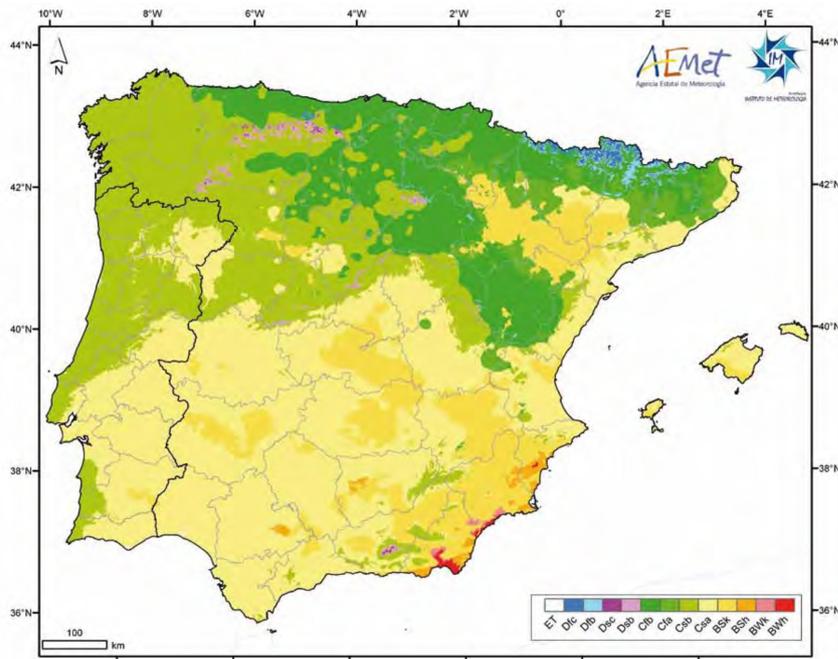


**Figura 1.4** - a) Orografia e Principais Serras da Região b). Principais Bacias Hidrográficas.

O clima do Alentejo é considerado como sendo do tipo temperado mediterrânico (subtropical seco), com verões quentes e secos e invernos chuvosos e suaves. A diminuição da influência marítima torna as áreas mais interiores do Alentejo particularmente quentes no verão e, no inverno, relativamente frias, como se pode ver no anexo 1.B, onde são expostos alguns mapas climatológicos para a Península Ibérica.

O clima da região apresenta uma mistura de características devido às suas influências regionais. Assim, a região do Alentejo é influenciada sobretudo pelo Oceano Atlântico nas regiões litorais a Oeste, tendo uma influência mais continental nas regiões do interior. A precipitação é fraca sendo predominante nos meses de inverno, variando entre os 400 e os 600 mm, e existindo ainda pontualmente períodos de precipitação intensa mas localizada associada a situações de trovoada que ocorrem com maior frequência nos meses de abril, maio e setembro.

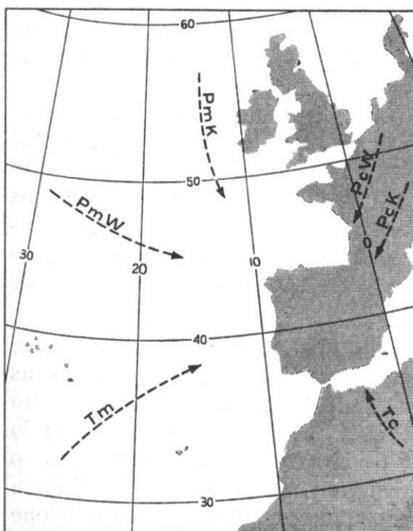
Segundo a classificação de Köppen-Geiger e recorrendo ao mapa fornecido pelo Atlas Climático Ibérico (2011) a região do Alentejo apresenta três tipologias de Clima (ver figura 1.5). Assim, nas regiões do litoral a sua Classificação é do tipo *Csb* (Clima Temperado com invernos suaves e verão seco, curto e fresco), nas regiões do Interior predomina o tipo de clima *Csa* (Clima Temperado com invernos suaves e verão seco, longo e quente), existindo ainda alguns locais nas regiões mais a Sul do Alentejo, mais precisamente no vale do Guadiana, que são consideradas do tipo *Bsk* (Clima seco, semiárido e frio) (Ahrens, 2009).



a)

**Figura 1.5 -** Classificação climática de Köppen-Geiger na Península Ibérica ([www.ipma.pt](http://www.ipma.pt)).

Claro que a classificação climática modera a importância das diferentes situações meteorológicas. Todavia, estas dependem de diferentes tipos de influência. A região é afetada fundamentalmente por massas de ar de origem polar (P) e tropical (T), continental (c) e marítima (m), originadas nos (ou modificadas pelos) continentes europeu e africano e Oceano Atlântico, cujas trajetórias médias estão indicadas na figura 1.6 (Santos, 1974). As



massas de ar polar podem ainda ser diferenciadas como sendo, do tipo quente (w - do alemão *warm*) ou frio (k - *kälte*).

As massas de ar nem sempre apresentam propriedades nitidamente distintas, variando com a época do ano e com a situação sinóptica. As massas de ar polar apresentam por vezes diferenças que obrigam a considerar tipos de transição, com propriedades intermédias entre o ar polar e o ar tropical, quer continental quer marítimo, conforme a situação.

**Figura 1.6 -** Massas de ar em Portugal (Santos, 1974).

Como já foi referido, o Alentejo corresponde a cerca de 1/3 do território de Portugal Continental. É uma região com baixa densidade populacional, apenas 5% da população nacional, com elevados índices de desertificação humana e de envelhecimento. O seu Produto Interno Bruto *per capita* está abaixo da média nacional (Infopédia, 2013).

A carência de água nesta região tem sido um dos principais obstáculos ao seu desenvolvimento, impedindo a modernização da agricultura e a sustentabilidade do

abastecimento público (EDIA, 2013).

Localizado em pleno Alentejo, foi desenvolvido o Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva com influência direta na região. Este é um projeto centrado na barragem de Alqueva, que se estende por 83 km, ocupando uma área de 250 km<sup>2</sup> e tendo a albufeira uma capacidade total de armazenamento, de 4 150 milhões de m<sup>3</sup> (EDIA, 2013).

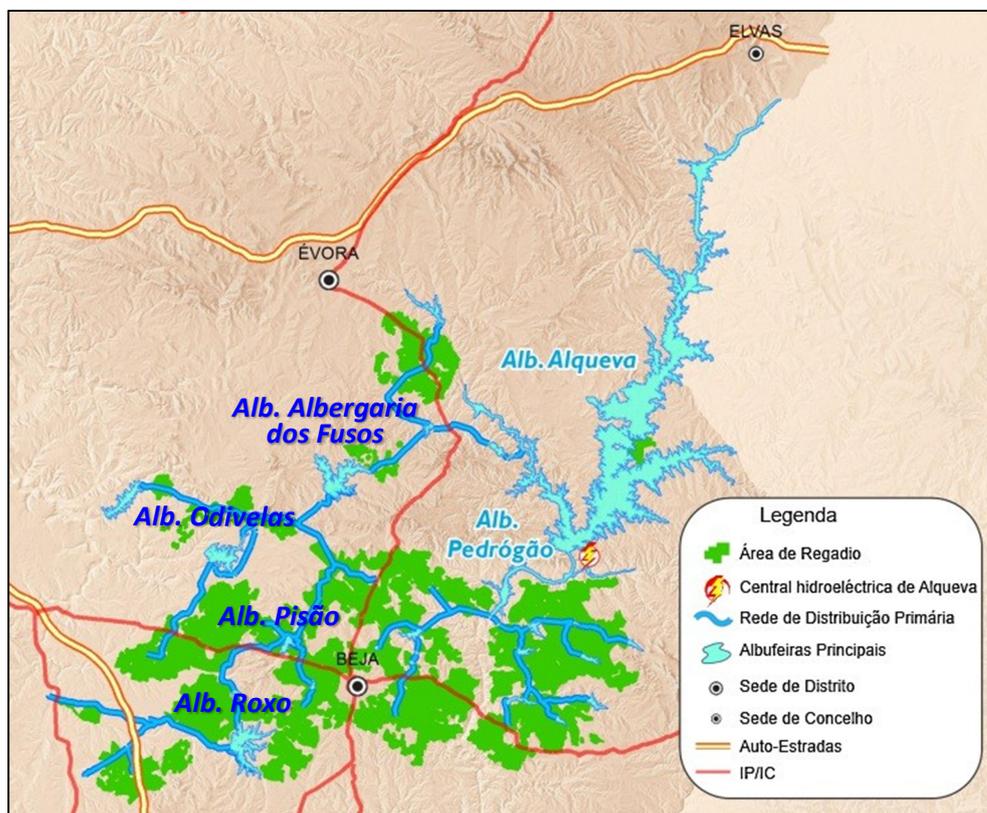


Figura 1.7 - Sistema global de rega do Alqueva ([url:www.alqueva.com.pt](http://www.alqueva.com.pt)).

“Apesar de pouco estudadas, pode afirmar-se que as alterações climáticas causadas pelas albufeiras são em geral tão pequenas que é difícil distinguir entre os efeitos associados à presença da massa de água e a flutuação natural do sistema climático local. Os efeitos variam de acordo com as dimensões do reservatório, a topografia e o clima prevalecente no local onde se inserem. É por isso perigoso extrapolar resultados de um caso estudado para um outro projeto.

De forma sintética pode dizer-se que a presença de uma albufeira atua no clima: i) reduzindo o albedo, aumentando a energia absorvida pela superfície; ii) através de transferências de energia entre a água e o ar; iii) reduzindo o atrito superficial, aumentando a intensidade do vento; iv) alterando a evapotranspiração.

Desta interação são expectáveis impactos ao nível da temperatura e humidade do ar, intensidade e direção do vento, precipitação, formação de nevoeiros e geada.” (Salgado, 2005).



**Figura 1.8** - Vista sobre a Barragem do Alqueva (EDIA,2013).

Claro que, com a introdução deste empreendimento na região, para além dos seus benefícios, existe também um grande impacto, tanto visual, com a alteração da paisagem, como ambiental, pois alterou os ecossistemas até aí existentes. No âmbito deste trabalho, pretende-se sobretudo, estudar o efeito da adição de vapor de água na atmosfera e da alteração dos fluxos de massa e energia à superfície, e quão importante é este fator na formação e evolução do nevoeiro e no aumento local do impacto deste fenómeno.

Página intencionalmente em branco

## **CAPÍTULO 2 – OS NEVOEIROS E A SUA PREVISÃO**

### **2.1 – Os Nevoeiros**

Como referido por Cotton e Anthes (1989) o *“International Cloud Atlas”* da WMO (*World Meteorological Organization*) não trata o nevoeiro como um género de nuvem, definindo-o de acordo com a sua microestrutura, visibilidade e proximidade à superfície terrestre. Assim, o nevoeiro é definido como sendo a suspensão de gotículas de água ou cristais de gelo na atmosfera junto à superfície da Terra reduzindo geralmente a visibilidade a valores inferiores a 1000 m (WMO-No. 8, 2008). A sua extensão vertical pode variar de poucos metros a várias centenas de metros. Quando o mesmo fenómeno reduz a visibilidade horizontal em 1000 m ou mais, é designado por neblina. Todavia, o nevoeiro pode ser também considerado como uma nuvem com a base em contacto com a superfície.

O nevoeiro pode ser considerado a menos dinâmica das nuvens, com velocidades verticais no seu interior muito pequenas, o seu conteúdo em água líquida varia tipicamente entre 0,05 e 0,2 g/m<sup>3</sup> e tendo um período de vida entre 2 a 6 horas (Cotton & Anthes, 1989), podendo no entanto em certas situações ter duração superior a 24 horas.

A formação de nevoeiro envolve vários processos como a física das nuvens, a química dos aerossóis, a radiação, a turbulência, a dinâmica de grande e pequena escala e o tipo de superfície, nomeadamente superfícies aquáticas, orografia, tipo de vegetação e tipo de solo (Gultepe, 2007). A influência local destes elementos pode desempenhar um papel vital na formação, duração e intensidade dos eventos de nevoeiro.

#### **2.1.1 – A Formação de Nevoeiro**

Em determinadas condições de temperatura e pressão a atmosfera só pode conter uma determinada tensão de vapor de água. Se a quantidade real de vapor de água atinge a esse limiar, a atmosfera diz-se estar saturada e a temperatura do ar é igual à do seu ponto de orvalho.

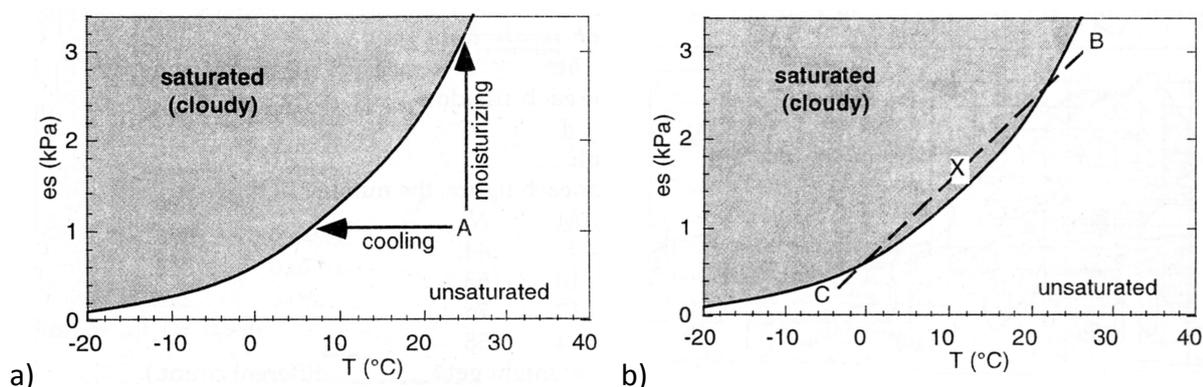
Um aumento da pressão e ou diminuição da temperatura no ar já saturado normalmente conduz à condensação do vapor de água em excesso sobre uma superfície de condensação. Longe da superfície terrestre, a condensação pode não ocorrer, a menos que estejam disponíveis núcleos de condensação para o vapor de água em excesso crescer sob a forma de gotículas. Sem esses núcleos, a atmosfera fica sobressaturada. Na prática, os núcleos de condensação estão sempre presentes na atmosfera, contudo um certo grau de sobressaturação terá que existir para forçar o crescimento das gotículas.

Como descrito por Roach (1994) a sobressaturação necessária à formação de

gotículas de nuvem ou nevoeiro pode ser produzida na atmosfera de três modos:

- por ascensão e conseqüente arrefecimento de uma parcela de ar,
- por perda radiativa de calor, ou
- através da mistura de duas parcelas de ar ligeiramente não saturadas que possuem inicialmente diferentes temperaturas (ver figura 2.1).

Uma parcela *A* (figura 2.1 a)) não saturada pode ficar saturada por adição de humidade ou por arrefecimento quando atinge a curva da tensão de vapor de saturação. Porém, duas parcelas *C* e *B* (figura 2.1 b)) não saturadas também podem dar origem a uma parcela de mistura saturada *X* em certas condições (Stull, 2000), contudo estas são menos frequentes.



**Figura 2.1** - Processos de saturação do ar (Stull, 2000).

A taxa de crescimento de uma gotícula depende da temperatura, do grau de sobressaturação no ambiente que a envolve e da natureza do núcleo em que a gotícula cresce. Estes fatores controlam o fluxo de moléculas de vapor de água e calor. O calor latente é libertado por condensação a partir de, e para a superfície da gota. O crescimento da gotícula utiliza vapor de água reduzindo a sobressaturação local, a menos que esta esteja a ser forçada por arrefecimento. A perda direta de radiação infravermelha pela gota arrefece-a e tem um efeito significativo (e às vezes dominante) na sua taxa de crescimento.

Todavia, as principais condições para a formação de nevoeiro são fundamentalmente, a existência de uma humidade relativa elevada, um processo que arrefeça o ar, a existência de núcleos de condensação e ocorrem frequentemente em situações de estabilidade atmosférica com noites de céu limpo e vento fraco, podendo ser ainda intensificado na presença de poluição atmosférica (Roach, 1994).

Em ambientes poluídos, há uma grande concentração de núcleos de condensação. Um resultado disso é que o nevoeiro de "água" tende a ser distribuído entre um grande número de pequenas gotículas, em vez de um pequeno número de grandes gotículas. Além disso, gotículas pequenas depositam-se no solo muito mais lentamente, fazendo com que o nevoeiro persista durante mais tempo.

Os nevoeiros podem ser divididos em duas categorias principais, os nevoeiros formados por arrefecimento, em que o ar é arrefecido abaixo do seu ponto de saturação e os formados por evaporação e mistura, onde existe a adição de vapor de água por

evaporação e mistura do ar húmido com ar relativamente mais seco (Ahrens, 2009). Após a sua formação, a perda de radiação infravermelha do topo do nevoeiro origina um arrefecimento adicional que poderá ajudar à persistência do nevoeiro. Este processo leva à formação da inversão térmica típica, mais ou menos acentuada, no topo do nevoeiro.

### 2.1.2 – Tipos de Nevoeiro

Lutgens & Tarbuck (2013) referem que os diferentes tipos de nevoeiro têm a sua designação de acordo com o processo mais relevante na sua formação:

- arrefecimento radiativo (nevoeiro de radiação);
- arrefecimento por advecção (nevoeiro de advecção);
- arrefecimento por expansão adiabática (nevoeiro orográfico);
- adição de vapor de água pela evaporação de uma superfície aquática (nevoeiro de vapor); ou
- evaporação de precipitação originária de uma camada de ar superior relativamente mais quente (nevoeiro frontal). (ver esquemas no anexo 2.A)

Contudo, Cotton e Anthes (1989) sugerem uma lista mais extensa para designar os diferentes tipos de nevoeiros:

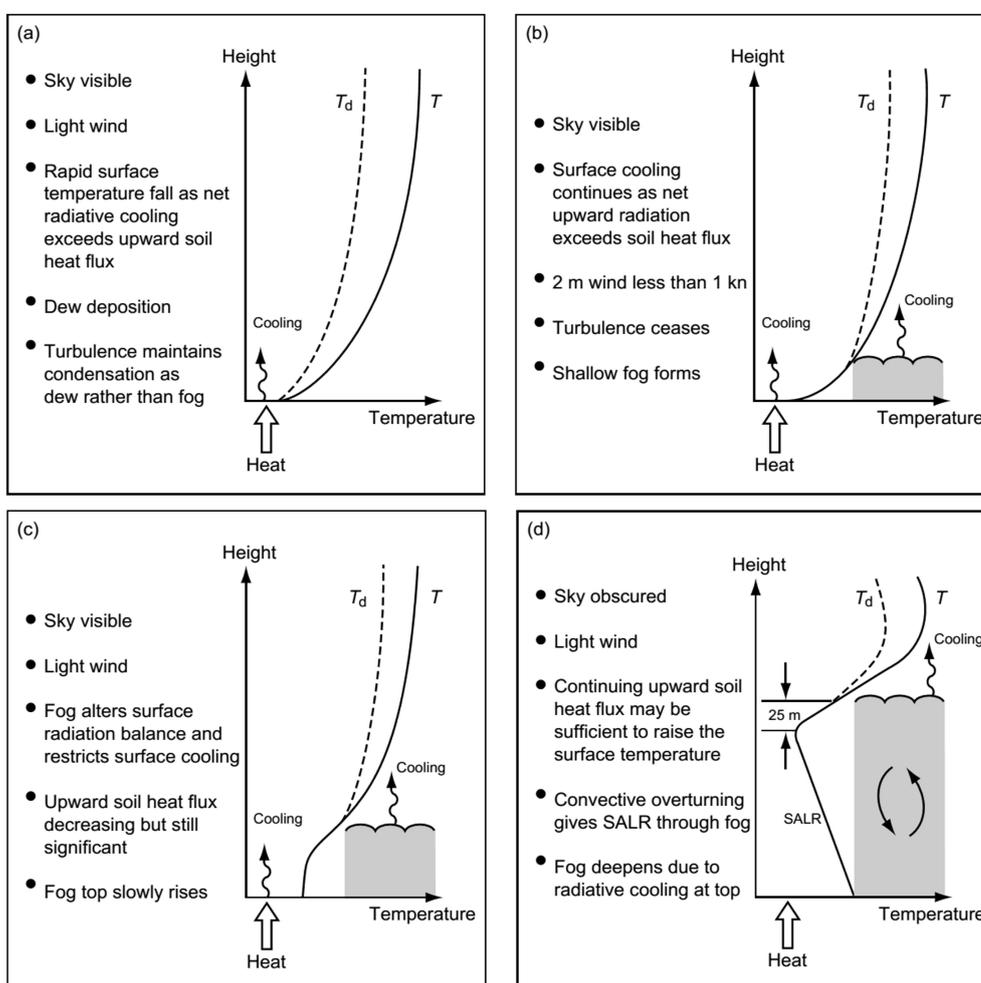
- A. Nevoeiro de radiação
  - i. nevoeiro de solo
  - ii. nevoeiro de grande inversão
  - iii. nevoeiro de advecção-radiação
  - iv. nevoeiro de encosta
  - v. nevoeiro de vale-montanha
- B. Nevoeiro frontal
  - i. nevoeiro pré-frontal (frente quente)
  - ii. nevoeiro pós-frontal (frente fria)
  - iii. nevoeiro de passagem frontal
- C. Nevoeiro de advecção
  - i. nevoeiro marítimo
  - ii. nevoeiro de ar tropical
  - iii. nevoeiro de brisa terra-mar
  - iv. nevoeiro de vapor
- D. Outros
  - i. nevoeiro de gelo
  - ii. nevoeiro de neve

Esta classificação, apesar de mais extensa, apresenta na sua tipologia um leque mais alargado de tipos de nevoeiro que, na prática, tentam representar melhor situações de nevoeiro em que diferentes processos de formação estão envolvidos, bem como diferenciar

o tipo de situação meteorológica associada, como são exemplo os diferentes tipos de nevoeiro frontal.

Os nevoeiros de radiação ocorrem devido ao arrefecimento do solo e do ar adjacente, situação que acontece geralmente, em noites de céu limpo e humidade relativa elevada, associadas a situações anticiclónicas de grande estabilidade. Ocorrem sobretudo no inverno quando o ar junto à superfície arrefece de forma acentuada durante a noite, atingindo rapidamente a temperatura do ponto de orvalho. Com vento calmo este tipo de nevoeiro é geralmente irregular e de pequena espessura. O vento fraco origina uma ligeira turbulência suficiente para que o nevoeiro espesse e tenha maior extensão vertical.

Em seguida é apresentada na figura 2.2 uma esquematização da evolução do nevoeiro de radiação desde a sua formação até uma fase já bem desenvolvida por mistura turbulenta.



**Figura 2.2** - Nevoeiro de radiação (a) Fase 1 - arrefecimento radiativo e deposição de orvalho, (b) Fase 2 - Formação inicial do nevoeiro, (c) Fase 3 (i) - desenvolvimento do nevoeiro (com céu visível), e (d) Fase 3 (ii) - desenvolvimento do nevoeiro (com céu obscurecido). METEOFFICE (1996).

Quando uma massa de ar quente e húmido passa sobre uma superfície mais fria, esta arrefece. Se o arrefecimento for suficiente, o resultado será a formação de nevoeiro designado de advecção. Este tipo de nevoeiro ocorre frequentemente em zonas costeiras e

geralmente têm grande espessura e extensão horizontal. Para o seu desenvolvimento é necessário uma certa quantidade de turbulência, geralmente associada a vento fraco a moderado proveniente de uma zona aquática. Em Portugal Continental são mais frequentes no verão, ocorrendo ocasionalmente no inverno quando o ar marítimo relativamente mais quente e húmido se desloca sobre uma superfície mais fria.

O nevoeiro orográfico forma-se nas vertentes barlavento, quando o ar relativamente húmido é obrigado a subir o relevo. Devido ao movimento ascendente, o ar expande e é arrefecido adiabaticamente até atingir a saturação. Se tal acontece, forma-se uma extensa camada de nevoeiro a partir desse ponto. Forma-se especialmente em situações estáveis, nas vertentes perpendiculares ao vento. Este é um caso especial de nevoeiro pois, dependendo da posição do observador, este pode também considerar o mesmo fenómeno como uma nuvem acima da sua posição.

Quando uma massa de ar frio se desloca sobre uma superfície aquática mais quente, pode ser evaporado vapor de água suficiente para saturar o ar imediatamente acima e assim formar o designado nevoeiro de vapor. À medida que o vapor de água que sobe encontra o ar mais frio, condensa-se e eleva-se com o ar que está a ser aquecido a partir de baixo. O nevoeiro de vapor é bastante comum sobre os lagos e rios nas manhãs de céu limpo no outono quando a água ainda está relativamente quente, mas o ar está mais frio. Este é normalmente rasteiro porque à medida que sobem as gotículas de água, estas misturam-se com o ar não saturado e evaporam.

Nevoeiro frontal (ou de precipitação) ocorre quando gotas de chuva originárias de camadas de ar relativamente quente acima de uma superfície frontal entram em contacto com o ar mais frio abaixo, evaporando e fazendo com que este se torne saturado. O nevoeiro frontal é mais comum em períodos prolongados de chuva fraca ou chuvisco que antecedem a passagem de uma frente quente. Temperaturas mais elevadas correspondem a tensões de vapor de saturação superiores. Quando uma gota de chuva cai numa camada de ar mais frio, a tensão de vapor de saturação sobre a gota é maior do que a do ar. Esta diferença faz com que a água se evapore podendo saturar o ar e se ocorrer mistura, formar-se o nevoeiro. A existência de neve à superfície é uma condição especialmente favorável para a formação de nevoeiro frontal.

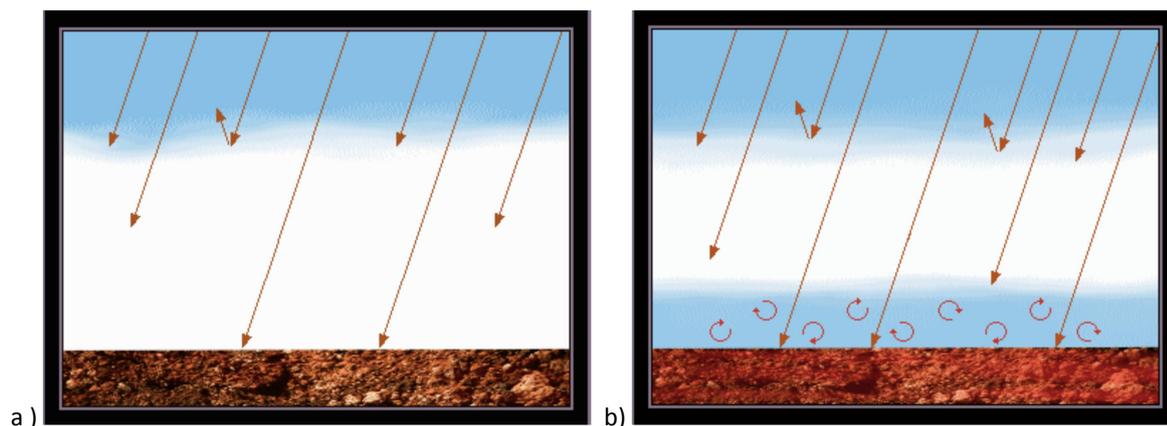
### **2.1.3 – Dissipação de Nevoeiro**

A dissipação do nevoeiro ocorre frequentemente com o aumento da radiação solar, aumento da velocidade do vento ou mudança na sua direção, pela advecção de ar mais seco ou ainda com a advecção de uma camada de nuvens superior (METOFFICE, 1996).

Como referido, o nevoeiro forma-se sobretudo durante a madrugada. Com o

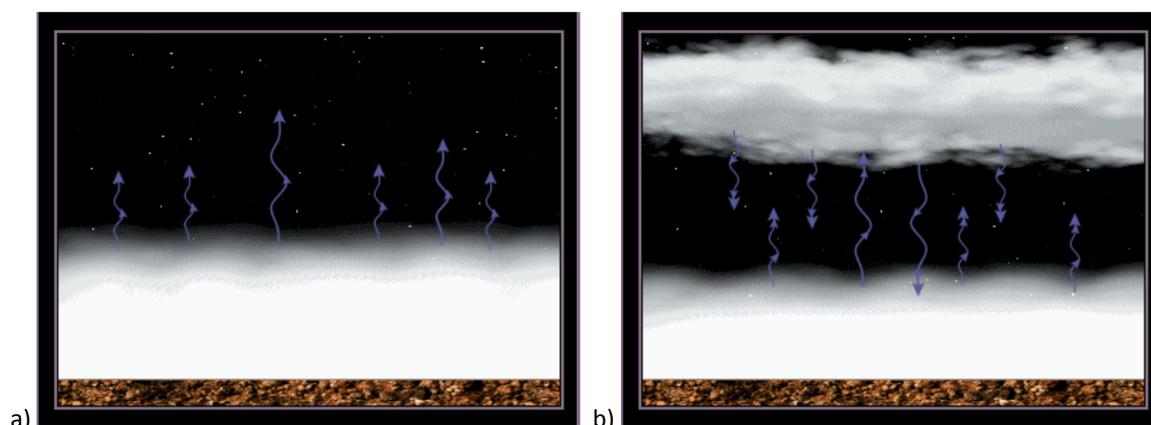
nascer-do-sol e consequente aumento da radiação solar é de esperar vários tipos de resposta por parte dos diferentes tipos de nevoeiros, no que diz respeito à sua dissipação.

Os nevoeiros pouco espessos permitem que a luz solar atinja a superfície, aquecendo o nevoeiro pela base e fazendo com que haja um rápido aquecimento das gotículas de água, causando a sua evaporação e a consequente dissipação do nevoeiro. Nevoeiros bem misturados e espessos dificultam a radiação solar de chegar ao solo impedindo a sua rápida dissipação (ver figura 2.3). A quantidade de radiação que não é refletida será absorvida originando o aumento da mistura no seu interior e tornam estes mais difíceis de dissipar.



**Figura 2.3** - Dissipação de nevoeiros (Ross-Lazarov et al., 2012; url:www.meted.ucar.edu/fog\_int/).

A advecção de uma camada de nuvens por cima de nevoeiro favorece a sua dissipação, pois esta para e até contraria o arrefecimento radiativo no topo do nevoeiro (ver figura 2.4). Quanto mais baixa for essa camada de nuvens, mais eficiente será a dissipação do nevoeiro. O fluxo de calor proveniente do solo gera pequenos movimentos convectivos que elevam o nevoeiro formando estratos baixos antes da sua completa dissipação (METOFFICE, 1996).

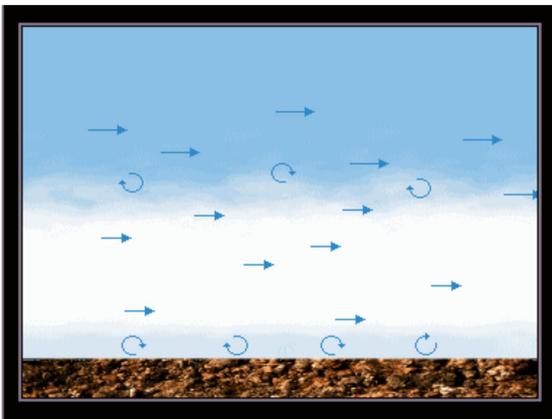


**Figura 2.4** - Dissipação de nevoeiros por cobertura de nuvens (Ross-Lazarov et al., 2012; url: www.meted.ucar.edu/fog\_int/).

No que se refere à dissipação do nevoeiro de advecção, esta é controlada por padrões meteorológicos de escala sinóptica ou de mesoscala, sendo a sua dissipação mais

eficiente com o aumento da velocidade do vento ou com a mudança na sua direção, fazendo com que se alterem os fatores que originaram a sua formação. Contudo, o aumento da radiação solar também favorece a sua dissipação embora não seja tão eficiente como nos casos de nevoeiro de radiação.

O aumento da intensidade do vento nos níveis baixos pode iniciar a dissipação do nevoeiro tanto pelo topo do nevoeiro como junto à superfície (ver figura 2.5). No topo, o vento provoca a mistura com ar mais quente e mais seco dos níveis superiores. Junto à superfície pode ocorrer um aumento excessivo da turbulência pelo atrito e se o solo já estiver ligeiramente aquecido pela radiação solar, favorece um transporte mais eficiente do calor dentro do nevoeiro. Ambos promovem a evaporação das gotículas do nevoeiro, melhorando a visibilidade.



**Figura 2.5** - Dissipação de nevoeiros por intensificação da velocidade do vento. (Ross-Lazarov et al., 2012; url: [www.meted.ucar.edu/fog\\_int/](http://www.meted.ucar.edu/fog_int/)).

A advecção de ar frio sobre a camada de nevoeiro pode também favorecer a sua dissipação, enfraquecendo a inversão térmica no topo, e melhorando dessa forma o processo de mistura que levará à dissipação do nevoeiro (Ross-Lazarov et al., 2012).

## 2.2 – Climatologia dos Nevoeiros

Os principais objetivos de estudar a climatologia dos nevoeiros são: melhorar a compreensão da sua natureza e aplicar essa compreensão na melhoria da previsão da ocorrência de eventos de nevoeiro. Observações de superfície em aeródromos e estações climatológicas são uma importante fonte de dados para a climatologia dos nevoeiros. Para isso será necessário existirem séries longas de dados, sendo aconselhável várias dezenas de anos de informação.

Diferentes abordagens têm sido utilizadas para elaborar resumos climatológicos de nevoeiro. Uma das mais comuns é o uso do número médio mensal ou anual de dias com nevoeiro, seja numa estação ou sobre uma área geográfica. Tais análises são úteis para a avaliação de locais ou zonas mais propensos à ocorrência de nevoeiro. O problema de considerar apenas esta notação, é que tais análises tendem a exagerar a sua quantidade, pois num determinado número de dias o nevoeiro ocorre normalmente em apenas uma pequena fração do tempo, por vezes menos de duas horas (Gultepe et al., 2007).

Para além das observações de superfície, dados de satélite têm também sido utilizados com sucesso. Por exemplo, Bendix (2002) mapeou a ocorrência de nevoeiro com dados de satélite, para inferir a climatologia de parâmetros físicos do nevoeiro.

O estudo das tendências interanuais de frequência pode também ser utilizado na obtenção de elementos significativos sobre a natureza complexa do nevoeiro.

As informações extraídas da climatologia dos nevoeiros podem servir como base no desenvolvimento de ferramentas de apoio à decisão e orientação na previsão meteorológica (Gultepe et al., 2007). Por exemplo, grandes quantidades de dados climatológicos podem ser condensadas numa pequena quantidade de informação climatológica relevante e útil para a previsão de aeródromo de curto prazo. Usando, a época do ano (mês) e a hora do dia (hora UTC), estes dados podem ser graficamente representados, obtendo assim as características climatológicas sazonais e diurnas de um aeródromo. Contudo, este tipo de ferramenta ainda não oferece aos meteorologistas um grau de confiança para a elaboração eficaz de previsões operacionais.

Em particular, três questões complicam a análise da climatologia dos nevoeiros a partir de observações de aeródromo. Em primeiro lugar, há que ter em conta quaisquer mudanças nas práticas de observação (ou seja, de homogeneização de dados climáticos), em segundo lugar, em explicar todas as mudanças de longo prazo na frequência de nevoeiro (não-estacionariedade), e em terceiro lugar, o que fazer com as observações semi-subjetivas de nevoeiro e precipitação em simultâneo (não se sabe qual contribuiu mais para a redução da visibilidade).

Com vista à melhor compreensão da climatologia dos nevoeiros na Região Alentejo será exposto no Capítulo 4 um breve resumo baseado nas observações meteorológicas de várias estações da região, sendo dada uma atenção especial aos dados da estação meteorológica da Base Aérea de Beja.

### **2.3 – A Modelação Numérica de Nevoeiros**

Eventos meteorológicos de mesoscala como trovoadas, precipitações intensas, brisas e nevoeiros devem ser bem compreendidos de modo a serem convenientemente modelados com vista à sua melhor previsão. No entanto, o nevoeiro é geralmente um fenómeno de pequena escala, que é mais afetado pela advecção local, mistura turbulenta à superfície, e pela sua microfísica.

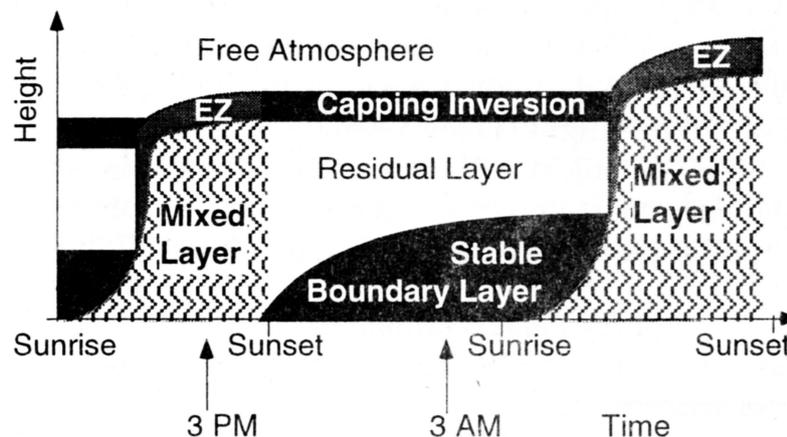
Para estudar melhor esses fenómenos, foram desenvolvidos modelos numéricos que reproduzem esses eventos. Uma investigação consistente, combinada com experiências de campo é vital antes da validação de previsões meteorológicas através de modelação numérica, nomeadamente no que se refere a eventos meteorológicos de mesoscala.

O estudo de eventos meteorológico de curta duração é de primordial importância na validação destas metodologias. Ferramentas numéricas foram concebidas para estimar tanto as trajetórias como para acompanhar o desenvolvimento desses eventos, prevendo o que irá

ocorrer algumas horas mais tarde.

Melhores previsões de nevoeiro quanto à sua localização, duração e variações na visibilidade, têm um valor operacional imenso, principalmente na área dos transportes em condições de baixa visibilidade. Os meteorologistas devem compreender e diagnosticar a termodinâmica, cinemática e microfísica dos processos de formação e evolução dos nevoeiros. As componentes termodinâmicas e cinemáticas são facilmente quantificadas, ou inferidas, enquanto a microfísica e os processos da camada limite atmosférica não o são (Croft et al., 1997).

O nevoeiro é um fenômeno de camada limite que se desenvolve tipicamente na camada limite superficial estável noturna (ver figura 2.6), sendo a sua formação e evolução fortemente influenciadas pelas condições da superfície, determinadas pelas propriedades da cobertura do solo para nevoeiros em terra, ou pelo estado da superfície do mar para nevoeiros marítimos. Os efeitos da superfície podem influenciar diretamente os perfis locais de vento, temperatura e humidade através das heterogeneidades horizontais, ou indiretamente através da modificação das propriedades radiativas da atmosfera por processos de microfísica e variação espectral dos aerossóis (Gultepe et al., 2007).



**Figura 2.6** - Componentes da Camada Limite em condições de “bom tempo” (Stull, 2000).

O arrefecimento ou aquecimento da camada superficial são determinados pelo balanço de energia, representado por fluxos de radiação e de calor latente e sensível na interface ar-solo. Esse balanço é influenciado pelo albedo e emissividade da superfície. Para além dos fluxos de energia e massa, a superfície interage com a atmosfera também através da transferência de momento linear. No caso do nevoeiro de radiação, as complexidades envolvidas no cálculo dos fluxos são enormes. Séries longas de observações de nevoeiro proporcionam uma base para o desenvolvimento e verificação de modelos numéricos de nevoeiro. A informação desses modelos pode ser usada na previsão meteorológica, possibilitando a investigação dos processos locais que afetam o desenvolvimento nevoeiro.

A turbulência e os processos radiativos têm um papel importante nas características dos nevoeiros, contribuindo de forma positiva para a sua formação, ou negativa levando à sua dissipação. Por exemplo, a mistura turbulenta é um fator decisivo mas ambíguo na

formação do nevoeiro. Se a mistura turbulenta é demasiado baixa, a deposição de orvalho na superfície vai inibir a condensação na atmosfera e conseqüentemente, inibir a formação de nevoeiro. Se a turbulência é forte o suficiente, pode promover a condensação na camada superficial sobressaturada e levar à formação de nevoeiro (Bergot et al., 2008).

A modelação numérica muitas vezes não fornece uma resposta clara para o papel da turbulência já que os resultados dependem da sua parametrização, bem como, dos processos radiativos, ambos carregados de incerteza significativa. A complexidade da turbulência e das parametrizações da superfície, bem como, das altas resoluções verticais e horizontais exigidas, representam um grande obstáculo para o sucesso das previsões de nevoeiro em tempo útil. Por esta razão, as condições da superfície e as parametrizações dos fluxos turbulentos continuará a ser uma área de investigação importante no estudo dos nevoeiros e sua modelação.

Duynkerke (1991) no seu trabalho de modelação de nevoeiros e comparação com observações à superfície na Holanda refere que vários mecanismos meteorológicos determinam a formação e a intensidade do nevoeiro. Isto, aliado às complexas interações dos vários processos termodinâmicos, será em princípio necessário um modelo tridimensional para a previsão de nevoeiros ser confiável (Gultepe et al., 2007).

Têm sido também desenvolvidos modelos unidimensionais para fins operacionais e de pesquisa, por exemplo, Teixeira e Miranda (2001) combinaram um conjunto de parametrizações criadas com base em métodos de elementos finitos para a discretização vertical. O acoplamento de modelos 1D e 3D e sua integração com observações levam também a resultados promissores na previsão de nevoeiros. Atualmente, versões detalhadas da microfísica do nevoeiro provenientes de modelos 1D são incorporadas em modelos 3D sendo assim, possível melhorar as previsões.

O sucesso da modelação numérica e previsão de nevoeiros depende do tipo de nevoeiro. Alguns eventos de nevoeiro são em grande parte estimulados por processos dinâmicos, como o nevoeiro de advecção e o nevoeiro orográfico. Se a ocorrência de nevoeiro é dominada por outros processos, por exemplo radiativos, turbulentos ou por interação direta entre a superfície e a atmosfera, então a modelação numérica do nevoeiro pode tornar-se uma tarefa muito difícil.

A previsão de nevoeiro, utilizando modelos numéricos de previsão de tempo operacionais são geralmente muito difíceis. As suas resoluções relativamente grosseiras na horizontal e na vertical fazem com que estes modelos resolvam bem os padrões à superfície com a necessária precisão fazendo com que a previsão operacional de nevoeiro seja geralmente realizada com base em regras empíricas e métodos estatísticos (Teixeira & Miranda, 2001). Contudo, é possível obter um modelo determinístico de nevoeiro tridimensional, modificando modelos de previsão de tempo já existentes, de forma adequada (Muller, 2006). Nestes modelos, as resoluções horizontais e verticais da grelha junto à superfície podem ser claramente aumentadas. Esta modificação influencia significativamente as parametrizações da física do modelo, como a turbulência, fluxos calor e de humidade à superfície, que por sua vez afetam a evolução nevoeiro.

No uso de alta resolução na vertical, as distâncias de grelha das camadas mais baixas da atmosfera têm de ser suficientemente pequenas para que a evolução no tempo dos processos físicos no interior da camada limite atmosférica junto à superfície possam ser resolvidos com precisão. Em modelação de nevoeiros com alta resolução, a grelha vertical do modelo deverá ser menor que 1 m nos primeiros níveis (Tardif, 2007).

A estrutura irregular do nevoeiro observada frequentemente é em grande parte devida às heterogeneidades horizontais do solo e da vegetação. Assim, para uma simulação realista de nevoeiro, é importante ter bem representada a distribuição geográfica da humidade do solo, da vegetação e das zonas aquáticas sobre a área contida no modelo.

A verificação dos resultados do modelo por meio de observações pode não ser facilmente efetuada, pois a saída numérica do modelo reproduz dados para pontos de grelha com um dado espaçamento. Por outro lado, as observações representam um único ponto de dados, dificultando a comparação especialmente em situações onde as observações são efetuadas em locais situados nos limites do nevoeiro.

O uso de modelos numéricos de previsão do tempo na previsão de nevoeiro, a médio e curto prazo, é ainda um problema que precisa de pesquisa continuada. Porém, estão já implementados em alguns aeroportos, como os de Paris, Charles de Gaulle (Bergot, 2007) e São Francisco, Califórnia (Ivaldi et al., 2006), modelos de assimilação-previsão de alta resolução 1D, que servem de base a previsões locais de curto prazo. Estes modelos incluem parametrizações precisas de radiação, turbulência e processos de superfície e são iniciados com observações de superfície detalhadas e contínuas de temperatura, humidade, vento, radiação e visibilidade, fornecendo previsões de nevoeiro mais precisas do que os modelos numéricos de previsão operacionais, todavia a sua aplicação continua a ser apenas local.

É referido no relatório da Campanha PARISFOG<sup>1</sup> por Haeffelin et al. (2010), que as principais questões ainda pendentes na modelação de alta resolução de nevoeiros são:

- Como competem entre si a radiação, termodinâmica, microfísica, dinâmica e processos químicos na sua interação?
- De que modo parâmetros-chave como a concentração de aerossóis, sobressaturação, taxa de arrefecimento radiativo e mistura turbulenta levam a valores críticos para atingir o equilíbrio que resulta na formação de nevoeiro?
- Existirá uma hierarquia nestes processos, ou deverá um único processo, cujo comportamento é dominante, ser melhor quantificado?

A variabilidade das condições locais em que a formação do nevoeiro, o seu desenvolvimento vertical e a sua dissipação ocorrem, normalmente acentua a dificuldade de dar respostas a estas perguntas.

---

<sup>1</sup> Projeto desenvolvido pela SIRT (Site Instrumental de Recherche en Télédétection Atmosphérique) do Instituto Pierre Simon Laplace (IPSL), um instituto de pesquisa francês para as ciências ambientais. PARISFOG foi uma campanha observacional perto de Paris, França, que decorreu durante 6 meses (outubro de 2010 - março de 2011) para monitorizar perfis de vento, turbulência, microfísica e propriedades radiativas, bem como temperatura, humidade, aerossóis, microfísica do nevoeiro e química na camada superficial.

Página intencionalmente em branco

## CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS

No estudo aqui apresentado foram utilizados diversos recursos com vista à análise e validação dos dados simulados pelo modelo Meso-NH.

Assim, foram tratados dados de observações de superfície de várias estações meteorológicas e de qualidade da água (Alqueva) da região, para obtenção da climatologia dos nevoeiros, bem como, aplicação na análise comparativa das situações simuladas para os dias de nevoeiro selecionados.

Foram também utilizados dados de deteção remota por satélite, tanto de órbita geostacionária na análise das simulações, como de órbita polar para obtenção de dados da temperatura da superfície da água da Albufeira do Alqueva e da superfície do mar, pois verificou-se a inexistência de dados de observação *in situ* destas propriedades para os dias selecionados.

No que se refere às simulações realizadas, foi usado o sistema de modelação atmosférica Meso-NH, inicializado e forçado através de dados simulados pelo modelo de previsão do tempo global operacional, ECMWF (*European Centre for Medium-range Weather Forecasts*). Foram também necessárias diversas bases de dados globais, com vista a obter parâmetros de superfície, fundamentais nas interações superfície-atmosfera, importantes para a formação e evolução dos nevoeiros na região.

### 3.1 – Observações Meteorológicas

Em ciência a recolha e armazenamento de dados pode ser efetuada através de diversas técnicas e dispositivos. Contudo, estes podem ser divididos em dois grandes grupos: as observações *in situ*, que se caracterizam pela medição de propriedades em contacto físico direto com o meio, e a deteção remota, que se caracteriza pela medição de propriedades sem contacto físico direto com o meio. São exemplos de observações *in situ* as efetuadas por meio de termómetro, barómetro ou balão-sonda. Exemplos de deteção remota são: observação por satélite, radar ou raio-x (Guarente et al., 2012). A deteção remota pode ainda ser dividida em passiva e ativa. A deteção remota passiva limita-se a receber um sinal emitido ou refletido por um objeto de forma natural, como acontece nos satélites meteorológicos geostacionários. Na deteção remota ativa há a necessidade de interagir com o objeto em estudo, aguardando a sua manifestação, como acontece na deteção por radar em que é emitido um pulso de energia eletromagnética e em seguida é esperada a reflexão de um eco de energia por parte do objeto.

Neste trabalho foram analisadas observações de superfície e imagens de satélite que serão apresentadas de forma mais detalhada em seguida.

### 3.1.1 – Observações de Superfície

Neste trabalho foram utilizadas observações de superfície de várias estações meteorológicas da região, entre elas, Beja-Base Aérea, Beja-Cidade, Évora, Portalegre, Sines e Badajoz - Talavera La Real. Esta última, apesar de não pertencer à região, pela sua proximidade foi considerada também neste estudo. Há a referir ainda, que destas estações, apenas Beja-Base Aérea e Badajoz, fazem observações de visibilidade horizontal com regularidade devido a estarem integradas em plataformas aeroportuárias e este ser um parâmetro fundamental às operações de aterragem e descolagem de aeronaves. Contudo, apenas a estação de Beja-Base Aérea, operada pela Força Aérea Portuguesa, dispõe de observações meteorológicas aeronáuticas horárias de forma contínua, disponibilizando dessa forma dados referentes a visibilidade horizontal, de grande importância na aferição da ocorrência de eventos de nevoeiro na estação. Há que referir que esta variável pode ser obtida por observação sensorial visual ou de forma automática através de visibilímetros (transmissómetros<sup>2</sup> ou difusómetros<sup>3</sup>) (ver figura 3.1), sendo ambos os métodos utilizados na referida estação meteorológica. O principal inconveniente dos instrumentos automáticos na medição da visibilidade é que esta é feita num pequeno volume da atmosfera, não sendo por vezes representativos da zona envolvente, pois a visibilidade nem sempre é homogênea em torno do ponto de observação. Contudo, a sua localização junto às pistas de um aeródromo na zona de aterragem é de extrema importância no fornecimento de informação de visibilidade ao longo da pista, essenciais em aterragens por instrumentos.

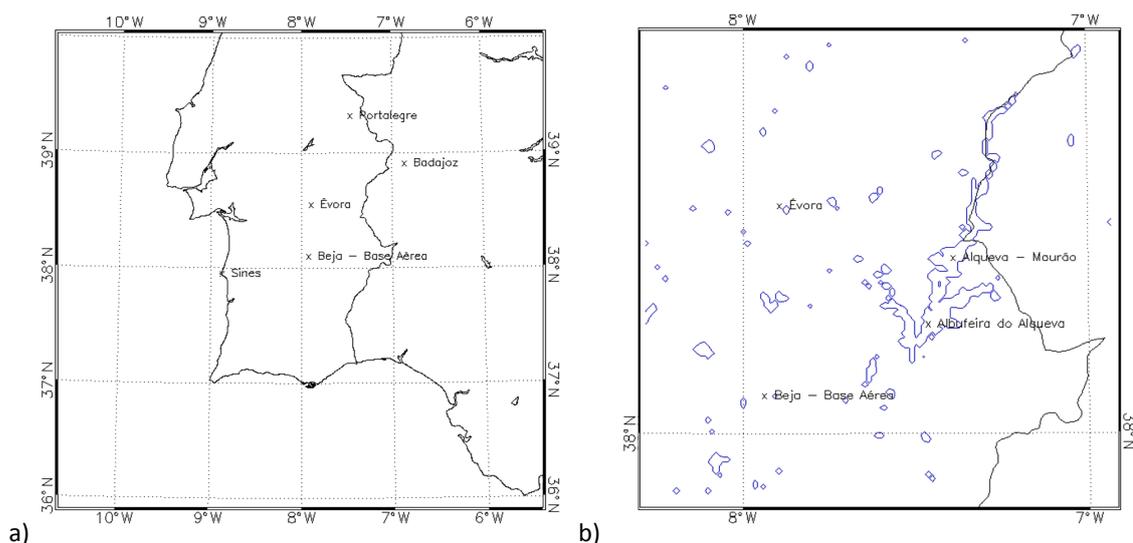


**Figura 3.1** - Instrumentos da Base Aérea de Beja; a) transmissómetro, b) difusómetro.

A localização das estações mencionadas pode ser observada na figura 3.2. As imagens da figura representam os domínios do modelo apresentado neste trabalho.

<sup>2</sup> - O transmissómetro (*transmissometer* – LT31) é um instrumento que tem como princípio de funcionamento a emissão de um feixe de luz por um transmissor em direção a um recetor que mede o seu enfraquecimento durante a viagem, determinando dessa forma o coeficiente de atenuação da atmosfera.

<sup>3</sup> - O difusómetro (*scatterometer* – FS11) mede a intensidade da luz de um feixe de luz retrodifundida pela atmosfera, determinando o coeficiente de dispersão da luz pelas partículas em suspensão no ar.



**Figura 3.2** - Localização das estações de superfície nos Domínios 1 e 2 do Modelo utilizado (a azul - superfícies aquáticas).

Na tabela 3.1 podem ser observadas as características das estações meteorológicas e de qualidade da água utilizadas neste trabalho.

**Tabela 3.1** - Estações Meteorológicas e de Qualidade da Água Utilizadas

Tipo	Estação	Código	Latitude	Longitude	Altitude	Operador	Período
I	Portalegre	08571	39° 16' 59" N	7° 25' 01" W	597 m	IPMA	1981 2010
I	Évora CC	08558	38° 31' 59" N	7° 54' 00" W	245 m	IPMA	1996 2010
I	Beja – Cidade	08562	38° 01' 01" N	7° 52' 01" W	246 m	IPMA	1981 2010
I	Sines	08541	37° 57' 00" N	8° 52' 01" W	98 m	IPMA	1990 2010
II	Beja – Base Aérea	08561 LPBJ	38° 04' 01" N	7° 55' 01" W	194 m	FAP	1994 2012
II	Badajoz – Talavera La Real	08330 LEBZ	38° 52' 59" N	6° 49' 59" W	185 m	AEMET	1981 2010
III	Alqueva – Mourão	24M/03	38° 13' 25" N	7° 27' 31" W	max. 152 m	EDIA	2003 2009
III	Albufeira do Alqueva	24M/05	38° 23' 29" N	7° 23' 17" W	max. 152 m	EDIA	2003 2009

Tipo I – Estação Meteorológica Sinóptica (Manual / Automática)

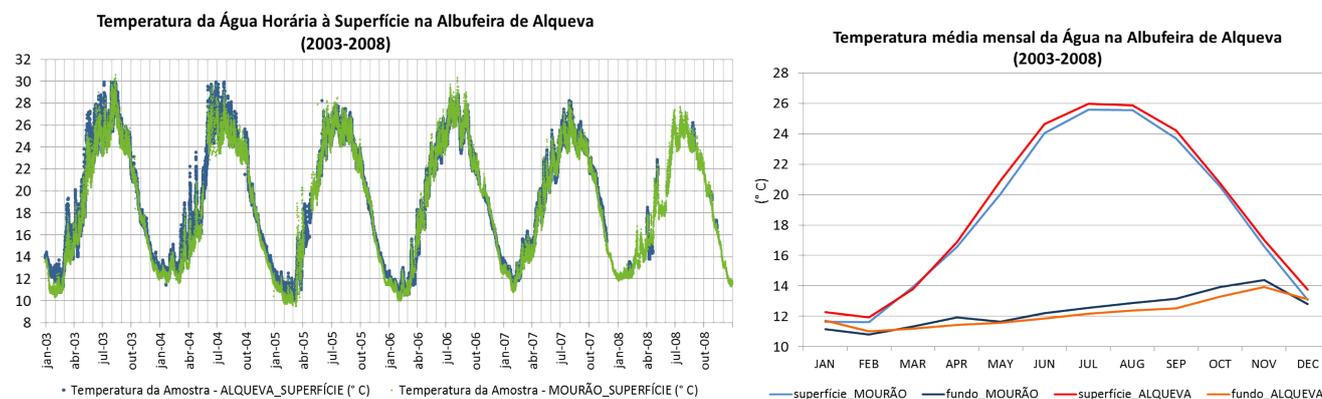
Tipo II – Estação Meteorológica Sinóptica/Aeronáutica (Manual / Automática)

Tipo III – Estação de Qualidade da Água (Automática)

Assim, foram recolhidas observações meteorológicas dos dias dos vários eventos de nevoeiro em estudo. No anexo 3.A estão expostos os comunicados meteorológicos regulares de aeródromo (METAR - *Aerodrome routine meteorological report*) da Base Aérea de Beja e também da Base Aérea de Talavera La Real – Badajoz, Espanha, onde se pode observar a evolução dos nevoeiros ao nível local para ambos os aeródromos.

No que se refere a observações da temperatura da água na Albufeira do Alqueva, apenas estão disponíveis dados de temperaturas entre 2002 e 2009. Podem ser vistos na

figura 3.3, seis anos de dados referentes a esses parâmetros o que permite estabelecer um padrão para o comportamento da temperatura ao longo do ano. O facto de não terem sido disponibilizados dados referentes aos dias em estudo neste trabalho, não torna possível a sua comparação com os dados de temperatura da água simulados para a superfície de Alqueva.



a) **Figura 3.3 -** Temperatura da água da Albufeira do Alqueva: a) série temporal de temperaturas à superfície; b) temperatura média mensal da temperatura de fundo e à superfície.

Verifica-se que a temperatura da água da Albufeira do Alqueva tem uma grande amplitude térmica anual à superfície (média de cerca de 14 °C), sendo bastante menor no fundo (menos de 5 °C em média). Há a referir que durante os meses de verão as amplitudes diárias são bastante acentuadas, quando a radiação solar é mais intensa, devendo-se sobretudo devido à estratificação da coluna da água ser bastante estável, favorecendo as trocas de calor com a atmosfera no período noturno. Nos meses de inverno as diferenças da temperatura da água entre a superfície e o fundo são quase inexistentes. Nesses meses a coluna da água está totalmente misturada, pois o arrefecimento da água à superfície origina instabilidade na coluna da água, levando à mistura e sua homogeneização.

### 3.1.2 – Imagens de Satélite

A maioria dos processos físicos, químicos e biológicos que têm lugar na atmosfera terrestre dependem da energia fornecida pelo Sol sob a forma de radiação. É comum partir-se da hipótese de que a Terra está em equilíbrio radiativo. Este equilíbrio é mantido pelo balanço entre a radiação solar incidente e a radiação (Solar + Terrestre) enviada de volta para o espaço (ver figura 3.4). Cerca de 30 % da radiação solar incidente é refletida e retro-difundida pelas nuvens, pela superfície da Terra e pela própria atmosfera. Dos restantes 70%, cerca de 20% são absorvidos por gases atmosféricos, pelas nuvens e por partículas em suspensão na atmosfera e cerca de 50 % pelas superfícies continental e oceânica (Lutgens & Tarbuck, 2013).

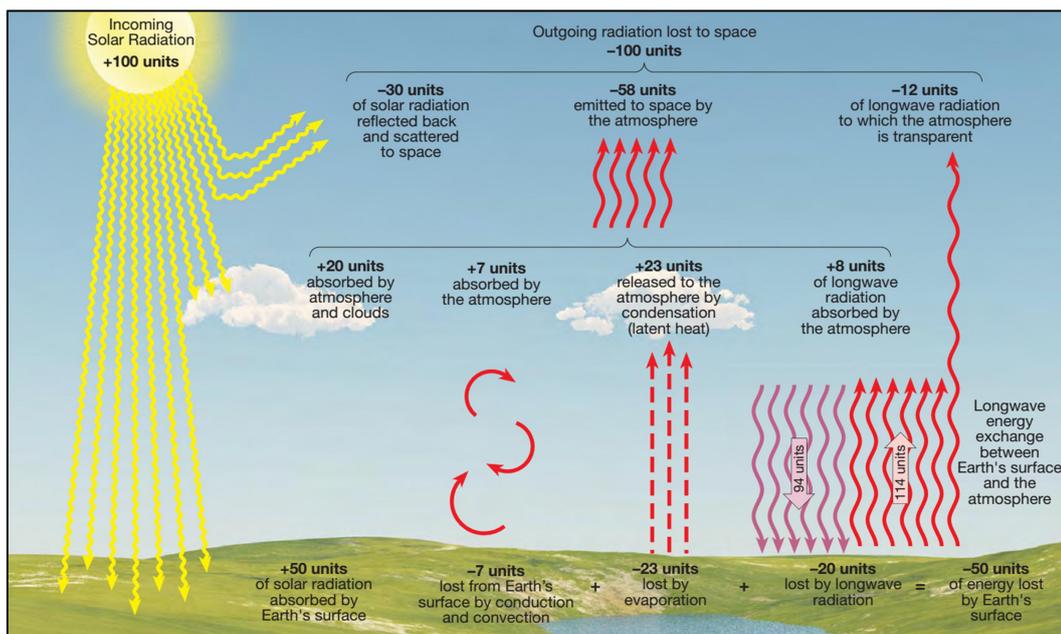


Figura 3.4 - Balanço de energia do sistema terra-atmosfera (Lutgens & Tarbuck, 2013).

As nuvens modificam a transferência radiativa devido à sua alta refletividade na banda do visível (VIS), protegendo o sistema Terra-Atmosfera da radiação solar e portanto, representam um decréscimo do balanço de energia nas ondas curtas. Por outro lado, a forte absorção na banda do infravermelho (IR) das partículas de água e gelo aumenta drasticamente a espessura óptica da atmosfera, o que contribui para o aumento do efeito estufa, representando um incremento no balanço de energia das ondas longas (Salby, 1996).

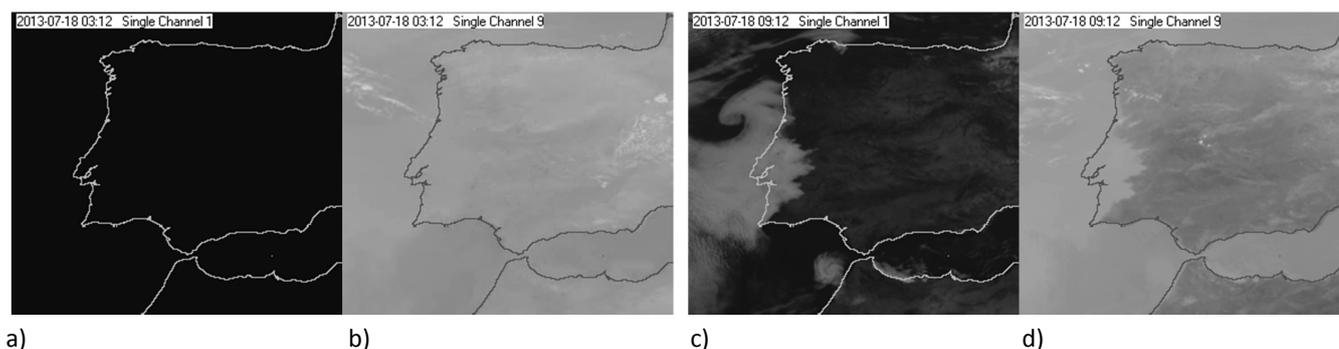
As imagens de satélite são obtidas a partir de sensores (radiômetros) que medem a radiação eletromagnética emitida pelo sol e refletida pela Terra e Atmosfera e ainda, emitida pela Terra e constituintes da Atmosfera. Todos os sólidos, líquidos e gases emitem radiação eletromagnética. Quanto mais quente for a fonte, maior é a intensidade da radiação emitida. Esta é uma das chaves de detecção remota por satélite, uma vez que, a partir da Lei de Planck, a temperatura de uma fonte emissora pode ser obtida a partir da intensidade da sua radiação (Bader et al., 1995).

As imagens de satélite podem fornecer informação sobre a ocorrência ou intensidade de vários parâmetros meteorológicos através do comportamento das nuvens, como a velocidade e direção do vento, turbulência, estabilidade atmosférica, a ocorrência e intensidade de precipitação.

As imagens do VIS fornecem informação referente a radiação de pequeno comprimento de onda refletida para o espaço pelos corpos existentes na superfície terrestre e na atmosfera (ver figura 3.5 a) e c)). Dependendo da constituição dos corpos assim será a quantidade de radiação refletida, designando-se esta propriedade de albedo. O Albedo é máximo em superfícies geladas ou topos de nuvens de grande desenvolvimento vertical, sendo mínimo em superfícies aquáticas ou cobertas por floresta densa, estando as imagens do VIS disponíveis só durante o dia.

Na banda do IR, os satélites detetam radiação de grande comprimento de onda (ver

figura 3.5 b) e d)). A radiação solar absorvida pela Terra, nuvens e atmosfera é reemitida sob a forma de radiação térmica. Como parte desta energia sofre diversas interferências. Os sensores de IR detetam a radiação emitida pela superfície terrestre, atmosfera e topos das nuvens, com a adição da interferência de todos os obstáculos desde o objeto observado até ao sensor. Há assim, a necessidade de estudar quais os melhores canais, para obter a melhor observação de acordo com as necessidades dos utilizadores de produtos baseados em imagens de satélite.



**Figura 3.5** - Imagens de satélite do dia 2013/07/18 às 03:12 UTC: a) VIS, b) IR; e às 09:12UTC: c) VIS, d) IR.

Como estão disponíveis tanto de dia como de noite, as imagens do IR têm uma utilidade mais geral, enquanto as imagens do VIS são utilizadas na identificação mais particular de certos padrões meteorológicos. Contudo, sempre que possível, devem ser usadas em conjunto para um estudo mais aprofundado das situações meteorológicas.

Durante o dia, e na ausência de nuvens mais altas, o nevoeiro e as nuvens baixas são facilmente observáveis com imagens de satélite na banda do visível (VIS). O topo do nevoeiro é suave e os seus limites nítidos, mas irregulares, sendo muitas vezes limitados pelas características do terreno (Bader et al., 1995). Por vezes, nevoeiros instalados em vales de rios são facilmente distinguidos de outro tipo de nuvem, pois a sua forma ajusta-se integralmente aos contornos dos vales.

Extensas áreas de nuvens baixas são geralmente uma mistura de nevoeiro e nuvens estratos (St). Normalmente, o nevoeiro e os St são impossíveis de distinguir, contudo, os contornos do nevoeiro são geralmente mais irregulares, uma vez que este é mais delineado pelas características do terreno. Por outro lado, se uma sequência de imagens mostra que a “nuvem” se está a mover, muito provavelmente serão St (Bader et al., 1995).

A deteção de nevoeiro e estratos baixos durante a noite, recorrendo a imagens de satélite do IR é muito difícil. Por exemplo, áreas muito estreitas de nevoeiro de vale são praticamente impossíveis de detetar. Mesmo em eventos de nevoeiro de maior extensão isso acontece, nomeadamente aquando da sua formação, pois a sua temperatura de topo e a da vizinhança são muito semelhantes (Bader et al., 1995).

Contudo, informações confiáveis em tempo quase real sobre a distribuição espaço-temporal de nevoeiro e estratos baixos só podem ser obtidas a partir de dados de satélites. Os dados de observações à superfície não têm uma distribuição espacial que

possibilite uma interpolação dos dados da visibilidade horizontal por forma a obter uma boa representação da sua distribuição, sobretudo devido à sua distribuição ser de natureza bastante complexa (Cermak & Bendix, 2007).

Até ao ano de 2004, com o lançamento do primeiro satélite *Meteosat Second Generation* (MSG), o *Meteosat-8*, era muito difícil detetar nevoeiros durante a noite à latitude de Portugal, pois até aí, apenas os radiómetros AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) a bordo dos satélites de órbita polar da Agência Norte Americana NOAA forneciam informação que permitia fazer uma análise multiespectral para deteção de eventos de nevoeiro. Há a referir que estes satélites, ao contrário dos satélites geostacionários, não fornecem imagens sequenciais da mesma posição e pela latitude a que se encontra Portugal, a frequência com que passavam era baixa (duas vezes por dia). Assim, a análise multiespectral e a composição de imagens com vários canais do espectro eletromagnético são ainda relativamente recentes em Portugal.

Como mencionado por Mateus (2006) a análise multiespectral veio revolucionar a deteção remota de nuvens devido ao enorme conjunto de oportunidades que proporciona, relativamente à análise simples (baseada numa única região espectral). A utilização da análise multiespectral dos canais do SEVIRI permite a deteção de fenómenos que de uma forma isolada seriam impossíveis de detetar.

O espectrómetro SEVIRI (*Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager*), a bordo dos satélites MSG, introduziu avanços substanciais na deteção 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.

Na deteção remota dos eventos estudados neste trabalho foram usados dados do satélite meteorológico *Meteosat-10*, um satélite geostacionário que contém o instrumento SEVIRI, situado no plano equatorial (latitude 0°; longitude 0°) a uma altitude de cerca de 36000 km, permitindo a observação da mesma região do globo com uma resolução temporal de 15 minutos, o que permite um bom acompanhamento da evolução ou alteração dos padrões atmosféricos. A sua grande desvantagem deve-se à grande distância a que se encontra da superfície terrestre que limita a sua resolução espacial. Os canais utilizados neste trabalho têm uma resolução espacial na superfície da terra de aproximadamente 3 km.

Neste trabalho foram utilizados dados do espectrómetro SEVIRI obtidos através da ferramenta EUMETSAT *Data Center Information*, disponível *online* em [www.eumetsat.int](http://www.eumetsat.int). Este sensor faz medições em 11 canais espectrais, 2 na banda do visível (VIS) e 9 na do infravermelho (IR) com 3 km de resolução na zona do equador e um canal de alta resolução na banda do visível com 1 km de resolução (ver Anexo 3.B).

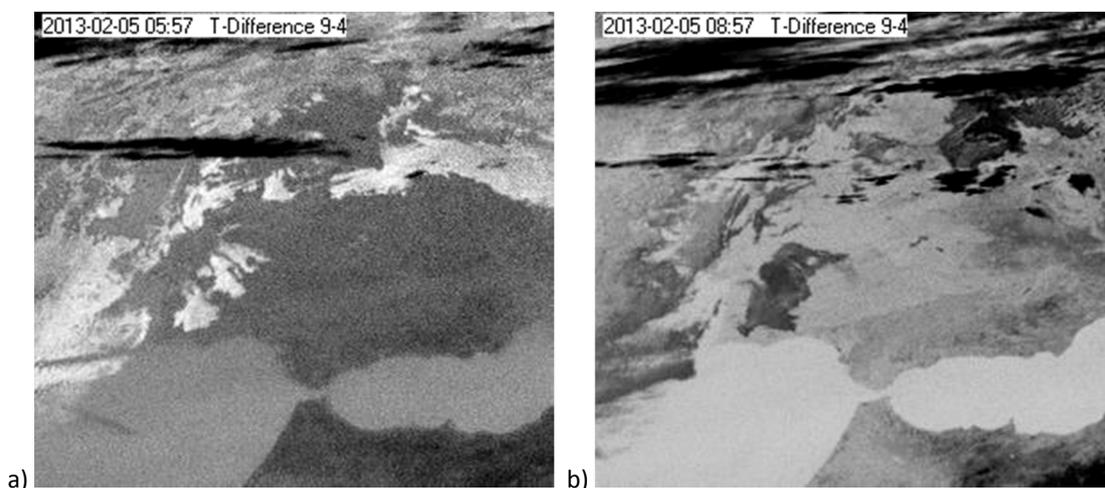
Durante a noite os nevoeiros (ou nuvens muito baixas) são bastante difíceis de detetar utilizando apenas um canal do IR, pois estamos na presença de fenómenos de muito baixa altitude, em que o topo do nevoeiro e solo sem nevoeiro apresentam Temperaturas de Brilho (BT – *Brightness temperature*) muito semelhantes (Bader et al., 1995).

Assim, neste trabalho para a deteção de nevoeiro no período noturno foram

utilizados dois canais distintos da banda do IR onde, através da diferença de BT entre eles foi possível detetar este fenómeno.

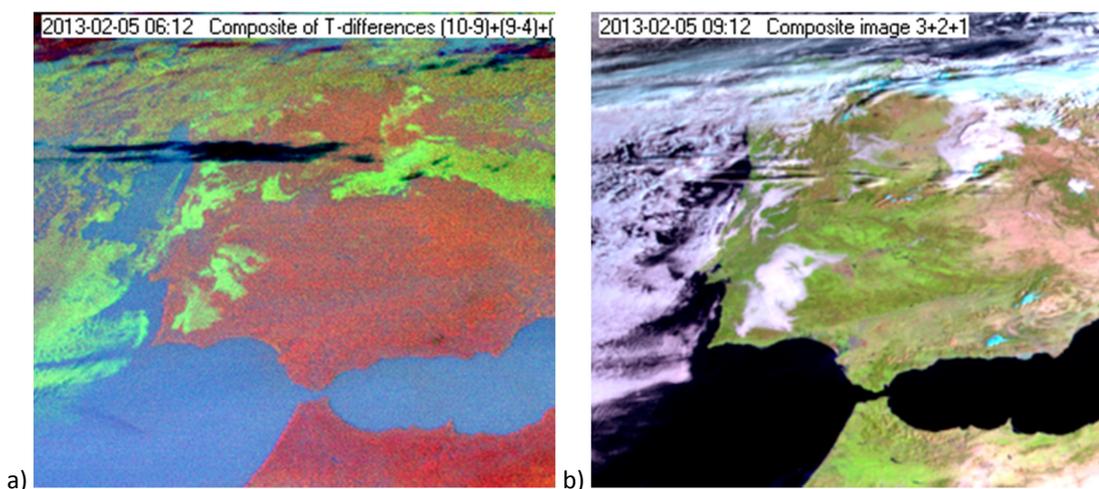
Os canais utilizados foram o IR3.9 e o IR10.8 que se situam na região da janela atmosférica, ou seja, situam-se em regiões espectrais onde a atenuação da radiação devido à absorção por parte dos gases constituintes da atmosfera não é significativa. No entanto, a emissividade da água líquida (que constitui o nevoeiro) é menor no canal IR3.9 do que no IR10.8, logo a BT do nevoeiro é mais baixa no IR3.9 durante a noite.

Apesar da emissividade da água líquida ser menor no IR3.9 do que no IR10.8, durante o dia a componente solar refletida é substancialmente maior no IR3.9 do que no IR10.8, pelo que a radiância no canal IR3.9 é maior que no IR10.8, fazendo com que a BT seja mais alta no IR3.9 (ver figura 3.6). Estas diferenças são muito úteis na identificação de nevoeiros, especialmente no período noturno pois durante o dia estão disponíveis os canais do VIS que permitem uma boa deteção dos nevoeiros (Bader et al., 1995).



**Figura 3.6** - Diferenças entre os canais 9 e 4 (IR10.8 - IR3.9) do SEVIRI apresentando a evolução do nevoeiro e nuvens baixas cerca das a) 06:00 e b) 09:00 UTC do dia 05-02-2013.

Foram ainda usadas composições RGB na deteção de nevoeiro, tanto no período noturno como durante o dia. Durante a noite foi usada a composição RGB designada por Fog-Night RGB, que utiliza os canais 4 (3.9  $\mu\text{m}$ ), 9 (10.8  $\mu\text{m}$ ) e 10 (12.0  $\mu\text{m}$ ) do SEVIRI. Este produto só tem utilidade durante a noite, tendo como principal limitação o facto de uma fina camada de cirros ser suficiente para obstruir a deteção de nevoeiro ou estratos baixos. Uma aplicação secundária deste produto é ainda a deteção de incêndios florestais (Weingroff et al., 2010). Durante o dia foi utilizado o Natural RGB, que se baseia em dois canais do VIS, os canais 1 (0.6  $\mu\text{m}$ ) e 2 (0.8  $\mu\text{m}$ ) do SEVIRI e num canal no Infravermelho próximo do Visível (NIR), o canal 3 (1.6  $\mu\text{m}$ ). Podem ser vistos exemplos destes produtos na figura 3.7, estando no anexo 3.C uma descrição gráfica simplificada da sua interpretação.



**Figura 3.7** - Composições: a) Fog-Night RGB e b) Natural RGB; do SEVIRI apresentando a evolução do nevoeiro e nuvens baixas cerca das 06 e 09 UTC do dia 05-02-2013.

O tratamento das imagens do sensor SEVIRI foi efetuado com a utilização da aplicação MSGReader disponibilizada pela EUMETSAT ([url: www.eumetsat.int](http://www.eumetsat.int)).

Houve também a necessidade de obter dados da temperatura da Água da Albufeira do Alqueva por satélite em especial nas simulações de inverno, porque não houve a possibilidade de obter os dados de observação *in situ* para os dias das simulações. Recorreu-se assim, a imagens de satélite do radiómetro MODIS (*Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer*) a bordo dos Satélites de órbita polar, Terra e Aqua, operados pela NASA. Estes dados foram obtidos através da ferramenta GIOVANNI de visualização de dados de satélite da NASA ([url: http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni](http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni)).

Foram também necessárias imagens de temperatura da água do mar obtidas igualmente com dados do MODIS. Neste caso foram tratados dados para as situações de verão devido à influência marítima ser maior e por se ter verificado que o afloramento costeiro estava a ser mal representado nas análises do modelo global do ECMWF.

Foram assim, usadas neste trabalho imagens dos produtos MOD 11 (*Land Surface Temperature and Emissivity*) e MOD 28 (*Sea Surface Temperature*) do MODIS. Para análise destes dados foi usada a aplicação BEAM-VISAT da ESA (*European Space Agency*) disponível no sítio: [www.brockmann-consult.de/cms/web/beam/](http://www.brockmann-consult.de/cms/web/beam/). No anexo 3.D são apresentadas imagens representativas da sua utilização.

De um modo geral, as observações de satélite fornecem informação da cobertura horizontal do nevoeiro e os dados de modelos numéricos ajudam à estimação de variáveis como a temperatura da superfície, humidade relativa, visibilidade e espessura do nevoeiro. No futuro, com o aumento da precisão dos modelos de nevoeiro 3D pode ser possível fornecer observações de satélite que possam ser integradas com outros dados nos modelos.

Instrumentos de deteção remota ativos e passivos podem oferecer um grande potencial na melhoria da identificação por satélite das propriedades físicas do nevoeiro. Entre os instrumentos planeados para futuras missões estão radares a bordo de satélite, que provavelmente darão um grande contributo no fornecimento de perfis de conteúdo de água líquida (Gultepe et al., 2007).

## 3.2 – Bases de Dados

Devido à complexidade do sistema atmosférico e da importância das suas relações com a superfície, existe cada vez mais a necessidade de representar com maior rigor a superfície e os processos que aí decorrem e que contribuem significativamente na interação com a atmosfera, em especial, nos processos físicos que decorrem na camada limite planetária.

Assim, há a necessidade de ter uma descrição detalhada e realista das características da superfície terrestre nos modelos numéricos de previsão, desde modelos de investigação de mesoscala, modelos de previsão numérica do tempo a modelos de circulação geral (Masson et al., 2003).

Nos modelos atmosféricos, as trocas com a superfície são parametrizados por esquemas de transferência solo-vegetação-atmosfera, que necessitam da correta localização de máscaras terra-água e das características do solo e vegetação para calcular os fluxos de momento, calor e humidade à superfície (Masson et al., 2003).

Para fornecer ao modelo atmosférico as condições fronteira inferiores sobre as características da superfície do solo e da cobertura vegetal é necessário recorrer a bases de dados com essa informação. No Meso-NH, esses campos fisiográficos são criados por um conjunto de rotinas a partir de dados específicos constante nessas bases de dados globais. As bases de dados globais utilizadas neste trabalho estão descritas na tabela que se segue.

**Tabela 3.2** - Bases de dados globais do sistema Meso-NH

<i>Tipo de Dados</i>	<i>Base de Dados</i>
<b>Cobertura da Superfície</b>	ECOCLIMAP_v2.0
<b>Orografia</b>	GTOPO30
<b>Fração de argila</b>	CLAY_HWSD_MOY
<b>Fração de areia</b>	SAND_HWSD_MOY

As bases de dados utilizadas neste trabalho têm uma resolução de 30 arcsec (~ 1 km), podendo ainda ser utilizadas no modelo MESO-NH, bases de dados referentes à batimetria oceânica ou de temperatura da água do mar, entre outras, consoante o estudo a efetuar.

### 3.2.1 – Cobertura da Superfície (ECOCLIMAP)

A base de dados ECOCLIMAP (Masson et al., 2003), desenvolvida na MÉTÉO FRANCE, foi criada com o objetivo de fornecer os parâmetros de superfície necessários aos modelos de transferência Solo-Vegetação-Atmosfera existentes nos modelos meteorológicos e climáticos. Esta base de dados foi produzida através da combinação de várias bases de dados, como mapas de ocupação da superfície, mapas climáticos, mapas de Índice de

Vegetação obtidos por satélite e mapas de textura do solo.

A base de dados ECOCLIMAP\_v2.0 (Faroux et al., 2013) foi utilizada neste trabalho para parametrização da cobertura da superfície e tem como base 4 tipos principais de cobertura: mar, superfícies aquáticas interiores (rios e lagos), natureza e áreas urbanas.

Ao tipo de cobertura natureza corresponde a vegetação que pode compreender 12 diferentes tipos: solo nu, rochas, neve permanente, árvores de folha caduca, árvores coníferas, árvores de folha perene, culturas do tipo C3 (fixação de Carbono-3), culturas do tipo C4 (fixação de Carbono-4), culturas de regadio, pradaria de clima temperado, pradaria tropical e pântano. Cada “mosaico” tem em conta a variabilidade da vegetação, consoante a sua localização, clima e fenologia (Masson et al., 2013).

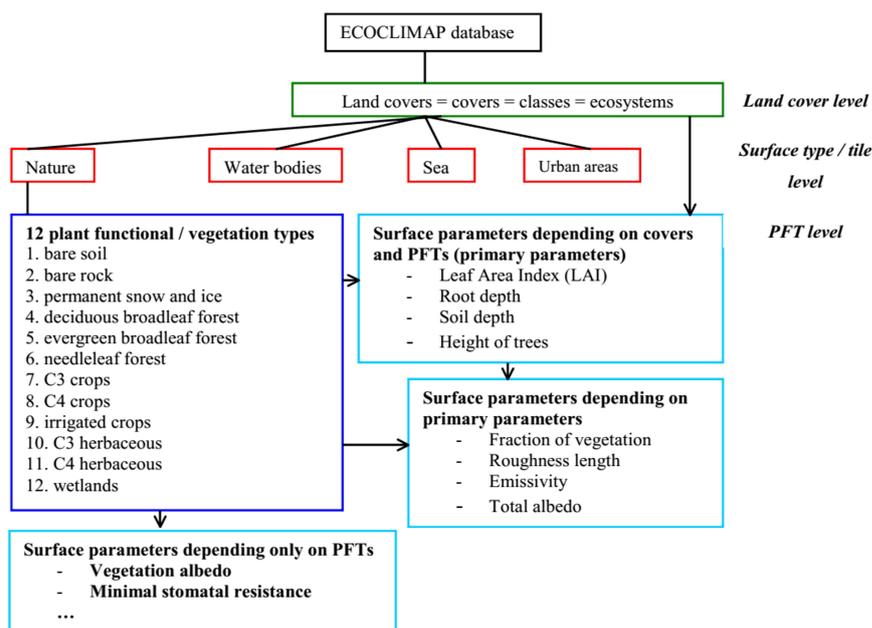


Figura 3.8 - Organização da base de dados ECOCLIMAP (Faroux et al., 2013)

Na sua versão original a base de dados ECOCLIMAP possui 215 diferentes tipos de cobertura da superfície. Com a criação da 2ª versão, com dados melhorados para a Europa, ela passou a ter mais de 550 tipos diferentes de cobertura para todo o mundo.

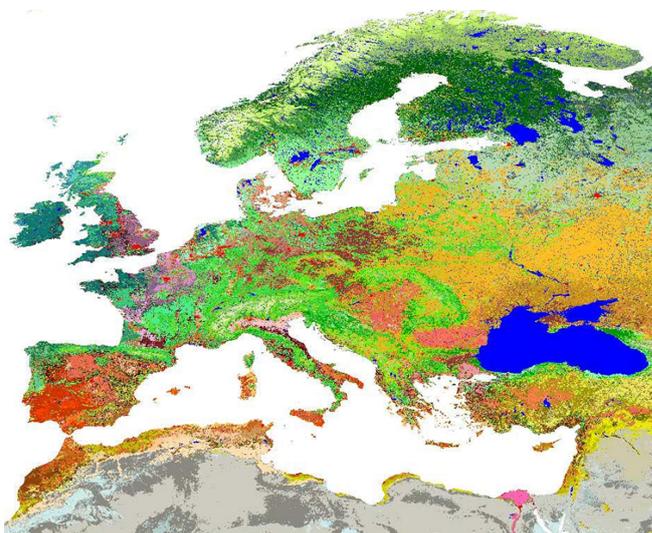


Figura 3.9 - Mapa ECOCLIMAP-II/Europe simplificado com 103 classes de padrões dominantes (Faroux et al., 2013).

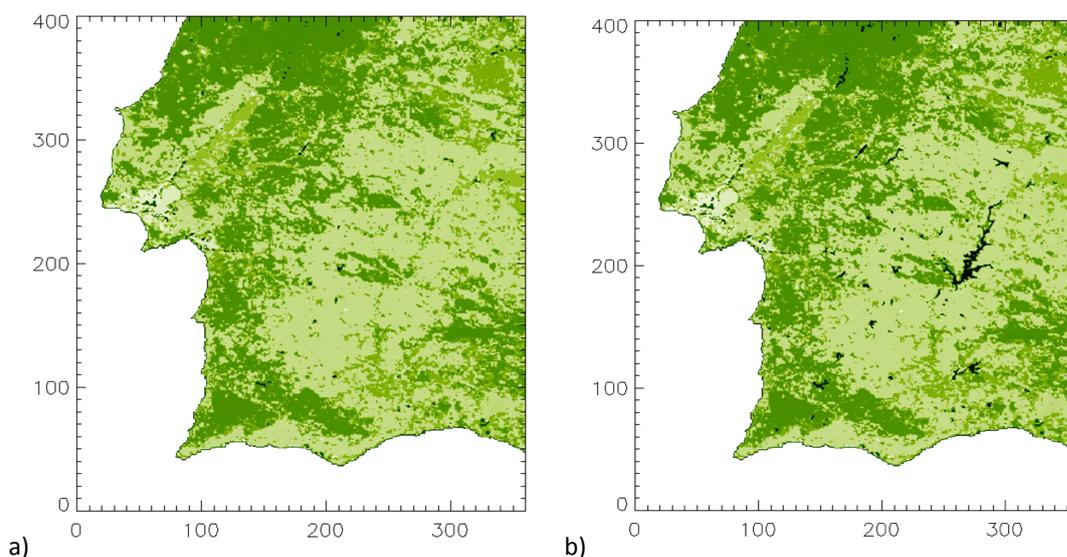
Quer os parâmetros que descrevem as superfícies urbanas, quer os que são dependentes da vegetação, estão tabelados para cada tipo de superfície. No caso da vegetação, os parâmetros primários são o LAI (Índice de área foliar - “*Leaf Area Index*”), o tipo de vegetação e a altura das árvores, e os seus valores evoluem ao longo de um ciclo anual, contendo a ECOCLIMAP valores diferentes para cada período de 10 dias. Outros parâmetros dependentes da vegetação (albedo, emissividade, etc.) são calculados a partir dos anteriores, normalmente a partir do LAI.

Há contudo a referir que apesar da sua revisão bastante recente, a base de dados ECOCLIMAP foi construída com dados desatualizadas, verificando-se para a Região do Alentejo que a área ocupada pela albufeira da Barragem do Alqueva, bem como, outros lagos interiores criados posteriormente à edição do ECOCLIMAP original, ainda não estavam representados.

Para realizar com maior realismo as simulações necessárias ao estudo efetuado neste trabalho houve assim, a necessidade de introduzir algumas alterações nos parâmetros de superfície existentes. Pode-se ver na figura 3.10 a diferença antes e após as alterações introduzidas na ocupação das massas de água na região. Com esta modificação pôde-se representar melhor a realidade atual, bem como, verificar melhor o impacto da Albufeira do Alqueva para região no que se refere aos eventos de nevoeiro estudados.

Recorrendo a ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (Quantum GIS) e de programação de análise de dados (IDL) foram efetuadas as alterações que se acharam adequadas à realidade atual. Devido à complexidade da base de dados ECOCLIMAP foram apenas feitas alterações nas áreas alagadas pela Albufeira do Alqueva e outras albufeiras mais pequenas da região. A técnica utilizada é exposta sumariamente no anexo 3.E.

Foi efetuada a identificação das zonas a alterar na área compreendida entre os paralelos 37,0° e 40,0° N e os meridianos 7,0° e 9,0° W em quadrículas de 1° (120x120 no ECOCLIMAP), tendo posteriormente sido inseridas essas quadrículas no ficheiro ECOCLIMAP original, transformando-o num novo ficheiro ECOCLIMAP atualizado para região do Alentejo.



**Figura 3.10** - Representação da base de dados ECOCLIMAP v2.0 a) original e b) modificada para a região. As áreas a negro representam superfícies aquáticas.

### 3.2.2 – Orografia (GTOPO30)

A base de dados GTOPO30 é um modelo global digital que representa a elevação do terreno (*Digital Elevation Model - DEM*) e que resulta do trabalho liderado pelo U.S. Geological Survey's (USGS), EROS (*Earth Resources Observation and Science*) Data Center. Esta base de dados foi pela primeira vez apresentada em 1996 e deriva de várias fontes de informação topográfica, tendo participado na sua elaboração diversas organizações internacionais e nacionais de vários Países.

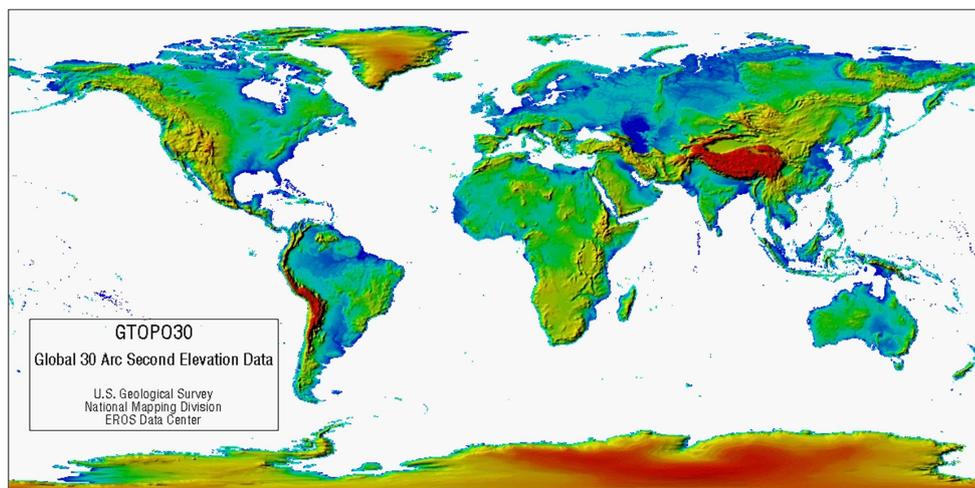


Figura 3.11 - Imagem da base de dados GTOPO30 (<http://eros.usgs.gov/>)

Devido às alterações introduzidas na base de dados ECOCLIMAP, verificou-se também necessidade de alterar a orografia na área de ocupação da Albufeira do Alqueva devido à sua grande dimensão, tendo sido alagada a área definida por esse empreendimento à cota de 152 m em relação ao NMM como se pode observar na figura 3.12. Assim, recorrendo a programação de análise de dados (IDL) foram efetuadas as alterações pretendidas.

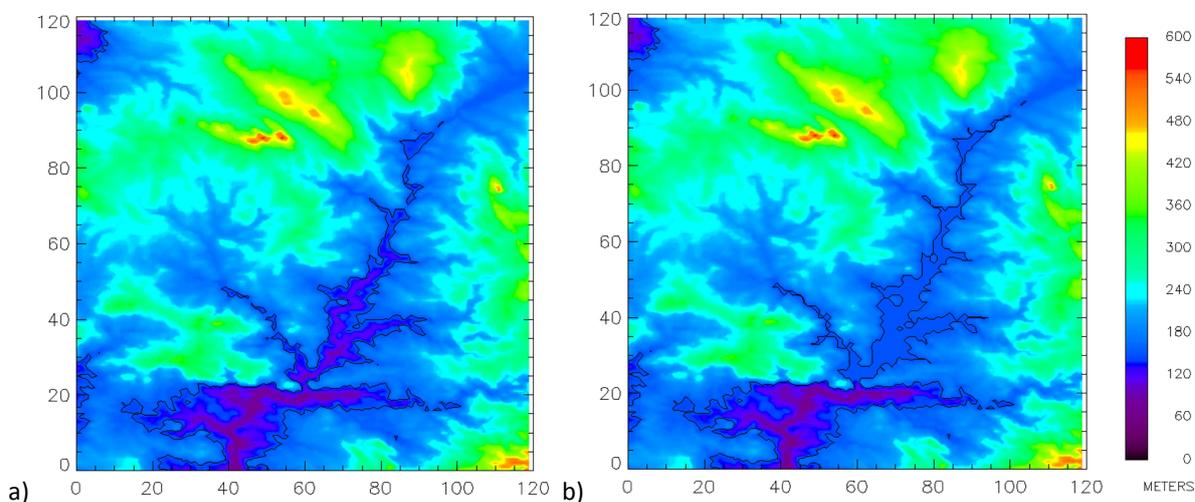


Figura 3.12 - Representação da base de dados GTOPO30 a) original e b) modificada para Alqueva.

### 3.2.3 – Composição do Solo (Bases de Dados FAO)

Os parâmetros térmicos e hídricos do solo que dependem da sua textura podem ser calculados a partir da percentagem de argila e de areia presentes no solo (Noilhan e Lacarrère, 1995). Para a sua utilização é necessário que esta informação esteja disponível em bases de dados digitais que possam ser utilizadas na parametrização do solo e servirem de base à modelação dos processos físicos no solo, que irão interagir com o modelo Atmosférico.

A informação da textura do solo (fração de argila e de areia) usada no presente trabalho foi obtida a partir da base de dados digital desenvolvida pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO) e designa-se por *Harmonized World Soil Database* (HWSD). Esta é uma base de dados de solos mundial e foi desenvolvida com a colaboração das seguintes organizações:

- *Chinese Academy of Sciences* (CAS)
- *International Institute for Applied Systems Analysis* (IIASA)
- *International Soil Reference and Information Centre* (ISRIC)
- *Joint Research Centre of the European Commission* (JRC)

A FAO disponibiliza de forma livre a aplicação HWSD - Viewer para visualização dos dados de solo a 30 arcsec em imagem ou em tabela de dados (url: <http://webarchive.iiasa.ac.at/Research/LUC/External-World-soil-database/>).

A figura 3.13 representa a percentagem de argila e areia na região em estudo.

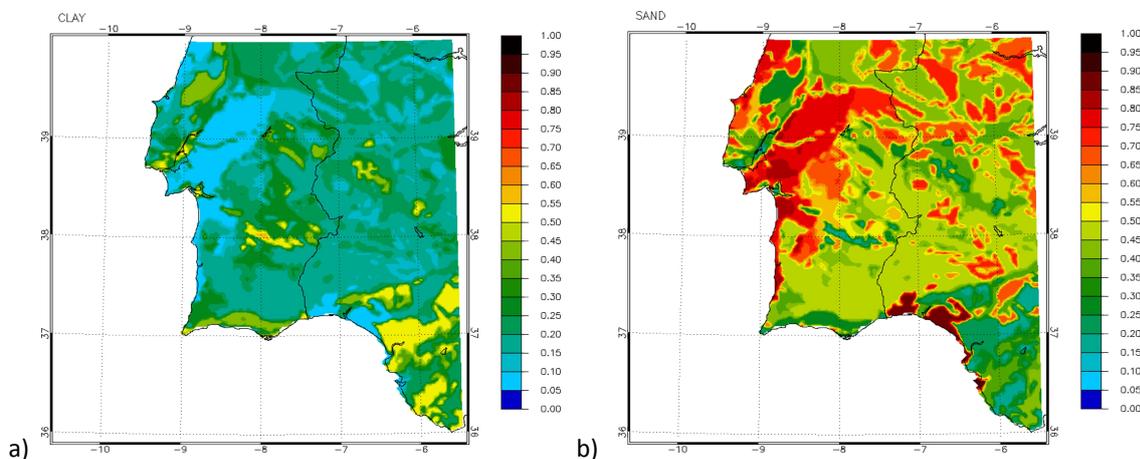


Figura 3.13 - Fração de a) Argila e b) Areia na região em estudo.

### 3.3 – Descrição do Modelo MESO-NH

O sistema de modelação atmosférica de mesoscala utilizado neste trabalho foi o Modelo Meso-NH desenvolvido numa parceria entre o CNRM (MÉTÉO FRANCE) e o *Laboratoire d'Aérodologie*, ambos franceses e sediados em Toulouse. Este modelo é composto por várias componentes e é capaz de simular movimentos atmosféricos em várias escalas,

que vão desde a escala sinóptica (centenas de quilómetros) até à microescala (dezenas de metros). Possui um pacote físico completo, um gestor de arquivos flexível e um conjunto de facilidades para preparar condições iniciais, idealizados ou interpolados, a partir de análises ou previsões meteorológicas. Possui também um pós-processamento flexível e ferramentas gráficas para visualização dos resultados, bem como, um conjunto de procedimentos interativos para controlar todas as funções (Lafore et al., 1998). A versão utilizada no desenvolvimento deste trabalho foi a MNH-V4-9-3.

A variável termodinâmica utilizada nas equações de evolução é a temperatura potencial,  $\theta$ . A equação de evolução para a variável  $\theta$  é original no modelo Meso-NH, e leva em conta o efeito do vapor de água e das mudanças de fase, conseguindo dessa forma uma muito boa precisão (Lafore et al., 1998).

As várias substâncias consideradas pelo modelo incluem a água nas suas diferentes fases, sendo representadas no modelo por razões de mistura (razão entre a massa da substância e a massa de ar seco). O tratamento das várias formas de água é flexível, podendo ser consideradas até 7 diferentes formas: vapor, água líquida das nuvens, água líquida da chuva, neve e mais três categorias de gelo: cristais de gelo, *graupel* (neve rolada), e granizo. Sendo a razão de mistura total da substância água definida pela expressão:

$$r_w = r_v + r_c + r_r + r_i + r_s + r_g + r_h, \quad (3.1)$$

onde,  $r_v$  representa a razão de mistura de vapor de água,  $r_c$  de água líquida nas nuvens e  $r_r$  da chuva,  $r_i$  de cristais de gelo,  $r_s$  de neve,  $r_g$  de *graupel* e  $r_h$  de granizo (*hail*). Esta distinção é muito importante pois, estas diferentes espécies de água possuem também distintas propriedades físicas, com efeitos relevantes nos processos atmosféricos.

O calor específico a pressão constante do ar húmido toma a seguinte forma genérica:

$$C_{ph} = C_{pd} + r_v C_{pv} + (r_c + r_r) C_l + (r_i + r_s + r_g + r_h) C_i, \quad (3.2)$$

onde  $C_{pd}$  é o calor específico a pressão constante para o ar seco,  $C_{pv}$  o calor específico a pressão constante para o vapor de água,  $C_l$  o calor específico para a água líquida e  $C_i$  o calor específico para a água no estado sólido.

Uma grandeza importante no modelo Meso-NH é a função de Exner, definida por:

$$\Pi = \left( \frac{P}{P_{00}} \right)^{R_d/C_{pd}}, \quad (3.3)$$

onde  $P$  é um nível de pressão qualquer,  $P_{00}$  é a pressão à superfície, usualmente são considerados os 1000 hPa e  $R_d$  é a constante dos gases ideais para o ar seco. A partir da função de Exner é obtida a temperatura potencial ( $\theta$ ) de acordo com a seguinte relação:

$$\theta = \frac{T}{\Pi}, \quad (3.4)$$

onde  $T$  é a temperatura do ar.

A temperatura virtual está definida como:

$$T_v = T (1 + r_v R_v/R_d)/(1 + r_w), \quad (3.5)$$

onde,  $R_v$  representa a constante dos gases ideais para o vapor de água. Estando a temperatura potencial virtual definida pela expressão:

$$\theta_v = \theta (1 + r_v R_v/R_d)/(1 + r_w). \quad (3.6)$$

O sistema de equações de prognóstico é composto por equações de evolução para as três componentes do momento linear, para temperatura potencial ( $\theta$ ), para a energia cinética turbulenta (TKE) e para cada uma das razões de mistura presentes.

O modelo pode ser inicializado e ser forçado nas fronteiras laterais com análises ou previsões do modelo do ECMWF e dos modelos de previsão numérica do tempo ARPEGE, ALADIN e AROME da MÉTÉO FRANCE. Neste trabalho foram utilizadas análises de 6 em 6 horas e previsões de 3 em 3 horas ambas do ECMWF.

Para além das equações dinâmicas e termodinâmicas que governam os movimentos e processos físicos na atmosfera, está também implementado no modelo Meso-NH um pacote bastante completo de opções físicas que inclui vários esquemas de parametrização para representar:

- Interação Superfície – Atmosfera,
- Radiação,
- Turbulência,
- Nuvens e precipitação,
- Convecção,
- Eletricidade Atmosférica, e
- Química e Aerossóis.

Existem diferentes opções de parametrização para estes processos atmosféricos, que podem ser ativadas ou desativadas dependendo do estudo a realizar.

### 3.3.1 – Sistema de Coordenadas e Discretização do Modelo

O modelo Meso-NH é baseado no sistema anelástico modificado, de Lipps e Helmer (1982), que permite uma representação correta das ondas gravíticas. A inclusão da orografia no modelo é efetuada através da utilização da coordenada vertical que segue o terreno, ZHAT ( $\hat{z}$ ) (Chen & Sommerville, 1975):

$$\hat{z} = H \frac{z - z_s}{H - z_s}, \quad (3.7)$$

onde  $H$  é a altura do topo do modelo e  $z_s$ , a altitude da superfície em cada local, como se pode observar na figura 3.14.

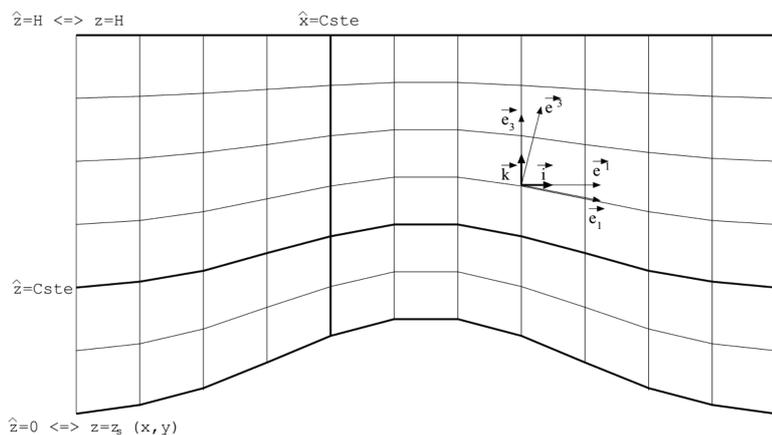


Figura 3.14 - Coordenada vertical Gal-Chen & Sommerville

Por outro lado,  $\hat{x}$  e  $\hat{y}$  são distâncias medidas a partir de uma origem arbitrária em duas direções ortogonais arbitrárias sobre uma superfície de projeção conforme, que respeita as coordenadas de latitude e longitude, permitindo assim uma maior flexibilidade. O modelo admite o uso de três tipos de coordenadas: Estereográfica Polar, de Lambert e de Mercator.

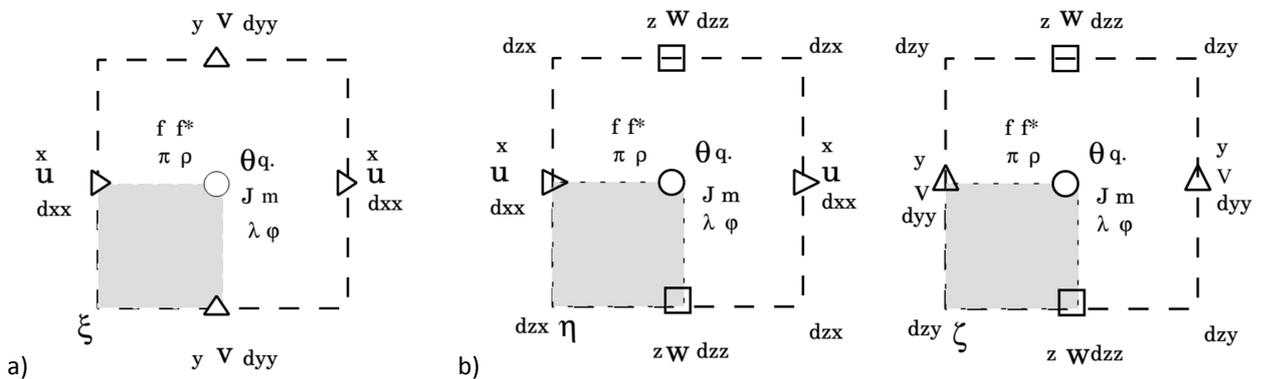
A discretização espacial do Meso-NH é baseada num método de diferenças finitas centradas sobre o sistema de grelhas deslocadas do tipo C-grid de Arakawa (Mesinger & Arakawa, 1976).

A grelha horizontal apresentada na figura 3.15 mostra que o ponto de “massa” está localizado no centro de cada elemento da grelha assinalado com  $\bigcirc$ , a componente  $u$  do vento no ponto com  $\triangleright$ , a componente  $v$  com  $\triangle$  e  $\xi$  é a componente vertical da vorticidade.

Na grelha vertical o ponto de massa e as componentes  $u$  e  $v$  do vento no ponto estão assinalados com a mesma simbologia, enquanto a componente  $w$  do vento no ponto está assinalada com  $\square$ .  $\zeta$  e  $\eta$  são respetivamente as componentes da vorticidade em ordem a  $x$  e a  $y$ . Os cantos dos quadrados sombreados têm todos as mesmas coordenadas inteiras.

$\hat{x}$ ,  $\hat{y}$  e  $\hat{z}$  e os coeficientes métricos  $dxx$ ,  $dyy$  e  $dzz$  estão respetivamente localizados nos pontos  $u$ ,  $v$  e  $w$  enquanto,  $dzx$  e  $dzy$  estão localizados nos pontos  $\eta$  e  $\xi$  respetivamente. O Jacobiano  $J$  encontra-se localizado nos pontos de massa.

A orografia  $z_s(i, j)$  está definida nos pontos  $w$  mais baixos do modelo.

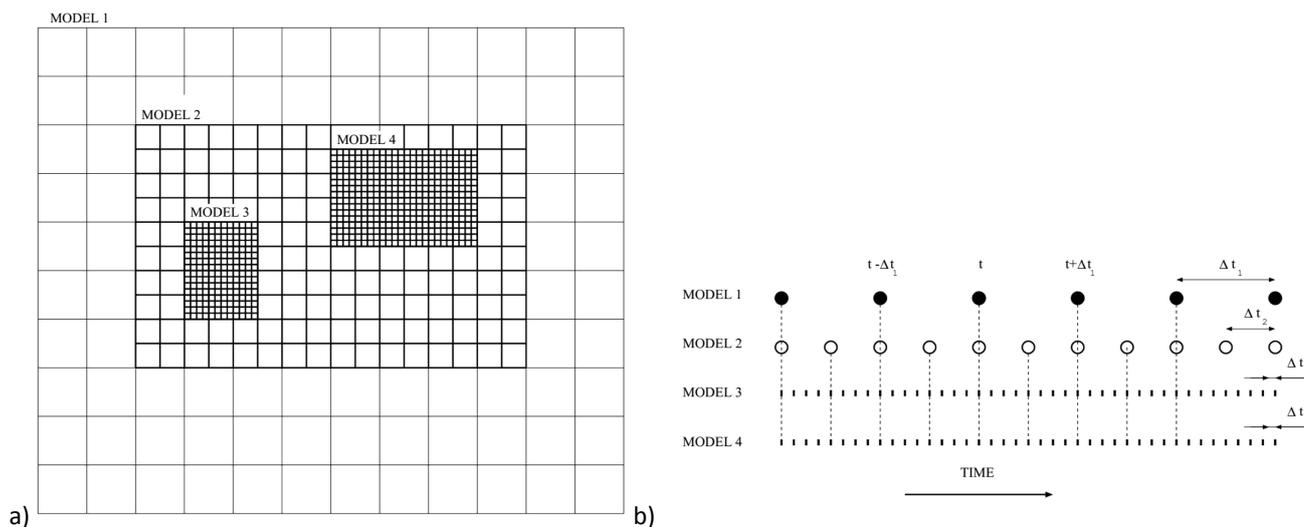


**Figura 3.15** - Discretização na horizontal a) e na vertical b)

Atualmente, a evolução temporal é explícita e baseada no esquema “leap-frog”, sendo o operador da derivação do tempo segundo a notação de Schuman:

$$\delta_t \overline{\alpha(i, j, k, t)}^t = \frac{\alpha(i, j, k, t + \Delta t) - \alpha(i, j, k, t - \Delta t)}{2\Delta t} \quad (3.8)$$

O Meso-NH permite a simulação simultânea de diversas escalas de movimentos, pela chamada técnica do aninhamento de grelhas (*grid nesting*), recorrendo à integração simultânea das equações em várias grelhas com a mesma resolução vertical, mas diferentes resoluções horizontais (Stein et al., 2000). A realização de várias simulações em simultâneo pode ser ilustrada pela figura 3.16. Pode-se visualizar uma esquematização para as resoluções horizontal e temporal do modelo, onde se verifica que são usadas as mesmas razões entre domínios, quer no espaçamento horizontal como no passo de tempo a utilizar em cada domínio.



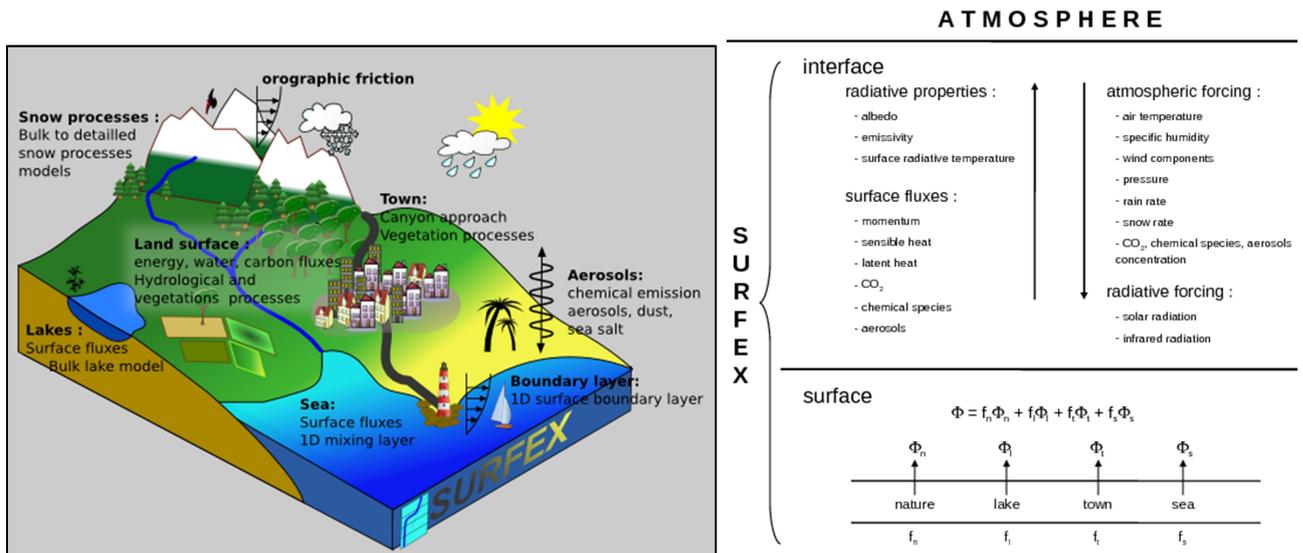
**Figura 3.16** - Exemplo de malha com uma estrutura de *grid nesting* horizontal e temporal.

Há a referir ainda, que o uso desta técnica pode ser acompanhada de interações entre os domínios nos dois sentidos (*two-way interactive nesting*) ou apenas num sentido (*one-way interactive nesting*). Nas simulações aqui apresentadas foi usada uma configuração de *grid nesting* com interação nos dois sentidos.

Esta técnica é bastante eficaz na redução do tempo de processamento, pois permite que influências regionais possam ser consideradas sem ser utilizada uma grelha de alta resolução num único domínio, o que iria originar um dispêndio muito grande em termos de processamento. Uma vantagem também será poderem existir vários locais com interesse a estudar, podendo ser aninhados vários pequenos domínios de alta resolução. Em suma, a vantagem da técnica de aninhamento de grelhas será minimizar os requisitos computacionais e maximizar a resolução para as áreas de interesse.

### 3.3.2 – Interação Superfície - Atmosfera

Para fornecer condições fronteira inferiores mais realistas estão disponíveis no modelo Meso-NH, esquemas de superfície que melhoram as simulações numéricas da atmosfera nos níveis baixos. A superfície e a atmosfera interagem através da aplicação de fluxos de energia na base do modelo atmosférico. Os fluxos fornecidos são: o fluxo de momento linear, fluxo de calor sensível e latente, fluxos radiativos ascendentes, e como opção, pode ainda simular fluxos de CO<sub>2</sub>, de diferentes espécies químicas, de aerossóis continentais, de sal marinho e de partículas de neve. Estes esquemas estão assentes numa plataforma de modelos de superfície, designada por SURFEX (*Surface Externalisée*), desenvolvido na MÉTÉO-FRANCE em cooperação com a comunidade científica. É composto por vários modelos físicos de superfície natural em terra, de áreas urbanas, lagos e oceano. Este modelo de superfície é baseado em modelos científicos pré-existentes que têm sido continuamente melhorados com vista a serem usados num grande número de aplicações e de uma forma rigorosa (Masson et al., 2013).



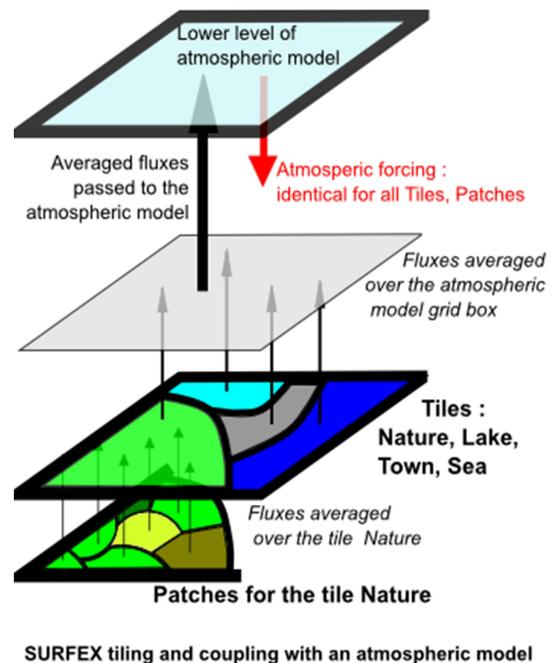
**Figura 3.17** - Esquema de representação dos principais processos e funcionalidades do SURFEX (Masson et al., 2013).

O SURFEX oferece a possibilidade de usar “mosaicos” (*tiles*), em função da ocupação da superfície fornecidos pela base de dados ECOCLIMAP. Os quatro principais mosaicos são:

1. Superfícies continentais naturais (natureza) incluem solo nu, rochas, neve permanente, glaciares, vegetação natural e paisagens agrícolas;
2. Superfícies urbanas (incluindo edifícios, estradas, infraestruturas de transporte e jardins)
3. Águas interiores (inclui lagos e rios);
4. Mar (e oceano).

Com a finalidade de considerar a diversidade das superfícies de natureza, este tipo de mosaicos pode ser dividido em “submosaicos” designados aqui de fragmentos (*patches* na figura 3.18).

**Figura 3.18** - Esquema representativo da organização da superfície usando os quatro principais mosaicos e fragmentos para a natureza (solo e vegetação) (Masson et al., 2013).



Nesta abordagem, cada mosaico tem o mesmo forçamento meteorológico ao longo das simulações, enquanto as variáveis dos modelos de prognóstico (teor de água líquida no solo, temperatura da superfície, etc...), parâmetros do modelo (profundidade do solo, comprimento da rugosidade, índice de área foliar - LAI, etc...) e os fluxos correspondentes são diferentes.

Para além da base de dados ECOCLIMAP, outras bases de dados fisiográficas são necessárias ao SURFEX (Masson et al., 2013):

1. Topografia, e.g. GTOPO30 (Gesch et al., 1999).
2. Propriedades do solo (frações de argila, areia e matéria orgânica), e.g. HWSD (Nachtergaele et al., 2012).
3. Profundidade dos lagos.
4. Batimetria do oceano

Os principais componentes da plataforma SURFEX são:

- modelo para superfície terrestre, ISBA (*Interaction Soil–Biosphere–Atmosphere*)
- modelo para superfícies urbanas, TEB (*Town energy balance*)
- modelo de fluxos à superfície sobre os mosaicos de mar e oceano.
- modelo para águas interiores, FLake (Freshwater Lake)
- modelo de emissões e deposição de poeira dos desertos sobre terra e oceano, DEAD (Dust Entrainment And Deposition).

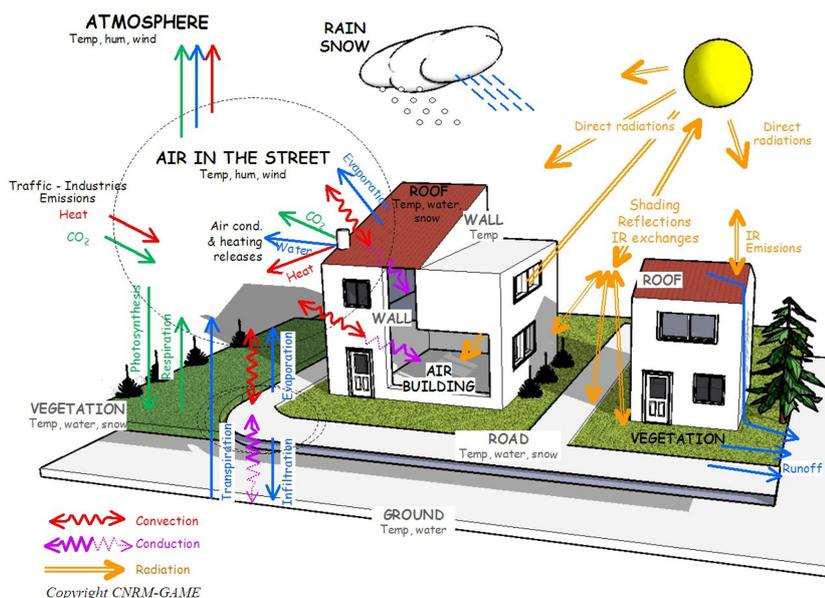
O modelo ISBA é um modelo destinado à interação com modelos atmosféricos e hidrológicos e inclui vários módulos de simulação de transferência de calor, água, carbono e outros constituintes no solo, vegetação e neve, e tem evoluído consideravelmente desde sua criação por Noilhan & Planton (1989).

Na sua versão padrão o ISBA usa um número limitado de variáveis para representar o estado do solo e as trocas solo-vegetação-atmosfera. Uma única temperatura de superfície caracteriza a malha composta por solo nu e/ou cobertura vegetal e está diretamente relacionada com uma única temperatura de solo.

O modelo TEB (Masson, 2000) foi desenvolvido para simular as trocas de energia e água entre as áreas urbanas e a atmosfera.

Os processos mais importantes que influenciam as trocas de energia entre áreas urbanas e atmosfera que o TEB (ver figura 3.19) tem em conta são:

- A geometria simplificada da cidade,
- O aprisionamento radiativo e sombras,
- A condução em telhados, estradas e paredes de forma separada (pois são tipicamente constituídos por materiais muito diferentes)
- Retenção de água e evaporação, e também evolução da cobertura de neve nas estradas e telhados, e
- Trocas turbulentas.



**Figura 3.19** - Representação esquemática das principais variáveis de prognóstico e processos considerados no modelo TEB ([url: www.cnrm-game.fr/spip.php?article199&lang=en](http://www.cnrm-game.fr/spip.php?article199&lang=en)).

Estamos na presença de um modelo que permite realizar simulações de muito alta resolução. Considerando, que na e região em estudo não existem áreas urbanas de impacto significativo para os fenómenos em estudo, a utilização do modelo TEB não foi considerada relevante.

Os fluxos superficiais sobre o oceano e o mar podem ser parametrizados utilizando parametrizações simples ou mais elaboradas. Numa parametrização simples, todas as variáveis de prognóstico são mantidas constantes e o comprimento de rugosidade é dado pela fórmula de Charnock (1955). Se a temperatura da superfície for inferior a 271,15 K, considera-se que água se encontra coberta por gelo, sendo os cálculos dos fluxos realizadas usando o comprimento da rugosidade para uma superfície de neve plana e o albedo do gelo no mar como sendo igual ao da neve fresca (Masson et al., 2013).

Em estudos mais elaborados, pode ser utilizado um modelo de oceano 1D, onde, apesar de ser negligenciada a advecção horizontal, está incluída uma equação de prognóstico para a energia cinética turbulenta (TKE) com um fecho de segunda ordem. As restantes variáveis de prognóstico são a temperatura (T), a salinidade (S) e a corrente oceânica (U) (Masson et al., 2013).

No SURFEX existem duas formas de calcular os fluxos na interface água-atmosfera sobre um lago. A primeira é relativamente simples, e baseia-se no cálculo do comprimento de rugosidade a partir da fórmula de Charnock (1955), em que os fluxos são calculados usando uma temperatura de superfície da água, constante ao longo de todo o período da simulação. Este método, embora fácil de implementar, tem o inconveniente de não ter em conta o ciclo diurno da temperatura da superfície da água. Esta abordagem pode ser aplicada em lagos profundos (ou mares e oceanos) onde a amplitude térmica é baixa ao

longo do dia. No entanto, torna-se necessário adotar outra abordagem em lagos pouco profundos, onde a variação diurna da temperatura pode ser de vários graus celsius. Uma simulação correta desse tipo de lagos é importante em modelos de alta resolução (Salgado & Le Moigne, 2010).

O FLake (Mironov et al., 2010) é um modelo de lago de água doce capaz de simular a estrutura vertical da temperatura da água e condições de mistura em lagos com várias profundidades, desde escalas de tempo de várias horas a muitos anos. O modelo pode ser utilizado como um esquema de parametrização de lagos em previsão numérica de tempo, modelação climática, e outros sistemas de previsão numérica para aplicações ambientais. O FLake pode ainda ser utilizado como um modelo de lago autónomo ou como um módulo físico em modelos de ecossistemas aquáticos.

O modelo FLake parametriza as transferências de energia entre a superfície do lago e a atmosfera, através da simulação do perfil de temperatura, e da resolução de equações de balanço de energia, massa e momento linear à superfície. A sua implementação no sistema SURFEX por Salgado & Le Moigne (2010) permite a sua utilização em investigação e em previsão operacional.

O FLake baseia-se numa representação de duas camadas de evolução do perfil de temperatura na coluna de água e no balanço integral de energia para estas camadas. A estrutura da camada estratificada entre a camada de mistura superior e o fundo, a termoclina do lago, é descrita utilizando o conceito de auto-similaridade (em que a forma é assumida) do perfil da temperatura em profundidade como se pode ver no anexo 3.F (Mironov et al., 2010). Assim, o FLake inclui:

- uma parametrização flexível do perfil de temperatura da termoclina,
- uma formulação avançada para calcular a profundidade de camada de mistura, que tem em conta a convecção, o efeito do vento na camada de mistura e o aquecimento da radiativo,
- um módulo para descrever a estrutura da camada termicamente ativa dos sedimentos do fundo e da interação entre eles e a coluna de água, e
- um módulo para representar as coberturas de gelo e de neve.

Para calcular os fluxos de momento e de calor sensível e latente na superfície do lago, está implementado um esquema de parametrização que é responsável pelas características específicas da camada superficial da atmosfera sobre o lago (Mironov et al., 2010).

Assim, e devido à presença da Albufeira do Alqueva houve a necessidade de recorrer à utilização do modelo FLake nas simulações efetuadas, nomeadamente nos eventos de inverno, pois nas situações de verão o maior fator para a formação de nevoeiros é a advecção de ar marítimo. Contudo, o FLake foi utilizado especialmente com vista a corrigir a temperatura da superfície, que se verificou ter uma diferença significativa em relação às observações obtidas por satélite, pois no inverno, como se pode confirmar na figura 3.3, a amplitude térmica do ciclo diurno da temperatura da superfície do lago é muito pequena.

O SURFEX é ainda capaz de avaliar, usando vários modelos e parametrizações, os fluxos de emissão de aerossóis originados em superfícies dos desertos (poeiras), em

superfícies oceânicas (sal marinho) ou emissões de aerossóis antropogênicos, bem como, a deposição seca de espécies químicas e aerossóis (Masson et al., 2013).

### 3.3.3 – Física do Modelo

No sistema de modelação Meso-NH está implementado um pacote bastante completo de parametrizações para os diferentes processos físicos que ocorrem na atmosfera. Os diferentes esquemas de parametrização podem ser ativados, ou desativados, consoante o estudo a efetuar. Em seguida serão abordados os esquemas opcionais mais relevantes para a realização deste trabalho:

- radiação
- turbulência
- convecção, e
- microfísica das nuvens.

#### Radiação

No esquema de parametrização para a radiação, o Meso-NH utiliza o modelo do ECMWF (Morcrette, 1989), que tem em conta a absorção e emissão das ondas longas e a reflexão, difusão e absorção da radiação solar pela superfície e atmosfera terrestre. Este modelo fornece os valores do fluxo radiativo líquido em cada ponto, valores que são utilizados no termo do aquecimento/arrefecimento radiativo na equação de evolução de  $\theta$ . Além disso fornece ainda, os valores dos fluxos radiativos descendentes, de pequeno e grande comprimento de onda, à superfície que são fornecidos ao modelo SURFEX de transferência superfície-atmosfera.

#### Turbulência

O sistema de modelação Meso-NH pretende simular as capacidades de diversos modelos em várias escalas espaciais. Uma das principais diferenças nas diferentes escalas em modelação numérica é o tratamento de turbulência. Em modelos de mesoscala hidrostáticos, o esquema de turbulência é geralmente quase- 1D (na vertical), uma vez que a resolução horizontal não consegue resolver a existência de grandes gradientes. Na modelação de resolução de nuvens (*Cloud Resolving Models* – CRM) e de Simulação de Grandes Turbilhões (*Large Eddy Simulation* – LES), isso não é possível, sendo por isso necessários esquemas de turbulência 3D, capazes de representar fontes de turbulência por cisalhamento nas três dimensões espaciais.

As equações de momento de segunda ordem são separadas numa parte isotrópica e outra anisotrópica, sendo as equações referentes a esta última consideradas estacionárias, levando à obtenção das expressões para os fluxos de energia. Por outro lado, a parte

isotrópica converte-se na equação de prognóstico da energia cinética turbulenta (*Turbulence Kinetic Energy* - TKE). Nesta formulação, os efeitos de Coriolis e da curvatura da terra são negligenciadas, bem como, os momentos de terceira ordem nas equações anisotrópicas.

O esquema de turbulência atual do Meso-NH caracteriza-se por possuir um modo quase 1D desenvolvido por Bougeault e Lacarrère (1989) (BL89) e um modo 3D de Redelsperger e Sommeria (1981) (RS81) que podem ser acionados dependendo do tipo de simulação a efetuar. No modo 1D são considerados apenas os fluxos verticais. Este modo é particularmente indicado para simulações de resolução espacial acima do km. O modo 3D, computacionalmente exigente, destina-se a simulações de alta resolução, abaixo da ordem do km.

### Convecção

No sistema Meso-NH estão disponíveis diferentes esquemas de convecção, existindo um para convecção profunda e pouco profunda e outro apenas para convecção pouco profunda. Ambos os esquemas só são necessários ser ativados em simulações de baixa e média resolução (no máximo 1 km para convecção pouco profunda e 5 km para convecção profunda), pois em simulações de alta resolução (abaixo de 1 km) estes processos são resolvidos explicitamente.

O esquema de convecção desenvolvido por Bechtold et al. (2001) a partir da formulação de Kain e Fritsch (1993), procura representar de forma eficiente a convecção pouco profunda e profunda em modelos de mesoscala e de previsão do tempo. Este esquema é designado no Meso-NH por KAFR.

O efeito das nuvens nas variáveis conservativas do modelo é expressa com base na aproximação de fluxo-de-massa, que considera a existência de áreas de fluxos ascendentes e descendentes no interior de cada coluna do modelo. As propriedades médias do conjunto dos fluxos ascendentes e descendentes são determinadas utilizando um modelo 1D em que as nuvens são consideradas estacionárias.

Mesmo em simulações de alta resolução (abaixo de  $\sim 5$  km) ocorrem processos de convecção que não podem ser tratados de forma explícita. Como na Camada Limite Convectiva, com ou sem presença de nuvens, a evolução de uma variável  $\phi$  é fortemente influenciada pelo transporte vertical turbulento, é necessário uma boa estimativa do momento de segunda ordem,  $\overline{w'\phi'}$  para determinar a tendência de  $\bar{\phi}$  na camada limite convectiva. Fortes movimentos verticais ascendentes organizados são parametrizados segundo o fluxo de massa enquanto a restante turbulência é parametrizada usando a Teoria-K da semelhança de perfis. Esta parametrização é designada por EDMF (*Eddy-Diffusivity / Mass Flux*), e foi desenvolvida como modelo de convecção de nuvens pouco profundas e convecção seca. Assim, na estrutura do EDMF (Pergaud et al., 2009; Soares et al., 2004), o fluxo turbulento de uma variável conservativa  $\phi$  é definida por:

$$\overline{w'\phi'} = -K \frac{\partial \phi}{\partial z} + \frac{M_u}{\rho} (\phi_u - \bar{\phi}) \quad (3.9)$$

onde,  $\rho$  é a densidade,  $K$  é a difusão turbulenta,  $M_u$  é o fluxo de massa convectivo,  $M_u = \rho a_u w_u$  ( $a_u$  é a fração de área da malha com movimentos verticais ascendentes e  $w_u$  é a velocidade vertical ascendente),  $\bar{\phi}$  é o valor médio e  $\phi_u$  o valor da ascensão da variável  $\phi$ .

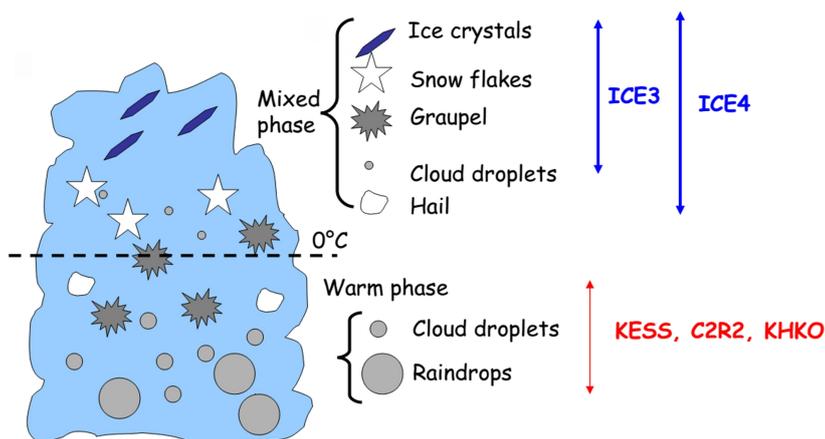
Nesta formulação, é assumido que a área de movimentos verticais ascendentes é muito pequena em comparação com dimensão da malha ( $a_u \ll 1$ ), sendo o efeito dos movimentos verticais descendentes negligenciado. Este tipo de parametrização apenas é utilizado em convecção pouco profunda.

Apesar de a convecção em grande escala não estar presente nos episódios de formação de nevoeiros, devido a estes estarem sobretudo associados a situações meteorológicas caracterizadas por existência de grande estabilidade, foi ainda assim, utilizado neste trabalho o esquema de convecção pouco profunda EDKF, tendo-se relevado pouco eficiente, pois o modelo conseguiu representar bem os processos de convecção pouco profunda explicitamente.

### **Microfísica das Nuvens**

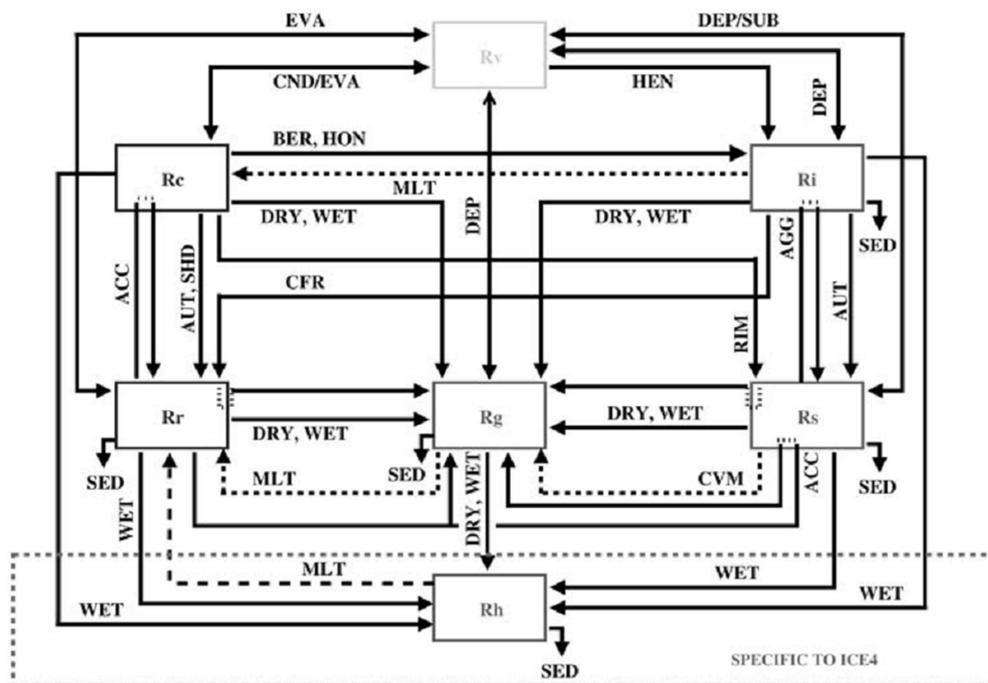
No que se refere à microfísica das nuvens podem ser utilizados diversos tipos de parametrização no Meso-NH. Assim, existem três esquemas para nuvens quentes (sem gelo). O esquema mais simples é o de Kessler (1969) que tem como objetivo o prognóstico da razão de mistura de água na nuvem ( $r_c$ ), e de água da chuva ( $r_r$ ). Os outros dois esquemas quentes consideram para além da razão de mistura, a concentração de gotículas de água na nuvem e de gotas da chuva. O esquema C2R2 é de uso mais geral, enquanto o KHKO é particularmente adaptado ao prognóstico de nuvens do género Estratocúmulos (Sc).

Estão igualmente disponíveis esquemas de microfísica das nuvens onde estão presentes as três fases, até um total de sete espécies:  $r_v$ ,  $r_c$ ,  $r_r$ ,  $r_i$ ,  $r_s$ ,  $r_g$ ,  $r_h$ . Estes esquemas são teoricamente mais satisfatórios, em primeiro lugar, porque a transição reversível entre o estado líquido e o sólido é acompanhada por uma significativa libertação de calor latente ( $\sim 10\%$  do calor latente de condensação / evaporação), o que pode contribuir para um crescimento adicional das nuvens convectivas nos níveis altos, ou nos níveis baixos por arrefecimento devido à queda de partículas mais frias em ambiente saturado. Em segundo lugar, a velocidade terminal de queda dos hidrometeoros sólidos é significativamente reduzida em comparação com a das gotas líquidas com o mesmo peso, contribuindo por exemplo, para o maior tempo de vida da parte gelada das nuvens convectivas, devido a um tempo de permanência maior dos hidrometeoros sólidos, bem como, a alteração na redistribuição espacial da precipitação. Finalmente, devido à sua forma diferente, as propriedades de dispersão da luz dos cristais de gelo são diferentes das das gotículas de nuvem de tamanho equivalente, devendo-se considerar um esquema de transferência radiativa diferente quando a fase de gelo está presente na nuvem.



**Figura 3.20** - Esquemas de parametrização subgrelha para nuvens quentes, nuvens com gelo e nuvens convectivas (url: <http://mesonh.aero.obs-mip.fr>).

Estão disponíveis no Meso-NH dois esquemas para a coexistência de nuvens com partículas no estado líquido e sólido. O ICE3 (Pinty & Joubouille, 1998) que tem como variáveis de prognóstico a razão de mistura de seis espécies de água, excetuando-se o granizo, que está contemplado no outro esquema, o ICE4 (Lascaux et al., 2006), implementado mais recentemente e que se destina sobretudo a nuvens na presença de convecção profunda. Estes esquemas ICE3 e ICE4 estão representados na figura 3.21.



**Figura 3.21** - Diagrama dos esquemas de microfísica ICE3 e ICE4. Os diferentes processos designados por grupos de três letras estão descritos no anexo 3.G.

Há referir que o esquema de microfísica utilizado nas simulações realizadas na elaboração deste trabalho foi o ICE3. Este foi o esquema de microfísica de nuvens adotado para o modelo operacional de mesoscala da MÉTÉO FRANCE, o AROME. Este é também utilizado de forma operacional no IPMA (Instituto Português do Mar e da Atmosfera).

### 3.3.4 – Variáveis Meteorológicas

Após a realização das simulações houve a necessidade de utilizar uma série de variáveis úteis à análise e interpretação dos resultados para cada caso de estudo. Algumas delas foram obtidas diretamente do modelo (variáveis de prognóstico), ou calculadas com as ferramentas de diagnóstico, disponibilizadas para o tratamento dos ficheiros do modelo Meso-NH e ainda, calculadas posteriormente por não serem disponibilizadas pelos métodos anteriores e por se julgar serem necessárias para uma melhor análise dos casos apresentados neste trabalho.

O Meso-NH disponibiliza ainda, opções de diagnóstico que possibilitam a criação de variáveis que representam os sinais obtidos por deteção remota, como sejam, sensores de satélite ou radar meteorológico.

As variáveis utilizadas na interpretação e análise dos resultados são expostas na tabela 3.3. Daqui em diante designar-se-ão por dados simulados sobre determinada estação os resultados da simulação sobre o ponto da grelha que se situa mais perto da referida estação, devidamente interpolados com recurso à teoria de Monin-Obukhov para o nível das medições: 2 m para a temperatura do ar e humidade relativa e 10 m para o vento.

**Tabela 3.3 -** Variáveis do Modelo Meso-NH

Nome	Propriedade	Tipo
ZHAT	Grelha vertical (m)	1D
ZS	Orografia (m)	2D
FRAC_WATER	Fração de águas interiores (%)	2D
FRAC_SEA	Fração de mar (%)	2D
FRAC_TOWN	Fração de área urbana (%)	2D
CLAY	Fração de argila no solo (%)	2D
SAND	Fração de areia no solo (%)	2D
UM	Componente zonal do vento (m/s)	3D
VM	Componente meridional do vento (m/s)	3D
WM	Componente vertical do vento (m/s)	3D
TEMP	Temperatura do ar (° C)	3D
REHU	Humidade relativa (%)	3D
ALT	Altitude geopotencial (m)	3D
VPRESS	Tensão de vapor (hPa)	3D
PRESS	Pressão atmosférica (hPa)	3D
MRC	Razão de mistura para a água líquida nas nuvens (g/Kg)	3D
CLDFR	Fração de nuvens (%)	3D
VISI_HOR	Visibilidade Horizontal (m)	3D
UM10	Componente zonal do vento aos 10 m (m/s)	2D
VM10	Componente meridional do vento aos 10 m (m/s)	2D
T2M	Temperatura do ar aos 2 m (° C)	2D
HU2M	Humidade relativa aos 2 m (%)	2D
MSLP	Pressão ao nível médio da água do mar (hPa)	2D

Nome	Propriedade	Tipo
TS_WATER	Temperatura da superfície da água (° C)	2D
SST	Temperatura da superfície do mar (° C)	2D
HECL	Altura explícita do topo das nuvens (km)	2D
Variáveis Calculadas		
WND_DIR	Direção do vento (°)	2D / 3D
WND_SP	Velocidade do vento (m/s)	2D / 3D
TD	Temperatura do ponto de orvalho (° C)	3D

Em seguida será apresentado o cálculo das variáveis mais utilizadas neste trabalho obtidas a partir do modelo Meso-NH, bem como, das variáveis calculadas posteriormente.

### Temperatura (°C)

A temperatura TEMP (°C) é calculada da seguinte forma:

$$T = \Pi\theta - T_t \quad (3.10)$$

onde  $T_t$  é a temperatura do ponto triplo.

### Tensão de vapor (hPa) e humidade relativa (%)

A tensão de vapor (VPRES) é calculada da seguinte forma:

$$e = \frac{P}{1 + r_v R_d/R_v}. \quad (3.11)$$

A humidade relativa (REHU) é calculada da seguinte forma:

$$U = \frac{e}{e_s(T)}, \quad (3.12)$$

onde  $e_s$  representa a tensão de vapor de saturação.

### Pressão ao nível médio das águas do mar (hPa)

No cálculo da pressão à superfície reduzida ao nível médio das águas do mar (MSLP) é calculada primeiro a pressão média entre o primeiro nível de massa do modelo e o nível abaixo. Depois é reduzido até ao NMM (altitude igual a 0) segundo a Lei de Laplace:

$$P_{sea} = P_{surf} \exp\left(\frac{gz_{surf}}{R_d \cdot T_v^m}\right), \quad (3.13)$$

onde  $g$  é a aceleração da gravidade terrestre,  $z_{surf}$  é a orografia e  $T_v^m$  a temperatura média virtual entre o nível do solo e o nível médio do mar (o último é extrapolado a partir do primeiro, com o gradiente climatológico de  $-6,5$  K/km).

### Altura explícita do topo das nuvens (km)

Para cada coluna do modelo partindo do topo para o fundo, a altura explícita do topo das nuvens (HEC) é a altura a que uma nuvem com uma razão de mistura ( $r_c$  e/ou  $r_i$ ) exceder o valor de  $0,1$  g/kg.

### Visibilidade Horizontal (m)

A visibilidade horizontal (VISI\_HOR) é obtida em função do conteúdo de água líquida e não tem uma fórmula universal. Ela é calculada para nuvens em níveis baixos de acordo com a fórmula proposta por Kunkel (1984) e utilizada no modelo COBEL<sup>4</sup>:

$$VISI_{HOR} = \frac{3.9}{144.7 \left( \frac{\rho_{dref} \cdot r_c}{1+r_c} \right)^{0.88}}, \quad (3.14)$$

onde  $\rho_{dref}$  é a densidade para o ar seco considerando a atmosfera padrão.

### Fração de Nuvens ( / )

A fração de nuvens (CLDFR) é calculada através da média estatística de  $r_c$  dentro de cada malha do modelo. Para isso é útil introduzir a variável  $t = s'/\sigma_s$ , centrada na malha, e a sua probabilidade de distribuição  $G(t)dt$ . Onde  $s$  representa a quantidade turbulenta que controla a saturação local dentro da malha e  $s'$  a sua perturbação. Sempre que  $s \geq 0$  existe saturação. Assim, como  $s = \bar{s} + s'$  a saturação pode ser definida como  $s' \geq -\bar{s}$ . Assim, o desvio padrão  $\sigma_s$  pode ser facilmente calculado numa aproximação de primeira ordem.

Como a saturação está sempre presente se  $t \geq -\bar{s}/\sigma_s$ . A quantidade  $Q_1$  é definida da seguinte forma:

$$Q_1 = \frac{\overline{r_{np}} - r_{vs}(\bar{\theta}_l)}{2(1+M)\sigma_s}, \quad (3.15)$$

com vista ser utilizada no cálculo da fração de nuvens  $N$  para a cobertura de nuvens. Onde a variável  $r_{np} = r_v + r_c$  representa a razão de mistura da água para nuvens sem precipitação (*non precipitating*),  $r_{vs}$  a razão de mistura para o vapor de água saturado,  $\theta_l$  é a temperatura potencial quási-conservativa, definida pela expressão:

$$\theta_l = \theta - \frac{L_v}{C_{ph}} \Pi_{ref}^{-1} r_c, \quad (3.16)$$

excetuando os termos fonte contidos na equação de evolução de  $r_{np}$ . Onde  $L_v$  é o calor latente de evaporação,  $C_{ph}$  o calor específico a pressão constante para o ar húmido (não saturado) e  $\Pi_{ref}$  a função de Exner considerando a atmosfera padrão. A  $M$  corresponde a massa molar obtida a partir da relação de Clausius-Clapeyron.

Assim, para cada malha do modelo, a sua fração ocupada por nuvens pode ser expressa da seguinte forma:

$$N = \int_{-Q_1}^{+\infty} G(t)dt. \quad (3.17)$$

No caso de grelhas alongadas ( $\Delta x, \Delta y \gg \Delta z$ ), como é o do modelo apresentado, esta expressão é suficiente. Contudo, em grelhas isotrópicas, a fração de nuvens tem uma natureza mais tridimensional.

<sup>4</sup> COBEL (*Code de brouillard à l'échelle locale*) (Bergot et al., 2005) é um modelo unidimensional de alta resolução desenvolvido pela MÉTÉO FRANCE, e concebido para o estudo de processos físicos na camada limite planetária muito estável, com vista à previsão de eventos de nevoeiro, tendo sido implementado em vários aeroportos (Paris-Charles de Gaulle, Paris-Orly, Lyon-St Exupery).

### Outras variáveis

O modelo também fornece variáveis obtidas pela interpolação segundo a teoria da semelhança de perfis de Monin-Obuknov, para a temperatura do ar e humidade relativa a 2 m e para as componentes, zonal e meridional do vento a 10 m de altura. Estas variáveis são especialmente úteis, na comparação dos dados obtidos por observações à superfície com os do ponto mais próximo do modelo, que serão apresentadas mais à frente neste trabalho.

Foram também calculadas posteriormente, outras variáveis uteis na análise dos casos de estudo apresentados neste trabalho.

A Velocidade do vento horizontal (m/s) foi calculada da seguinte forma:

$$WND_{SP} = \sqrt{u^2 + v^2}, \quad (3.18)$$

onde  $u$  e  $v$  representam respetivamente as variáveis UM e VM do modelo Meso-NH

A direção do vento horizontal em graus verdadeiros (°) foi calculada pelo algoritmo que se segue:

$$WND_{DIR} = atan(-u, -v) \times \frac{180}{\pi}, \quad (3.19)$$

se  $WND_{DIR} \leq 0$ , então  $WND_{DIR} = WND_{DIR} + 360$ .

A temperatura do ponto de orvalho (°C) foi calculada segundo a expressão:

$$T_d = \frac{243.12 \cdot \ln\left(\frac{VPRES}{6.112}\right)}{17.62 - \ln\left(\frac{VPRES}{6.112}\right)}, \quad (3.20)$$

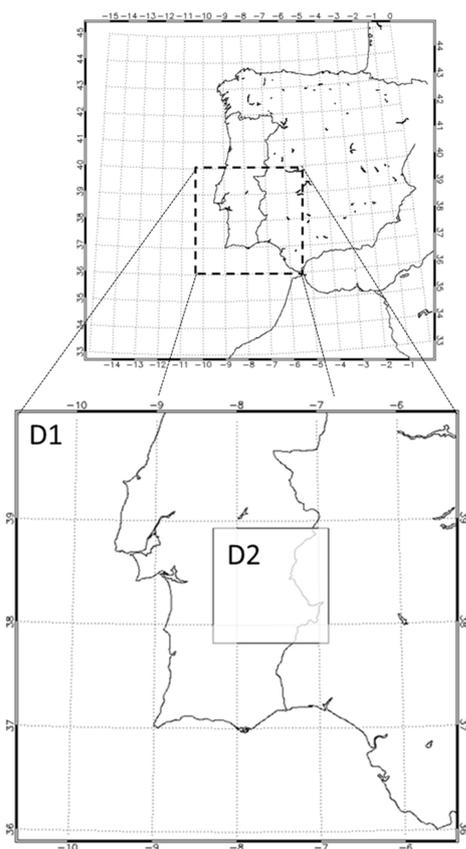
conforme a equação proposta no manual N.8 da WMO (2008) e que é válida para temperaturas entre -45 e 60° C.

Neste trabalho foram usados gráficos 2D tanto horizontais, nomeadamente do nível mais baixo do modelo, bem como Cortes Verticais nos Sentidos Sul – Norte e Oeste – Este, perfis verticais locais e gráficos de evolução temporal das variáveis em estudo. Tendo ainda, sido feitas comparações entre dados de observações à superfície e dados simulados do ponto da grelha mais próximo dessa estação.

### 3.4 – Simulações

O estudo de eventos meteorológicos de curta duração é de primordial importância na validação de modelos numéricos de previsão do tempo, como o apresentado neste trabalho. A utilização de modelos numéricos de alta resolução possibilita uma melhor descrição de eventos perigosos de curta duração tais como tempestades ou nevoeiro. Neste trabalho foi adotado o Sistema de Modelação Meso-NH da MÉTÉO FRANCE com vista a analisar os episódios de nevoeiro selecionados.

Assim, tendo como base, análises e previsões do modelo operacional do ECMWF, com 15 km de resolução espacial, como condições iniciais e fronteira, foram realizadas simulações para a região em estudo. O modelo foi configurado com dois domínios horizontais (ver figura 3.22) aninhados (*grid nesting*) com interação nos dois sentidos. O domínio maior (D1) tem uma grelha com 150x150 pontos, uma resolução espacial de 3 km (450x450 km) e está centrado nas coordenadas (Lat: 38° 00' N; Lon: 008° 00' W); o domínio menor (D2) tem uma grelha com 120x120 pontos, uma resolução espacial de 1 km e está centrado aproximadamente, nas coordenadas (Lat: 38° 22' N; Lon: 007° 36' W) com vista ao estudo mais pormenorizado da região que compreende a albufeira da Barragem do Alqueva e a Base Aérea Nº 11 em Beja.



A técnica de aninhamento de grelhas (*grid nesting*) é frequentemente utilizada em modelos de mesoscala, permitindo a otimização da capacidade de cálculo computacional, pois seria muito dispendioso simular toda área do domínio D1 com 1 km de resolução. Desta forma tenta-se dar maior relevância aos processos atmosféricos que ocorrem nas principais áreas a estudar neste trabalho. Com a utilização desta técnica é obrigatório, entre outras condições, que a resolução do modelo filho (D2) seja um submúltiplo da resolução do modelo pai (D1), e que os vértices exteriores da grelha menor coincidam com pontos da grelha maior. De igual modo, é exigido que o passo de tempo do modelo pai seja um submúltiplo do utilizado no modelo filho. No caso do Meso-NH é exigido ainda que a grelha vertical seja a mesma em todos os domínios aninhados.

**Figura 3.22** - Configuração dos domínios D1 e D2 do modelo.

Neste trabalho foram testadas diversas grelhas verticais, devido aos eventos de nevoeiro sofrerem grande influência da superfície. Assim, tendo como referência o nível mais baixo do modelo, foram efetuadas neste trabalho simulações com o primeiro nível a 10, 5 e 2m de altura, sendo cada tipo de grelha respetivamente de 45, 55 e 60 níveis com o último nível a variar entre 25 e 30 km. Com o decurso das análises efetuadas foi adotada uma grelha vertical com 55 níveis com o nível mais baixo a 5 m de altura, pela boa representação dos eventos estudados. A grelha vertical está descrita na figura e tabelas que se seguem.

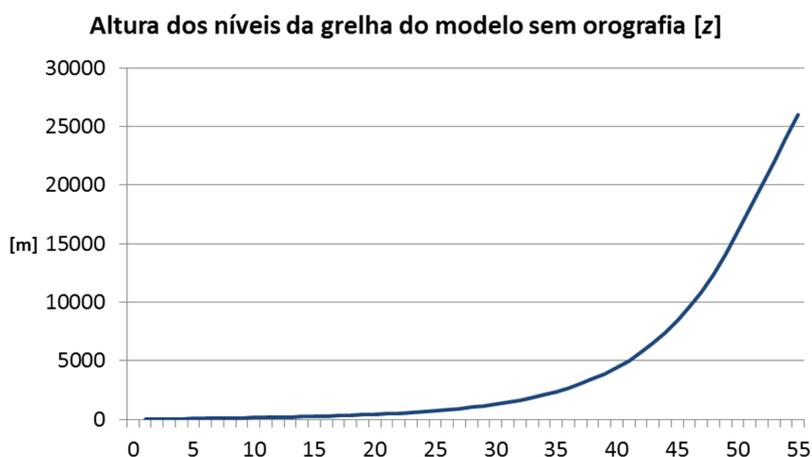


Figura 3.23 - Níveis da grelha do modelo utilizado

Tabela 3.4 - Níveis do modelo

Nível	Altura (m)
1	5
2	~ 15
3	~ 27
4	~ 39
5	~ 52
⋮	⋮
10	~ 140
⋮	⋮
20	~ 440
⋮	⋮
30	~ 1300
⋮	⋮
50	~ 16000
⋮	⋮
55	~ 26000

Tabela 3.5 - Características adotadas para as simulações finais com o Meso-NH

Domínio	D1	D2
Discretização	Nx = Ny = 150 Dx = Dy = 3 km	Nx = Ny = 120 Dx = Dy = 1 km
	Nz = 55 Dz (5 m) = 10 m; Dz (500 m) = 50 m; Dz (5 km) = 650 m; Dz (25 km) = 2000 m	
	Dt = 6 s	Dt = 2 s
Ponto Central	Lat: 38° 00' N; Lon: 008° 00' W	Lat: 38° 22' N; Lon: 007° 36' W
Interação Sup.-Atmos.	ISBA "base" TEB "base" SEA_FLUX "base" FLake (inverno)	
Esquemas da Física	Radiação: ECMWF Turbulência: BL89 (1DIM) Microfísica da Nuvens: ICE3 Sem Convecção	
Visibilidade Horizontal	Kunkel (1984)	

Muito importante na configuração do modelo aqui apresentado é a definição dos seus parâmetros de superfície. Estes são definidos sobretudo com informação das bases de dados referidas na secção 3.2. Na próxima página são exibidas algumas figuras referentes a parâmetros fisiográficos do modelo obtidos através dessas bases de dados (GTOPO30, ECOCLIMAP, etc...) para os domínios, D1 e D2.

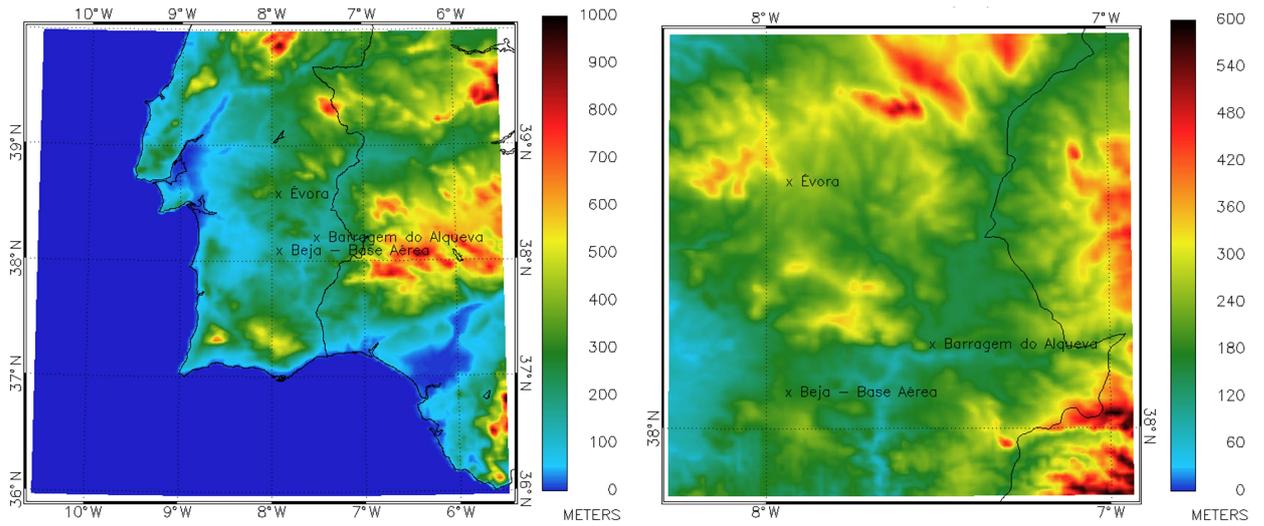


Figura 3.24 - Orografia dos domínios D1 e D2.

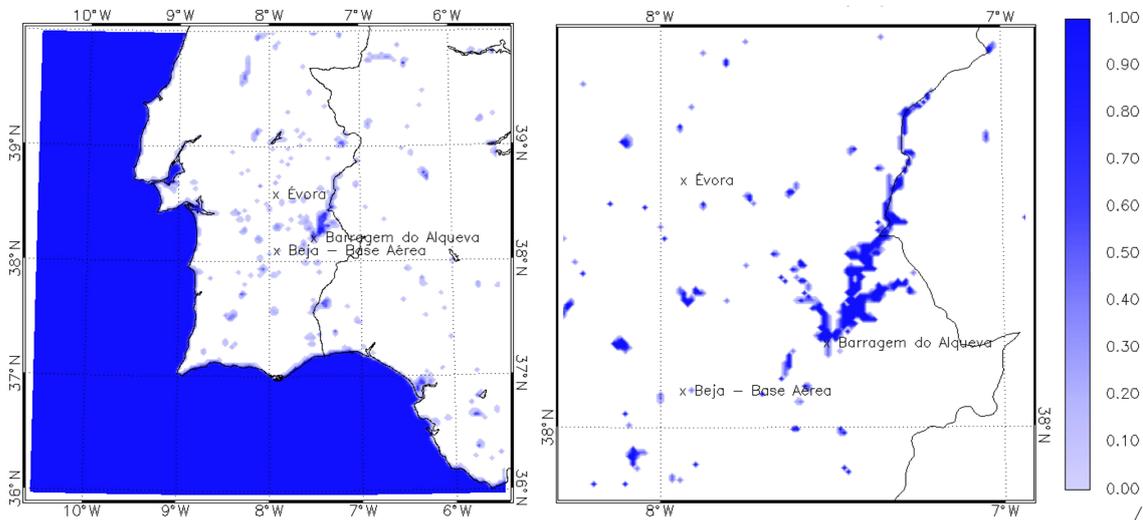


Figura 3.25 - Superfícies aquáticas dos domínios D1 e D2.

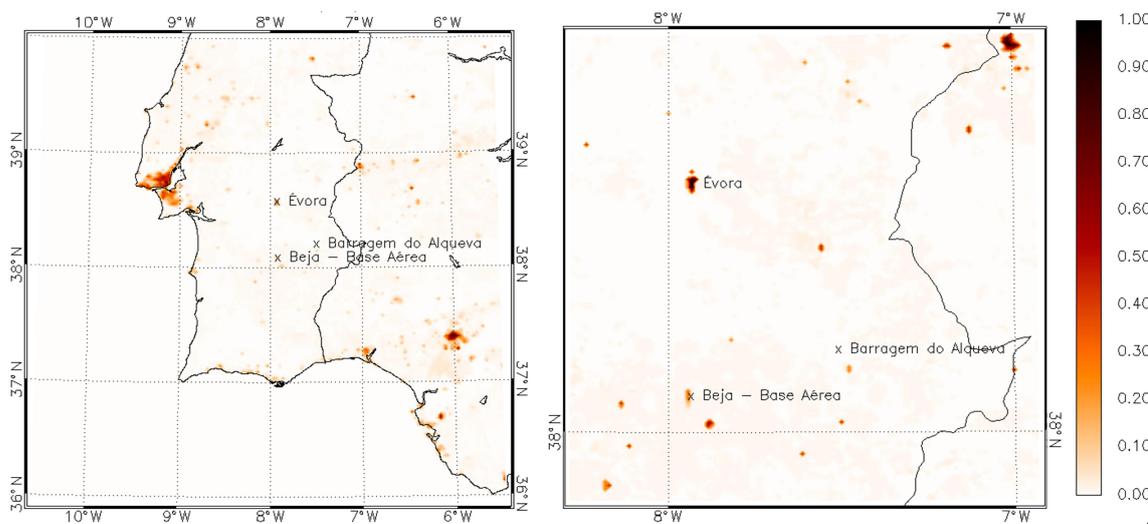
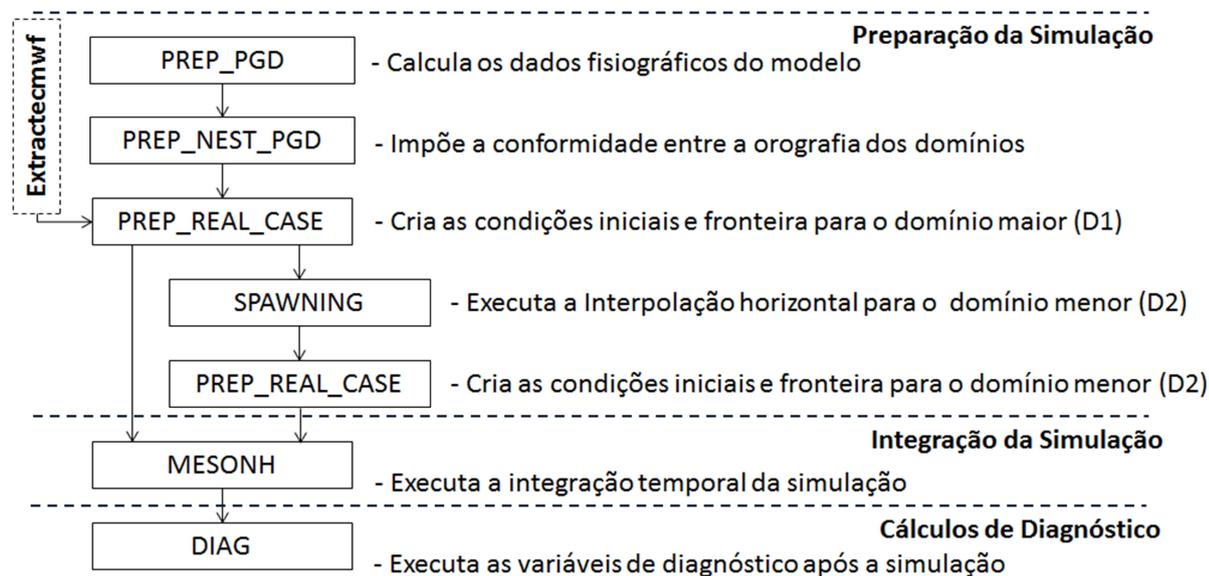


Figura 3.26 - Áreas urbanas dos domínios D1 e D2.

Em seguida é apresentado na figura 3.27 o esquema com as diferentes fases para a obtenção das simulações no modelo Meso-NH. Na execução de cada fase são construídos diferentes parâmetros que culminam na criação dos ficheiros com os resultados necessários às análises a realizar.



**Figura 3.27** - Fases necessárias ao desenvolvimento de simulações numéricas no modelo Meso-NH

Há referir que nas fases PREP\_REAL\_CASE são criadas as condições iniciais e de forçamento lateral ao longo da simulação, essenciais à obtenção dos resultados pretendidos. Nos casos estudados, as condições fronteira e forçamentos foram obtidos com base nas análises operacionais do ECMWF.

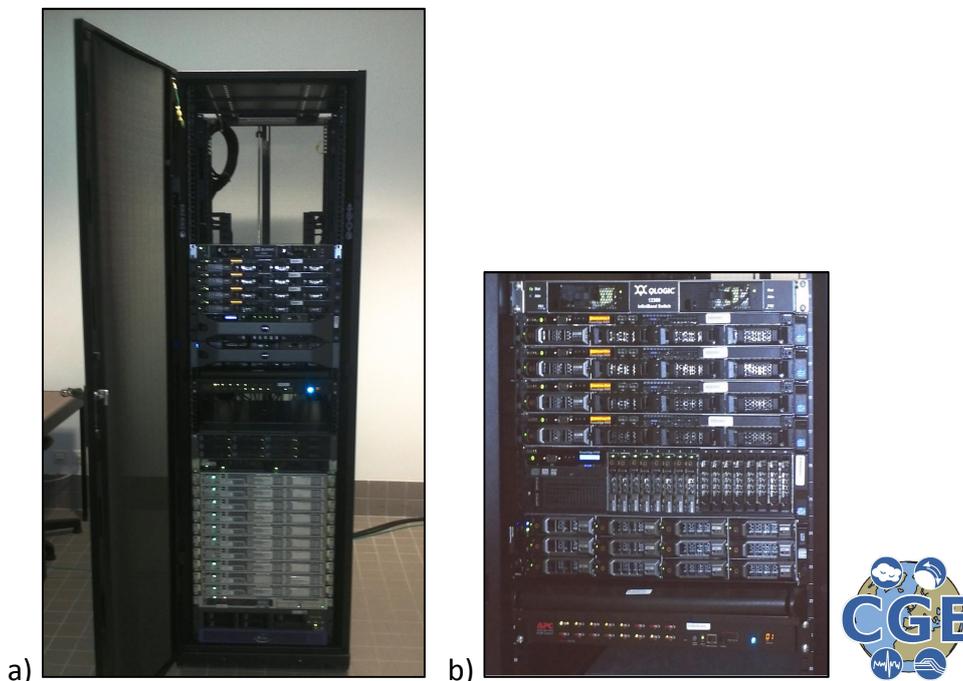
São em seguida apresentados na tabela 3.5, os dados genéricos referentes aos períodos das simulações e análise realizadas.

**Tabela 3.6** - Dados dos períodos das simulações e Análises

Data	Simulação	Análise
2012/12/08	07 18:00 – 08 18:00 UTC	08 21:00 – 08 15:00 UTC
2012/12/23	22 18:00 – 23 18:00 UTC	22 21:00 – 23 15:00 UTC
2013/02/05	04 12:00 – 05 18:00 UTC	05 00:00 – 0515:00 UTC
2013/07/16	15 18:00 – 16 12:00 UTC	15 21:00 – 16 12:00 UTC
2013/07/18	17 18:00 – 18 12:00 UTC	18 21:00 – 18 12:00 UTC

As simulações necessárias à elaboração deste trabalho foram realizadas com o auxílio do “cluster” de unidades de processamento do CGE, constituído por 128 núcleos com 2.30 GHz de velocidade de processamento e 20 GB de RAM cada. Foram efetuadas mais 50 simulações, recorrendo usualmente a 16 núcleos em simultâneo e totalizando cerca de 2500

horas de utilização de recursos computacionais, excetuando o tempo de preparação das simulações e das variáveis de diagnóstico. Há referir que foram submetidas várias vezes diferentes simulações em simultâneo. O armazenamento de todas as simulações geradas totalizou mais de 500 GB de dados horários obtidos a partir do modelo Meso-NH.



**Figura 3.28** - Fotografias do *cluster* de computadores do CGE

### 3.4.1 – Estratégia Adotada

Na configuração do modelo de mesoscala foi utilizada como estratégia principal a procura do melhor esquema de parametrizações na representação dos processos de formação e evolução de nevoeiro na região.

Com vista a compreender a resposta a diferentes configurações do modelo, foram inicialmente desenvolvidas simulações para a mesma área com diferentes configurações para o mesmo dia (2013/02/05). Foram testadas simulações com 3 e 5km de resolução horizontal, partindo em ambos os casos das análises do ECMWF (15 km de resolução), tendo-se obtido resultados semelhantes. Utilizando a técnica de *grid nesting* foram ainda realizadas para o mesmo dia simulações com 3 grelhas aninhadas 9:3:1 (9; 3 e 1km) e somente com duas 3:1 (3 e 1 km), em que se interpola diretamente das análises para o domínio de 3 km de resolução, tendo-se obtido uma muito melhor representação na simulação do tipo 3:1 em termos de localização e duração do nevoeiro na região. Essas diferenças podem ser visualizadas no anexo 3.H.

Assim, optou-se por uma configuração a dois domínios (3 e 1 km de resolução) aplicando a técnica de *grid nesting*. Apesar de ser mais dispendiosa em termos de cálculo, achou-se ser esta a melhor escolha em relação à configuração (5:1) pela representação mais

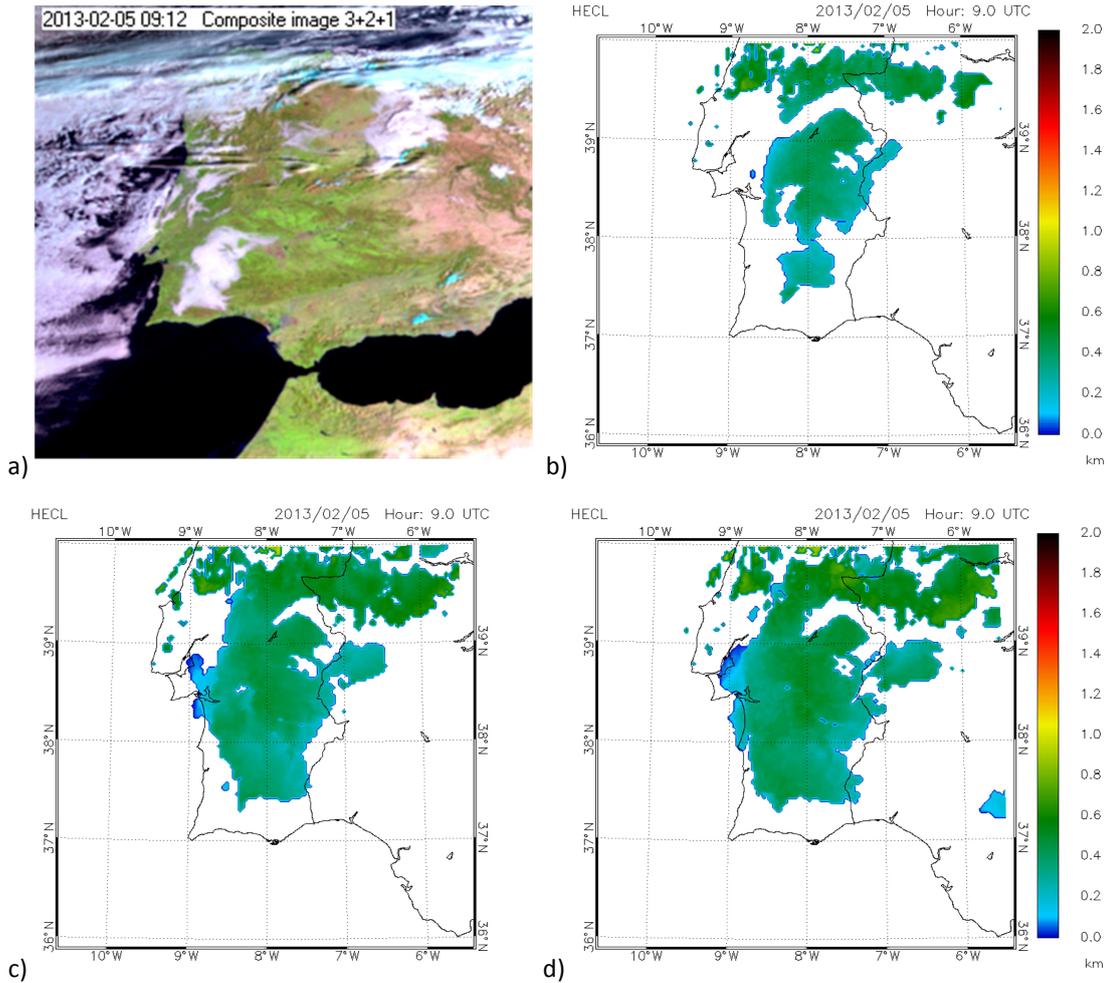
finas das variáveis meteorológicas no domínio (D1), também ele importante no estudo aqui apresentado.

Foram também utilizadas diferentes parametrizações de temperatura da água já que se verificou que a temperatura da água, tanto em Alqueva, como no Oceano não estavam bem representadas. No Alqueva verificou-se que, nos episódios de dezembro e fevereiro, a temperatura da superfície da água estava subestimada em relação à temperatura observada por satélite e aos dados climatológicos. Nos episódios de julho verificou-se que os dados fornecidos de temperatura da água do mar pelas análises do ECMWF não representam bem o processo oceânico típico de afloramento costeiro (up-welling), sobrestimando os valores da temperatura da água do mar, em particular na zona de Sagres e São Vicente.

Assim, a temperatura inicial da água da albufeira de Alqueva foi imposta a partir das observações de satélite, tendo-se utilizado o modelo FLake para calcular a sua evolução. Esta técnica foi adotada em todas as simulações apresentadas nas análises dos eventos de inverno, com vista a uma representação mais realista da temperatura do “lago” de Alqueva. Nas simulações de inverno admitiu-se que o lago não estava estratificado, tendo a coluna de água uma temperatura constante.

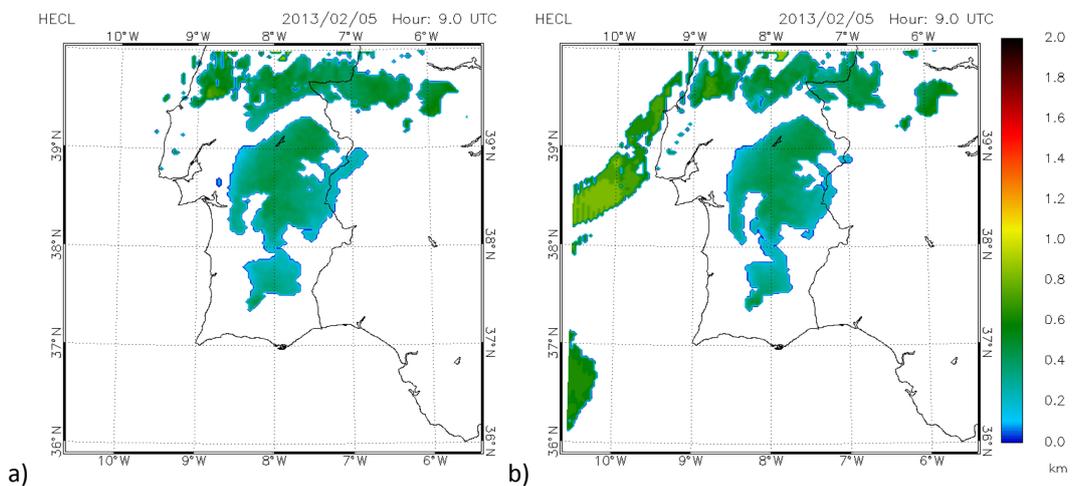
Foram também efetuadas simulações com a temperatura da água do mar modificada com base em observações de satélite. Contudo, apenas foi possível atribuir uma temperatura genérica à água do mar, tendo apenas sido feita uma pequena análise de sensibilidade a esse tipo de ajuste. Apesar de o Meso-NH permitir a utilização de bases de dados de temperatura da água do mar, tal técnica não foi explorada neste trabalho. Nas simulações apresentadas relativas a eventos de verão a temperatura da água do mar, não foi alterada, tendo-se utilizado o campo fornecido pelas respetivas análises do ECMWF.

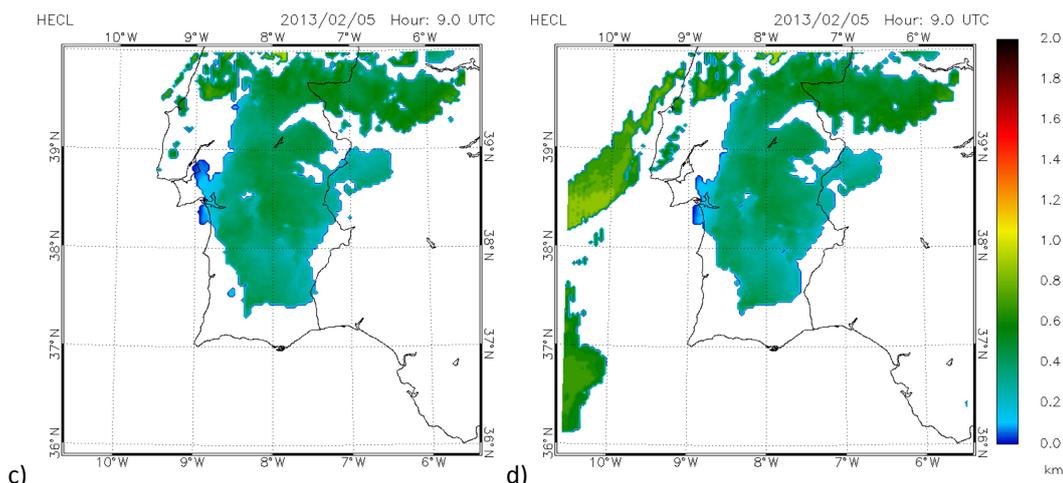
Devido ao nevoeiro ser fortemente influenciado pela superfície foram testadas diferentes grelhas verticais com vista a averiguar qual a melhor configuração para as simulações de nevoeiros na região. Foram usadas configurações com o primeiro nível do modelo a 10, 5 e 2 m de altura para o dia 2013/02/05. Verificou-se que todas elas representaram com algum rigor os processos físicos para a formação e evolução do nevoeiro. Contudo, a configuração com o primeiro nível a 10 metros revelou algum atraso na formação do nevoeiro, nomeadamente na região de Beja (Sul do Alentejo). A simulação com o primeiro nível a 2 m apesar de ter uma boa representação para este evento, mostrou uma sobrestimação na área de ocupação do nevoeiro e nuvens baixas como se pode ver na figura 3.29. Após esta análise, excluiu-se a grelha mais apertada junto à superfície (primeiro nível a 2 m) pois, apesar de computacionalmente mais pesada, não ter melhorado os resultados.



**Figura 3.29** - Altura do topo das nuvens para o evento de 2013/02/05 às 09:00 UTC: a) Natural RGB; b) 1º nível a 10 m; c) 1º nível a 5 m; d) 1º nível a 2 m.

Testou-se também a não aplicação do esquema de convecção pouco profunda (EDKF) disponível no Meso-NH. O mesmo evento, de 2013/02/05, foi simulado sem o esquema EDKF, para as duas grelhas verticais com o primeiro nível aos 10 e 5 m (nas simulações anteriores tinha-se acionado o EDKF mesmo no domínio a 1 km de resolução).





**Figura 3.30** - Altura do topo das nuvens para 2013/02/05 às 09:00 UTC: a) 1º nível a 10 m com EDKF; b) 1º nível a 10 m sem EDKF c) 1º nível a 5 m com EDKF; d) 1º nível a 5 m sem EDKF.

Após a análise criteriosa destas quatro simulações (ver figura 3.30), verificou-se que sem o esquema de parametrização para a convecção pouco profunda (EDKF), aquando da dissipação do nevoeiro não ocorre também a antecipação da dissipação dos estratos consequentes como ocorre nas simulações com EDKF, representando assim, melhor esta fase do nevoeiro bastante importante, nomeadamente para a aeronáutica, pois a previsão de tetos baixos após a dissipação do nevoeiro é um parâmetro operacional essencial. Consta-se ainda que, apesar existir uma pequena subestimação, o modelo representa melhor a formação dos estratocúmulos sobre o mar sem o esquema EDKF.

Assim, após o desenvolvimento desta análise preliminar, para o evento de nevoeiro de 2013/02/05, fixou-se a configuração do modelo a ser utilizada na análise e discussão dos vários eventos de nevoeiro selecionados. Assim, optou-se: pela grelha vertical com o primeiro nível a 5 m, por não recorrer a nenhum esquema de convecção e por alterar a temperatura da água do “lago” de Alqueva de acordo com as temperaturas obtidas por satélite nas simulações de inverno, ativando o modelo FLake.

### 3.4.2 – Validação da Parametrização a utilizar

A principal razão da verificação e validação das simulações numéricas efetuadas é aferir da sua qualidade e encontrar a melhor abordagem a adotar com vista a minimizar os erros nos resultados que se irão obter. Diferentes métodos de diagnóstico podem ser adotados como referido no manual WMO TD No. 1485, o qual descreve as recomendações para a verificação e comparação de modelos numéricos de previsão do tempo operacionais.

A escolha da metodologia de verificação depende não só do fim a que se destina, mas também da natureza dos fenómenos a serem verificados. A correspondência entre simulações e observações torna-se mais importante, quanto maior for a resolução do modelo. A melhor estratégia, obviamente, depende da densidade e qualidade da rede de

observações existente, da resolução do modelo, do tipo de observações considerada, etc...

Em modelos de baixa resolução, como os modelos globais, é frequente calcular a média aritmética de todas as estações meteorológicas contidas dentro de cada malha da grelha do modelo. Esta "super-observação", mais representativa de cada malha é então comparada com o valor do ponto da grelha do modelo, melhorando assim o seu desempenho (WWRP & WGNE, 2008).

No entanto, quando a resolução do modelo é mais fina do que a rede de estações meteorológicas, deixa de ser possível a aplicação da técnica anterior, passando a ser utilizadas técnicas de interpolação ou passando mesmo, a utilizar o valor do ponto mais próximo do modelo para o local de observação (Bougeault, 2003). Esta última foi a técnica adotada nas comparações efetuadas neste trabalho.

Para além da comparação gráfica entre as simulações e as correspondentes observações para uma dada estação, foram calculadas algumas variáveis estatísticas como o erro médio, ME (*mean error*) e o erro absoluto médio, MEA (*mean absolute error*), definidas em seguida.

ME – mede a diferença média entre os valores da simulação e da observação.

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S_i - O_i) \quad (3.21)$$

MAE – mede a magnitude média do erro

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |S_i - O_i| \quad (3.22)$$

Em que  $S_i$  e  $O_i$  são respetivamente os valores simulados e observados no instante  $i$  e  $N$  o número de elementos de cada uma das séries.

Foram comparadas séries de dados horários, simulados e observados, de temperatura e humidade relativa do ar aos 2 m, direção e velocidade do vento aos 10m e de visibilidade horizontal observada no solo e no nível mais baixo do modelo. No caso das observações, foram utilizados os dados das observações horárias fornecidos pelo Centro de Meteorologia da Base Aérea Nº 11 e obtidos através do *Climate Data Online* da NOAA em url: [www.ncdc.noaa.gov/cdo-web/](http://www.ncdc.noaa.gov/cdo-web/), para as restantes estações meteorológicas.

Foram assim, efetuadas comparações com as observações das estações meteorológicas de Beja-Base Aérea, Beja-Cidade, Évora, Portalegre, Sines e Badajoz-Talavera La Real.

Em seguida são apresentados, na figura 3.31, dados dos resultados das diferentes parametrizações efetuadas em comparação com os dados observados à mesma hora na estação meteorológica de Beja-Base Aérea no dia 05 de fevereiro de 2013. Esta comparação destinou-se à seleção da melhor configuração do modelo a adotar para os restantes casos.

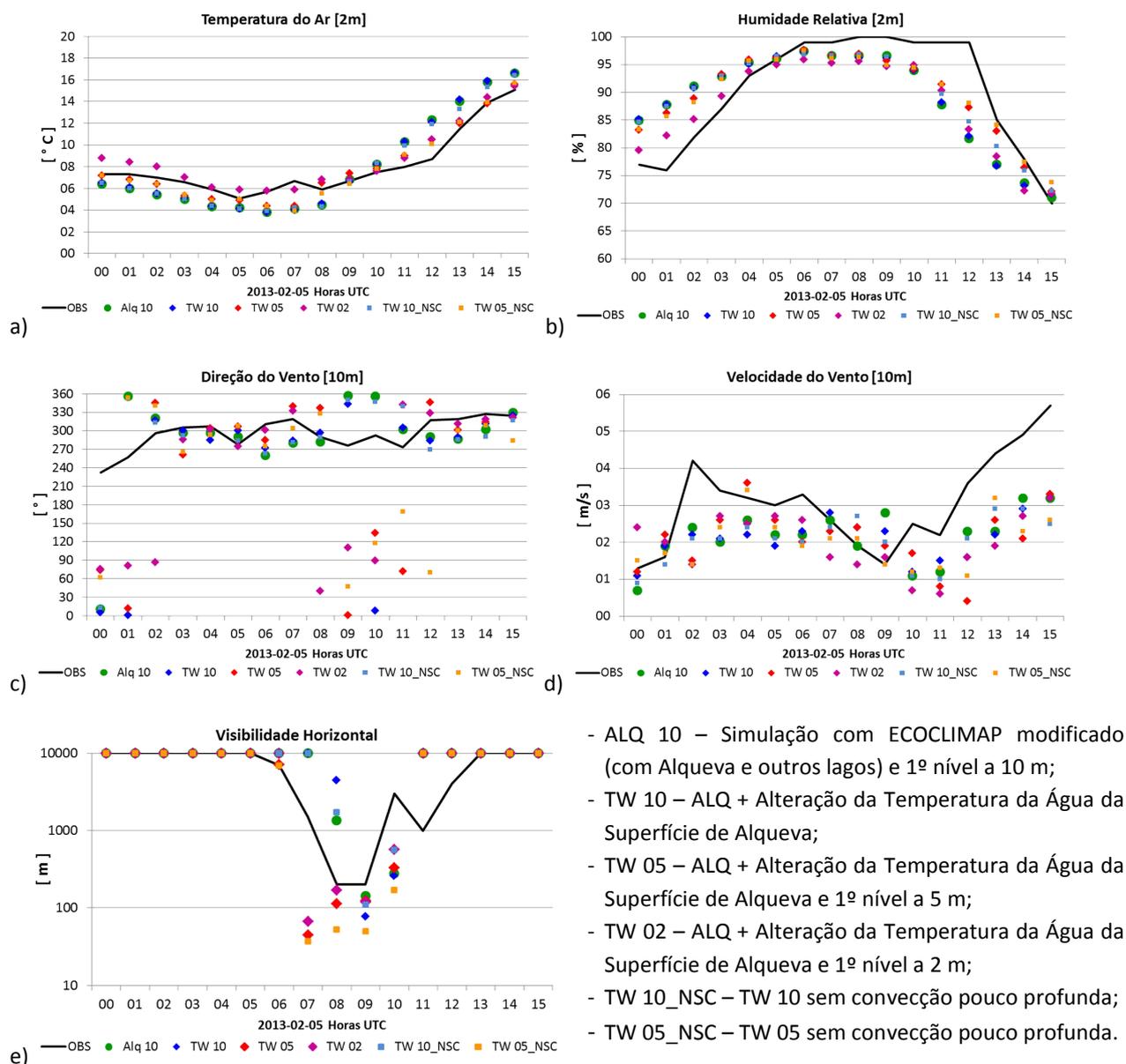
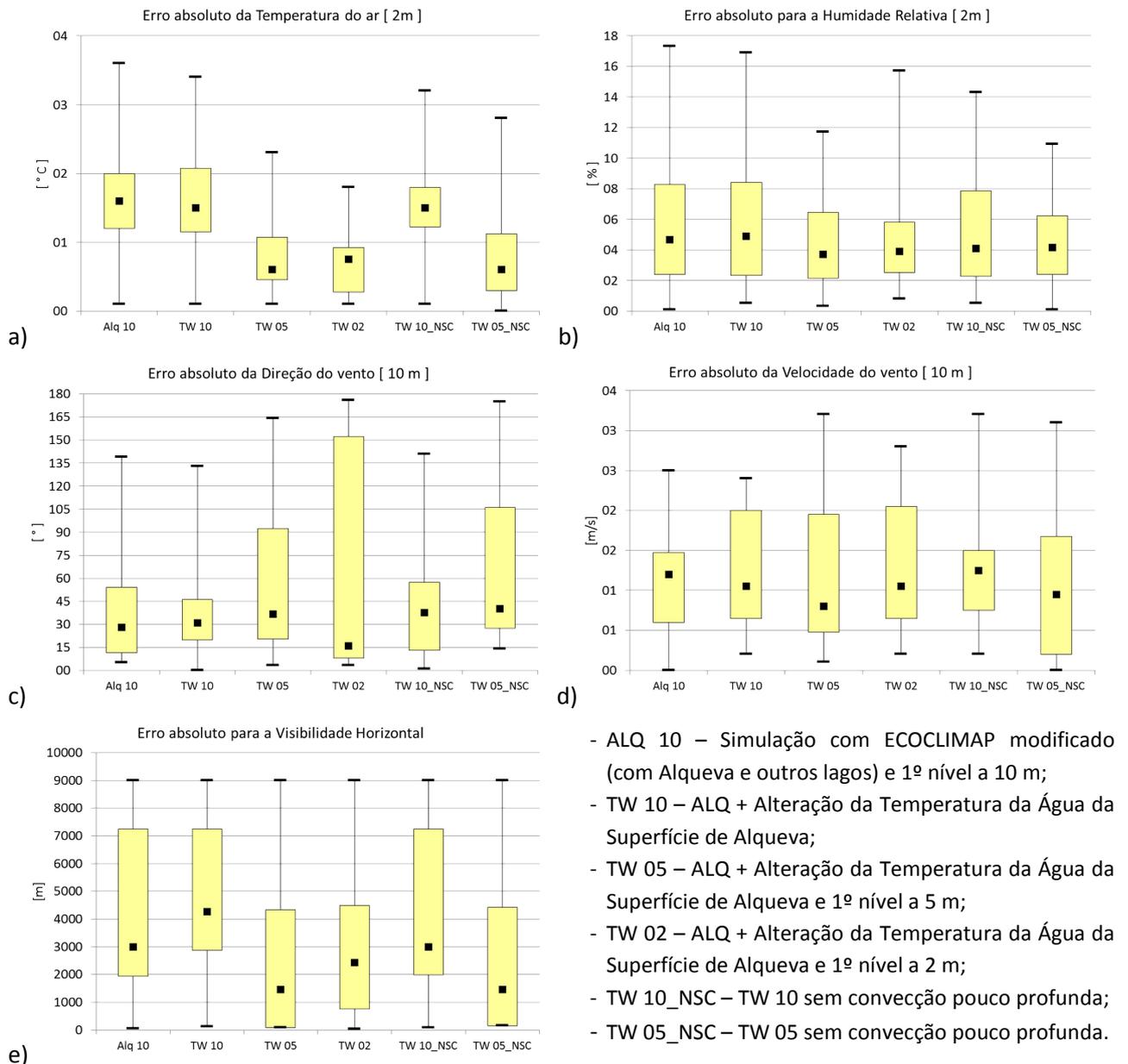


Figura 3.31 - Comparação dos dados de diferentes definições do modelo

Com vista à seleção da melhor configuração do modelo foram efetuados alguns cálculos estatísticos. Porém, estes revelaram-se pouco esclarecedores quanto às características do modelo que melhor descrevem os eventos de nevoeiro na região. São apresentados no anexo 3.I os quadros resumo referentes ao erro médio e erro médio absoluto para as diferentes simulações do dia 05 de fevereiro de 2013 em comparação com os dados observados nas estações de Beja-Base Aérea, Évora CC e Badajoz-Talavera La Real.

Na figura 3.32 são apresentados gráficos referentes ao erro absoluto das várias simulações para o ponto mais próximo da estação meteorológica de Beja-Base Aérea no dia 05 de fevereiro de 2013. Onde estão representados o valor mais baixo, o valor mais alto, o valor mediano e os 1º e 3º Quartis.



**Figura 3.32** - Gráficos de erro absoluto de várias variáveis, para as várias simulações.

Da análise destes gráficos, apesar de inconclusiva, pode-se inferir que as simulações com o primeiro nível a 5 m representam melhor o evento de nevoeiro em estudo, nomeadamente no que se refere à visibilidade horizontal. Verifica-se que com o primeiro nível a 2 m também se obteve uma boa representação, contudo, devido ao dispêndio computacional exigido e por esta simulação não ter dado uma resposta substancialmente positiva em relação aos outros, foi decidido optar pelas simulações com 5 m no primeiro nível do modelo. Como já fora referido na secção 3.4.1, optou-se ainda, por não ativar nenhum esquema de convecção, pois o modelo resolve melhor a convecção pouco profunda após à dissipação do nevoeiro, explicitamente.

Página intencionalmente em branco

## CAPÍTULO 4 – ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo será apresentado em primeiro lugar um estudo sobre os nevoeiros na região Alentejo, tendo como base as observações meteorológicas das estações referidas no capítulo anterior, apresentando-se uma análise mais detalhada dos dados referentes à estação meteorológica da Base Aérea de Beja. Seguidamente, como foco primordial deste trabalho, serão apresentados os casos de estudo selecionados, bem como a respetiva discussão dos resultados obtidos com as simulações numéricas efetuadas com o modelo de mesoscala Meso-NH. Será também exposta uma análise muito sumária à qualidade das previsões meteorológicas do ECMWF para os respetivos eventos.

Serão assim apresentados para cada um dos Casos de Estudo, dados à escala sinóptica de pressão atmosférica e escoamento à superfície e em altitude (500 mb) com base nas análises operacionais do ECMWF para as 00 UTC do dia de cada evento.

Na análise da nebulosidade serão apresentados dados do satélite METEOSAT-10 e da simulação da Altura do Topo das Nuvens (HECL) pelo Meso-NH. Na análise da evolução do nevoeiro para cada evento serão apresentados dados simulados das variáveis de fração de nuvens (CLDFR), do escoamento (UM e VM), da razão de mistura para a água líquida (MRC) e da visibilidade horizontal (VIS\_HOR) do Meso-NH ao nível mais baixo do modelo (~ 5m), bem como, do número total de horas com nevoeiro para os dois domínios, obtido somando os dados de fração de nuvem dos ficheiros horários do Meso-NH.

Serão também apresentados perfis verticais de temperatura do ar (TEMP) e do Ponto de Orvalho (TD) para o ponto correspondente à Base Aérea de Beja, entre a superfície e os 1000 m de Altitude, com vista a compreender melhor a evolução dos eventos de nevoeiro nesse local. Haverá ainda a exposição de gráficos de evolução da temperatura do ar e da razão de mistura da água líquida da superfície aos 1000 m de altura, durante o período considerado, para os pontos da Base Aérea de Beja e sobre a Albufeira do Alqueva.

Serão ainda apresentados gráficos com a comparação entre os dados simulados e dados observados na Base Aérea de Beja de direção e velocidade do vento, temperatura do ar e humidade relativa e ainda de visibilidade horizontal.

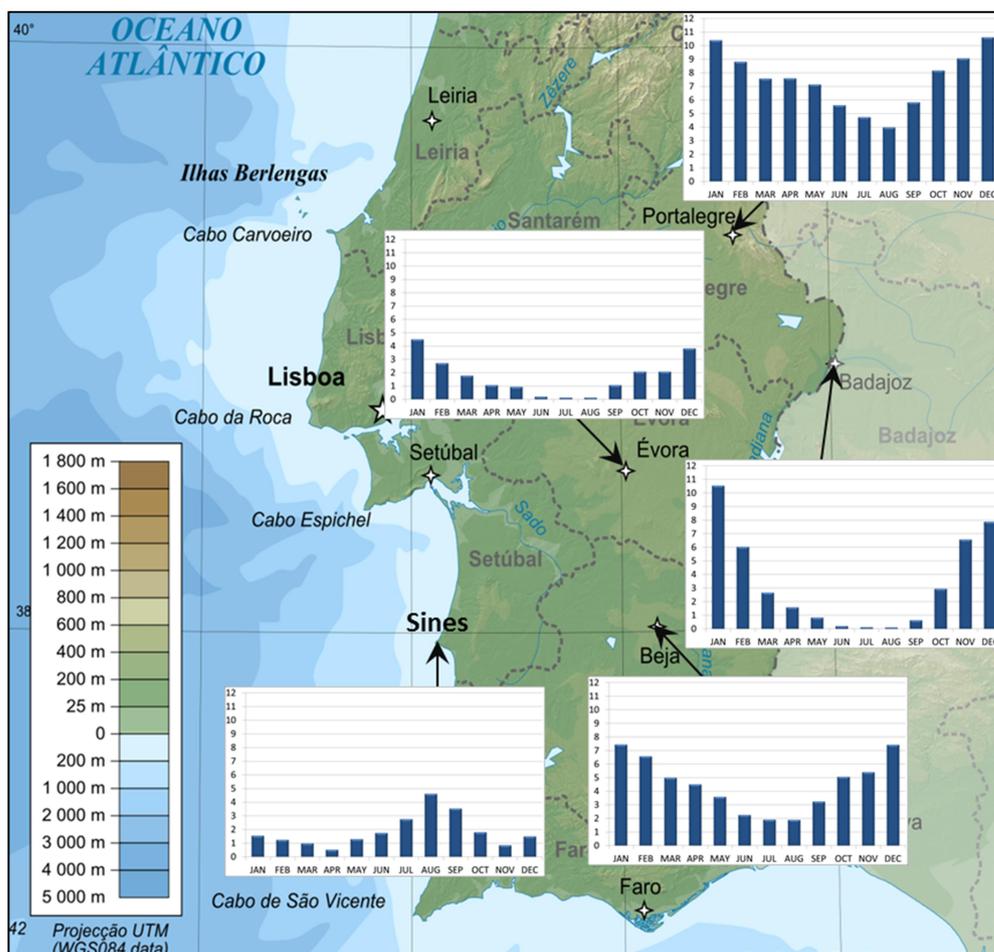
Para análise da eventual influência da albufeira do Alqueva nestes eventos serão apresentados resultados de diferenças entre simulações realizadas com e sem Alqueva, referentes à fração de nuvens, ao escoamento e às horas com nevoeiro.

Na análise sumária dos resultados das Previsões do ECMWF com cerca de 24 horas de antecedência serão apresentados dados simulados do número total de horas com nevoeiro para os dois domínios e a sua diferença em relação às análises anteriores para os mesmos casos. Serão ainda apresentados gráficos com a comparação entre os dados simulados com as Previsões do ECMWF e dados observados na Base Aérea de Beja.

## 4.1 – Os Nevoeiros na Região Alentejo

Na Região do Alentejo verifica-se a ocorrência de nevoeiros essencialmente de radiação no inverno e de advecção nas restantes estações do Ano. Contudo, também ocorrem com alguma frequência nevoeiros orográficos, nomeadamente devido ao bloqueio das serras existentes na região. Há a referir que o elevado número de dias com nevoeiro registado em Portalegre deve-se ao facto da estação meteorológica se encontrar a meia encosta da vertente Oeste da Serra de São Mamede (ver figura 4.1).

No inverno, os nevoeiros ocorrem principalmente, em situações de bloqueio anticiclónico na Península Ibérica que favorecem o acentuado arrefecimento noturno em especial nas regiões do interior, formando-se nevoeiro particularmente nos vales dos rios e lagos. Nas restantes estações do ano ocorrem principalmente, nevoeiros de advecção nas regiões do litoral associados a circulação com grande influência oceânica, alimentada pelo anticiclone dos Açores, quando localizado a Sul/Sudeste desse arquipélago e estendendo-se em crista sobre a Península Ibérica. Há ainda a referir que a dinâmica associada à circulação anticiclónica estável origina também a ocorrência de nevoeiros orográficos nas vertentes das serras, bloqueando por vezes o transporte e evolução do nevoeiro para o interior da região, apesar das suas, relativamente pequenas elevações.

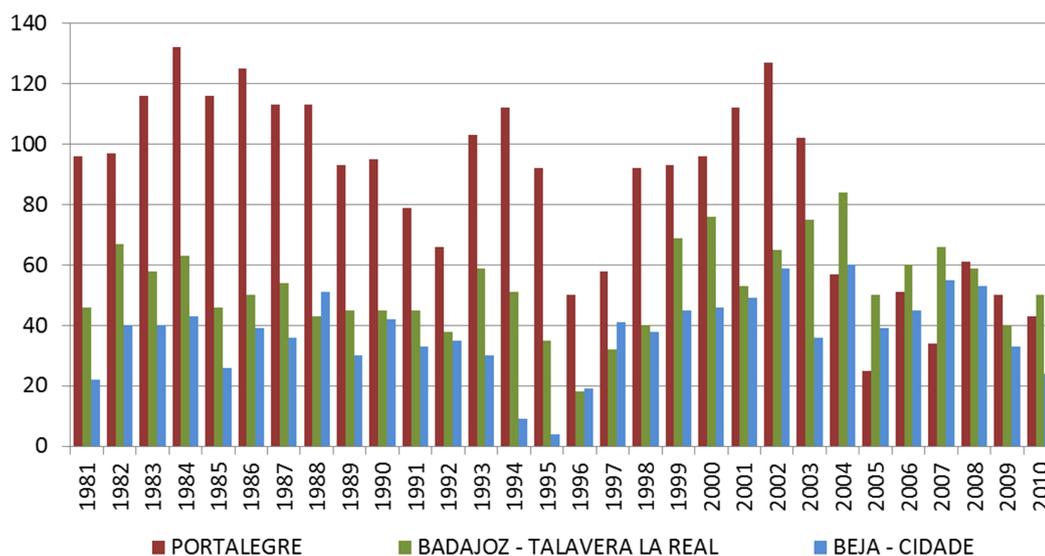


**Figura 4.1** - Número médio mensal de dias com nevoeiro em várias estações meteorológicas da região (1981-2010). Évora - CC (1996-2010) e Sines (1990-2010)

Nevoeiros frontais também ocorrem por vezes na região, em especial no inverno, em situações de precipitação prolongada associada a frentes quentes de deslocação lenta, com vento fraco de Sudoeste/Oeste e por vezes acompanhados da ocorrência de chuvisco. Este tipo de nevoeiro ocorre fundamentalmente durante a noite. Por vezes, ocorrem também nevoeiros em situações de setor quente em sistemas frontais quase-estacionários no período noturno nas regiões mais elevadas, devido à descida durante a noite da base das nuvens muito baixas nesse tipo de situação. Ocorrem ainda por vezes, eventos de nevoeiro em ar pós-frontal frio no inverno, durante a madrugada e manhã, devidos ao acentuado arrefecimento noturno e, se ocorreu precipitação frontal em quantidade suficiente e em especial se o vento for de fraca intensidade, como consequência da diminuição do gradiente de pressão à superfície.

Em seguida são apresentados alguns gráficos, referentes a dados de várias estações meteorológicas da região.

Na figura 4.2 são apresentados dados do número de dias com nevoeiro de três estações, das quais se conseguiram obter séries de dados de 30 anos consecutivos. As estações são Portalegre, Beja-Cidade e ainda a estação meteorológica de Badajoz – Talavera La Real.



**Figura 4.2** - Número de dias com nevoeiro entre 1981 e 2010 em Portalegre, Badajoz e Beja

Pode-se constatar que Portalegre teve um número bastante superior de ocorrências de nevoeiro, contudo no final do período, a partir de 2004, verifica-se uma maior semelhança com as outras duas estações meteorológicas, não se encontrando uma justificação sustentada para esta situação.

NÚMERO DE DIAS COM NEVOEIRO

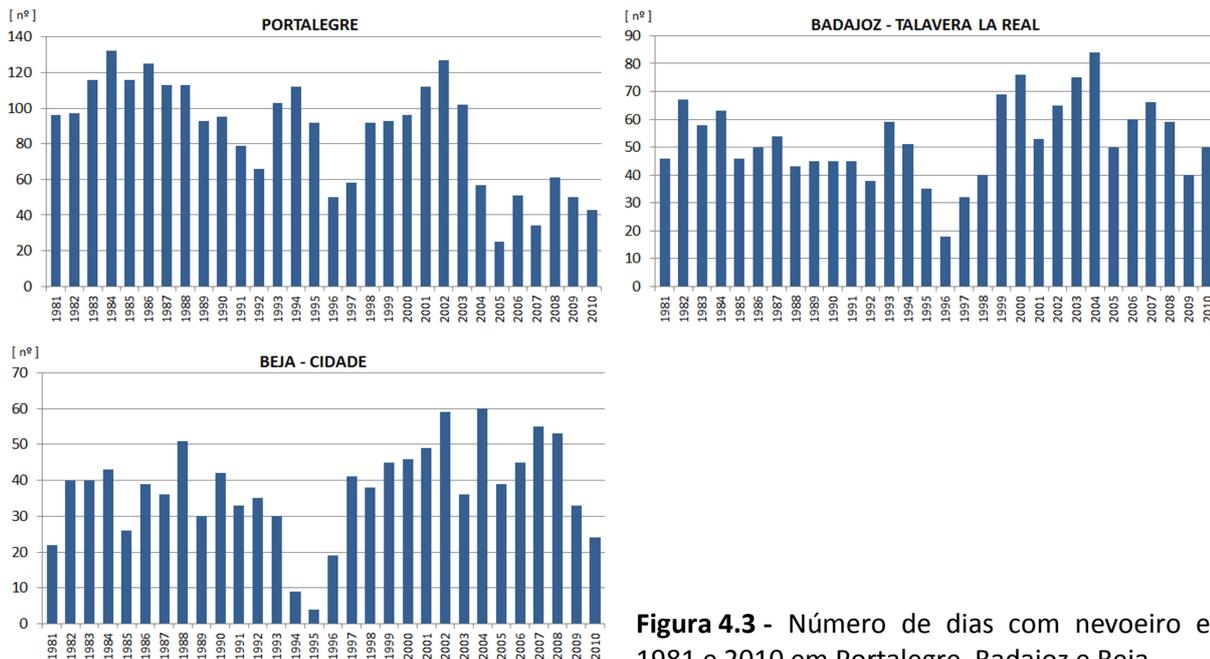


Figura 4.3 - Número de dias com nevoeiro entre 1981 e 2010 em Portalegre, Badajoz e Beja

Apesar de se verificar na figura 4.3 que em Beja e em Badajoz a tendência da ocorrência de dias de nevoeiro tenha aumentado, não se pode afirmar que esta tendência se deva à construção da Barragem de Alqueva (fecho da barragem: 2002).

O estudo aqui apresentado tem como um dos seus objetivos a análise mais pormenorizada de eventos de nevoeiro no aeródromo da Base Aérea de Beja. São em seguida apresentados alguns gráficos, tendo como base a informação da ocorrência de nevoeiro da estação meteorológica que serve esse aeródromo.

Na figura 4.4 é apresentado o número anual de dias com nevoeiro no período entre 1994 e 2012 na estação meteorológica de Beja-Base Aérea e ainda, a frequência de ocorrência de nevoeiros segundo o octante da direção do vento, com base nas observações sinópticas tri-horárias entre 2000 e 2012.

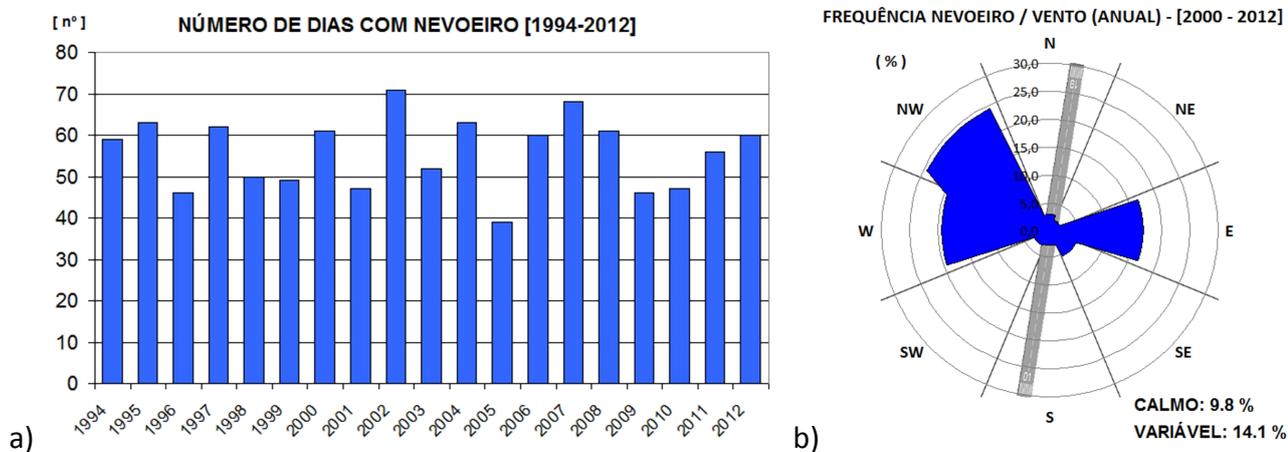
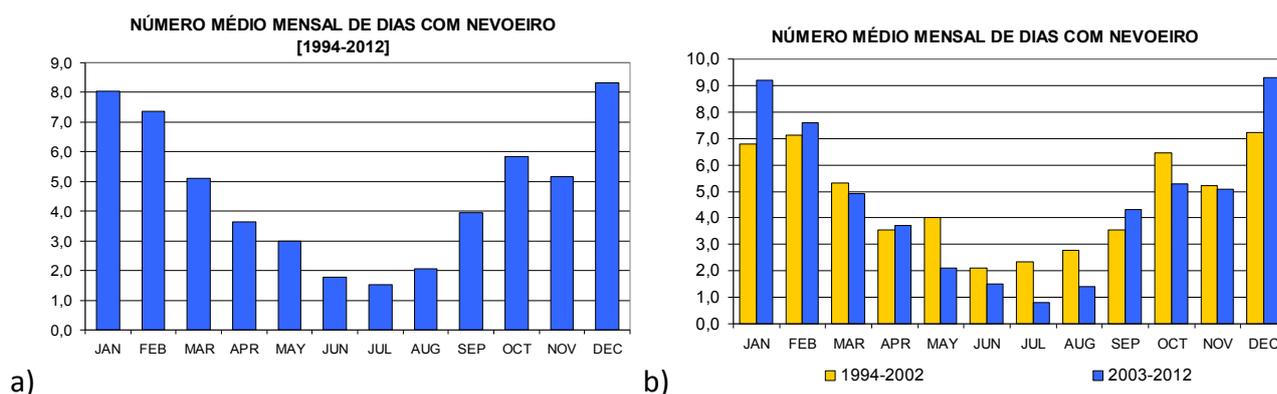


Figura 4.4 - a) Número de dias com nevoeiro entre 1994 e 2012 em Beja – Base Aérea; b) Frequência de ocorrência de eventos de nevoeiro segundo a direção do vento.

Na figura 4.4 a) podemos observar que a ocorrência anual do número de dias com nevoeiro naquele aeródromo tem sido aparentemente regular ao longo dos últimos anos. Com base no gráfico da figura 4.4 b) verifica-se que o nevoeiro na Base Aérea de Beja ocorre sobretudo com vento de Oeste e Noroeste (cerca de 45 %), ou seja com grande influência oceânica / Bacia hidrográfica do Rio Sado / Barragem de Odivelas. A direção Leste do vento (mais de 15 %) tem também alguma relevância, correspondendo a uma influência direta da Bacia Hidrográfica do Guadiana, sendo de referir que estas situações de nevoeiro estão associadas a dias frios de inverno, sendo estes de relativa curta duração, como se pode ver no anexo 4.1.A (Frequência Mensal de Nevoeiro Segundo a Direção do Vento).

Nos gráficos da figura 4.5 podemos observar a distribuição do número médio mensal de dias com nevoeiro ao longo do ano. No primeiro estão representadas as médias referentes ao período compreendido entre 1994 e 2012. No segundo faz-se a comparação entre os períodos de 1994 a 2002 e de 2003 a 2012. Esta divisão deve-se ao facto de, procurarmos verificar se, com o fecho da Barragem do Alqueva em 2002, existe algum impacto na ocorrência de nevoeiros na região.

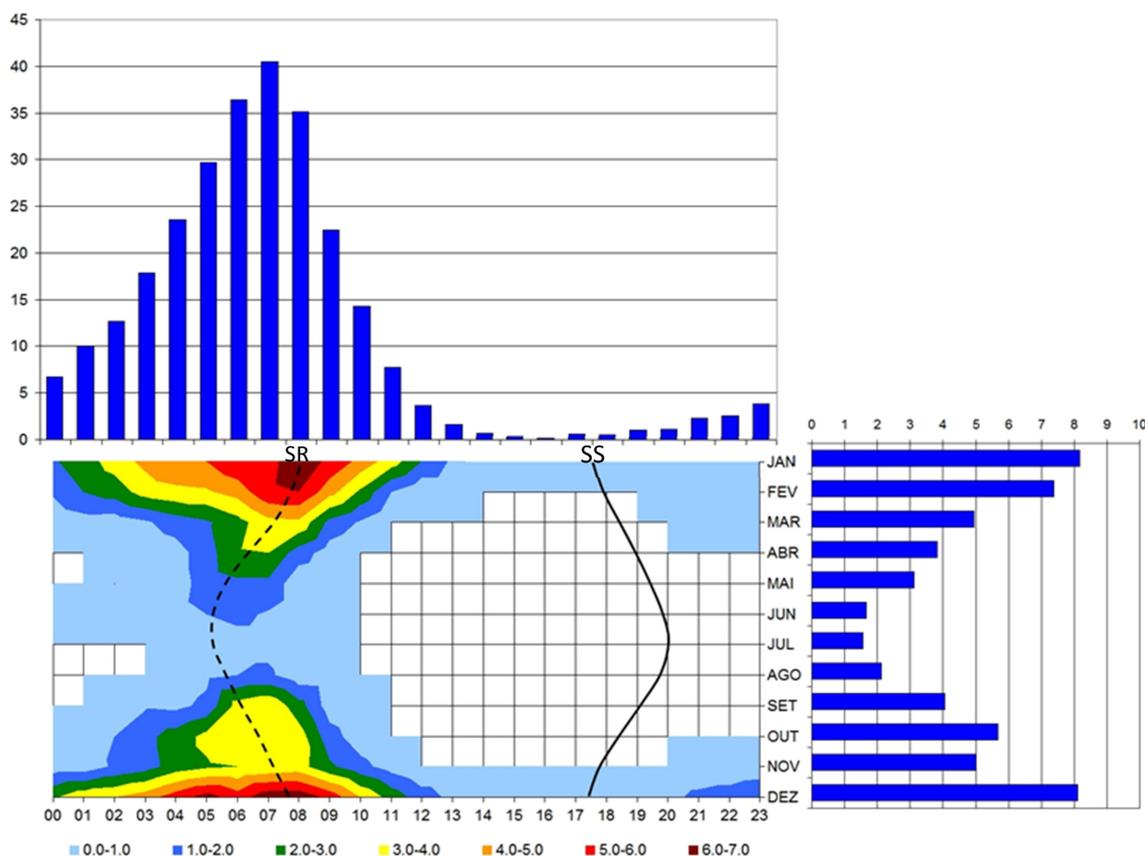


**Figura 4.5 -** Número médio mensal de dias com nevoeiro em Beja – Base Aérea: a) de 1994 e 2012; b) 1994 - 2002 e 2003 – 2012

No gráfico a) da figura 4.5 pode-se observar que os nevoeiros neste aeródromo ocorrem com maior frequência nos meses, de inverno, nomeadamente dezembro, janeiro e fevereiro, com mais de seis dias em média. Verifica-se na comparação apresentada no gráfico b) da figura 4.5, um aumento considerável do número médio de dias com nevoeiro nos meses de inverno (dezembro e janeiro - cerca de 4 dias no total), e uma diminuição apreciável nos meses de maio, julho e agosto (cerca de 4 dias no total). Há a referir que poderá haver um impacto efetivo do Empreendimento do Alqueva no aumento do número médio de dias de nevoeiro no inverno, nomeadamente devido às infraestruturas criadas na região para o transporte e armazenamento de água que vieram aumentar superfícies aquáticas e por consequência de evaporação na região. Acerca da diminuição do número médio dos dias de nevoeiro nos meses referidos, esta não pode ser atribuída nenhuma influência regional específica, já que os nevoeiros que ocorrem nos meses de março a outubro estão principalmente associados a regimes de tempo de escala sinóptica, ao

contrário dos eventos de inverno que por vezes estão associados sobretudo a influências locais.

O gráfico seguinte (figura 4.6) apresenta a distribuição do número médio de dias de nevoeiro por hora e meses ao longo de todo o ano para o período de 2006 a 2012, tendo como gráficos acessórios, em cima a distribuição do número médio horário de dias com nevoeiro, e do lado direito o número médio mensal de dias com nevoeiro.

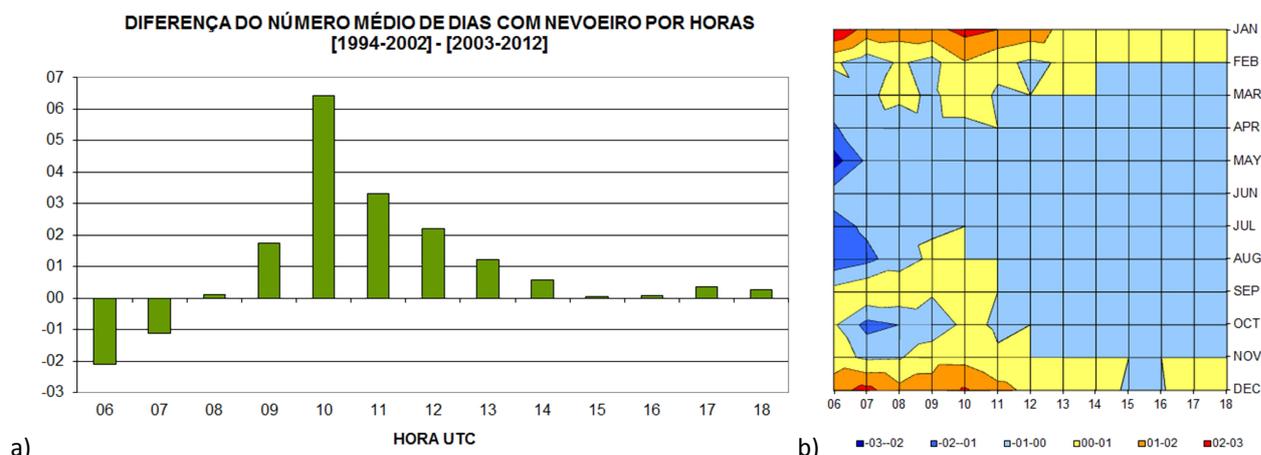


**Figura 4.6** - Número médio de dias com nevoeiro por hora em Beja – Base Aérea (2006 - 2012).  
\*SR - nascer-do-sol; SS – pôr-do-sol

Da interpretação deste gráfico pode-se concluir que os nevoeiros, para além de ocorrerem com maior frequência nos meses de inverno (dezembro, janeiro e fevereiro) na Base Aérea de Beja, ocorrem sobretudo entre as 04 e as 09 UTC com mais de 20 dias com nevoeiro nestas horas, sendo o seu máximo às 07 UTC com mais de 40 dias de nevoeiro. Há a referir ainda, que a concentração do número de dias com nevoeiro ao longo do ano se situa sobretudo junto à linha indicadora da hora mensal média do nascer-do-sol, a tracejado (linha a cheio: pôr-do-sol). Pode ser ainda referido que, os nevoeiros que ocorrem nos meses de inverno são de maior duração comparativamente com os restantes meses do ano.

Por apenas estarem disponíveis no arquivo da estação meteorológica da Base Aérea de Beja dados contínuos a partir de 2006, já que no período anterior apenas eram efetuadas observações do nascer ao pôr-do-sol, são em seguida apresentados dois gráficos na figura 4.7 que mostram a diferença horária da ocorrência de nevoeiros entre as 06 e as 18 UTC

para os períodos compreendidos entre 1994 e 2002, e 2003 e 2012. Pretende-se desta forma averiguar novamente, em termos climatológicos qual o impacto que o Empreendimento de Alqueva pode ter na ocorrência de nevoeiros nesta estação meteorológica e consequentemente na região.



**Figura 4.7** - Diferença do número médio de dias com nevoeiro por hora em Beja entre as 06 e as 18 UTC entre (1994 – 2002) e (2003 – 2012): a) anual; b) horas por mês.

Verifica-se assim, que o gráfico da figura 4.7 a) mostra um aumento significativo na ocorrência de nevoeiros após a hora do nascer-do-sol, com o seu máximo a acontecer às 10 horas UTC. Pelo gráfico da figura 4.7 b) identifica-se que este aumento ocorre sobretudo nos meses de dezembro e janeiro, verificando-se que este aumento se estende de setembro a março, o que indica que a construção do Empreendimento de Alqueva poderá ter um impacto significativo na duração dos eventos de nevoeiro, impedindo a sua dissipação, sobretudo nos meses de inverno. Verifica-se também uma ligeira diminuição na ocorrência de nevoeiros às 06 e 07 UTC que se fixa sobretudo nos meses de maio, julho e agosto, mas tal deve-se, como referido anteriormente, à menor ocorrência de nevoeiros nesses meses no período de 2003 a 2012 e sobretudo à natureza dos nevoeiros.

## 4.2 – Casos de Estudo

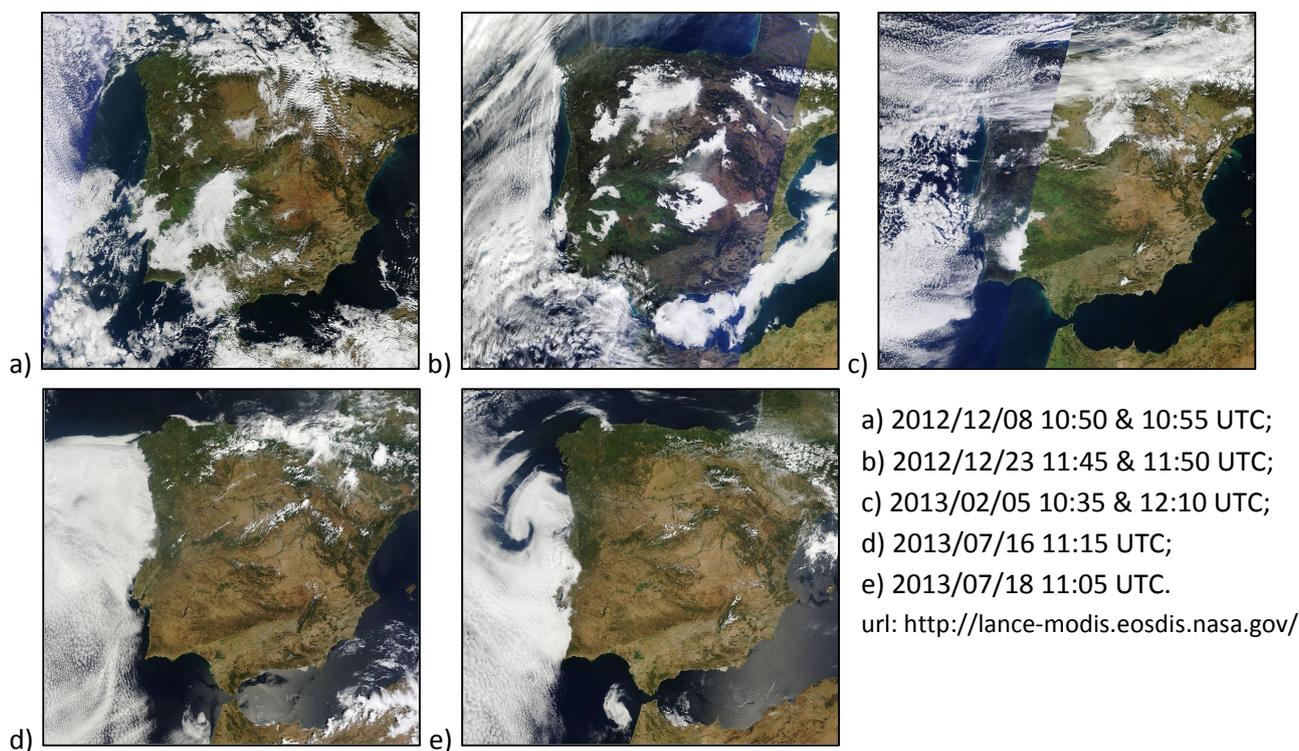
O período considerado para a escolha dos casos de estudo foram os meses entre Dezembro de 2012 e Julho 2013, devido ao facto de este coincidir com fase anterior à elaboração deste trabalho, tendo a análise sido efetuada conforme os episódios iam ocorrendo já com o objetivo da realização das simulações numéricas aqui apresentadas.

Os dados registados na Base Aérea de Beja neste período confirmaram a existência de 47 eventos de nevoeiro. De entre estes foram selecionados como casos de estudo os eventos dos dias 08 e 28 de dezembro de 2012, 05 de fevereiro e 16 e 18 de Julho de 2013 por terem mostrado uma persistência considerável, uma extensão horizontal apreciável e tendo a sua observação por satélite sido facilitada pela ausência de nebulosidade nos níveis superiores da atmosfera (ver figura 4.8). Os primeiros três casos, de inverno, configuram-se

como nevoeiros essencialmente de radiação e os dois últimos, de verão, caracterizam-se melhor como nevoeiros de advecção e orográficos. Estes casos foram escolhidos por demonstrarem diferentes padrões meteorológicos à escala regional e por terem tido períodos de ocorrência relativamente prolongados na Base Aérea de Beja, sobre a qual se fizeram comparações mais detalhadas. Outro motivo para a escolha destes casos é o facto de todos terem uma extensão horizontal relevante e por isso possível de ser bem detetada por satélite e assim permitirem uma análise comparativa com produtos meteorológicos obtidos por essa via.

**Tabela 4.1** - Períodos de simulação com base nas Análises e Previsões do ECMWF para os Casos de Estudo selecionados

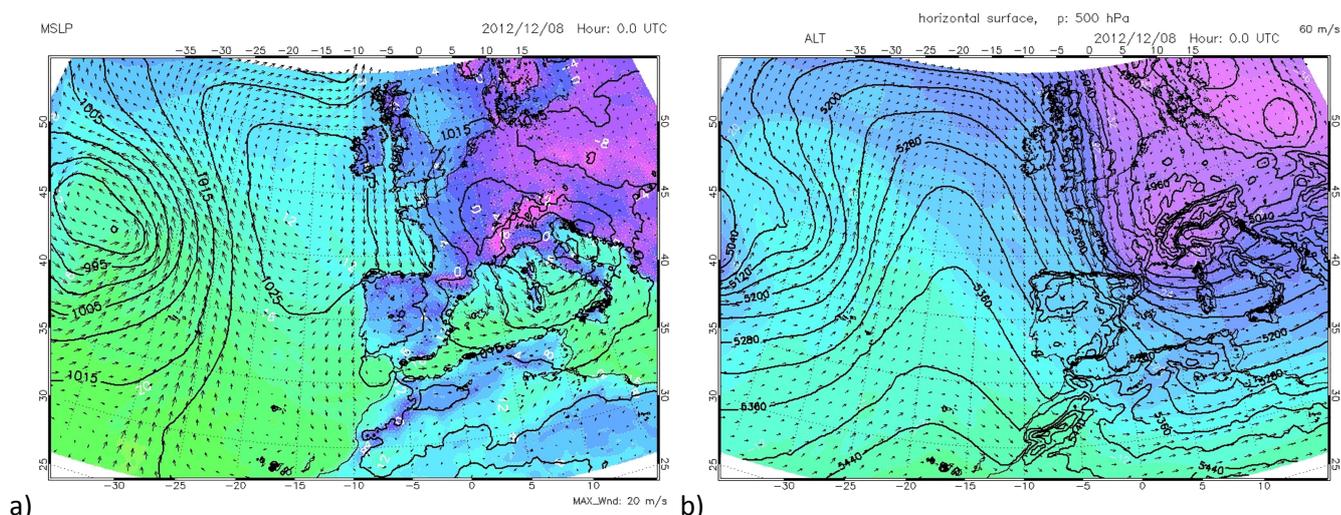
Data	Simulações		Intervalo de Estudo
	Análises	Previsões	
2012/12/08	07 18:00 – 08 18:00 UTC	07 00:00 – 08 18:00 UTC	08 21:00 – 08 15:00 UTC
2012/12/23	22 18:00 – 23 18:00 UTC	22 00:00 – 23 18:00 UTC	22 21:00 – 23 15:00 UTC
2013/02/05	04 12:00 – 05 18:00 UTC	04 00:00 – 05 18:00 UTC	05 00:00 – 05 15:00 UTC
2013/07/16	15 18:00 – 16 12:00 UTC	15 00:00 – 16 12:00 UTC	15 21:00 – 16 12:00 UTC
2013/07/18	17 18:00 – 18 12:00 UTC	17 00:00 – 18 12:00 UTC	18 21:00 – 18 12:00 UTC



**Figura 4.8** - Imagens da composição *True Color* RGB – radiómetro MODIS.

## 4.2.1 – Caso I - 2012/12/08

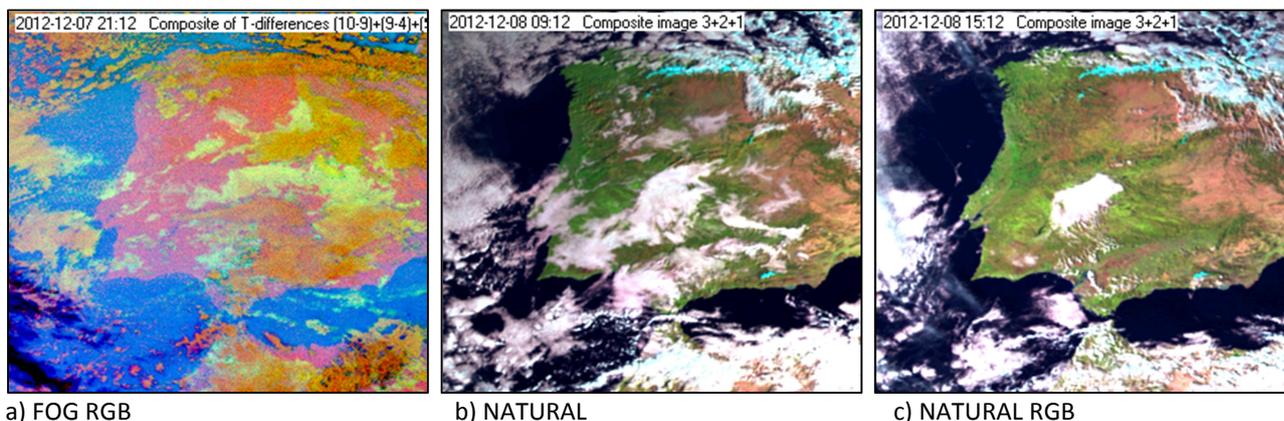
A situação sinóptica às 00:00 UTC do dia 2012/12/08 é caracterizada pela presença de um Anticiclone à superfície localizado a Noroeste da Península Ibérica que influencia dessa forma a existência de um fraco gradientes de pressão à superfície em toda a região de Portugal Continental e predominando um fluxo fraco de Nordeste (ver figura 4.9 a)). Em Altitude verifica-se a existência de uma crista anticiclónica a W da Península Ibérica (ver figura 4.9 b)). Há ainda a referir que na noite anterior ao evento (06 e 07 de dezembro de 2012) ocorreu a passagem de uma superfície frontal fria que contribuiu com cerca de 13 mm de precipitação.



**Figura 4.9** - Situação sinóptica às 00:00UTC do dia 2012/12/08. a) Superfície (MSLP & T2m); b) Altitude (H500 & T500).

## Nebulosidade

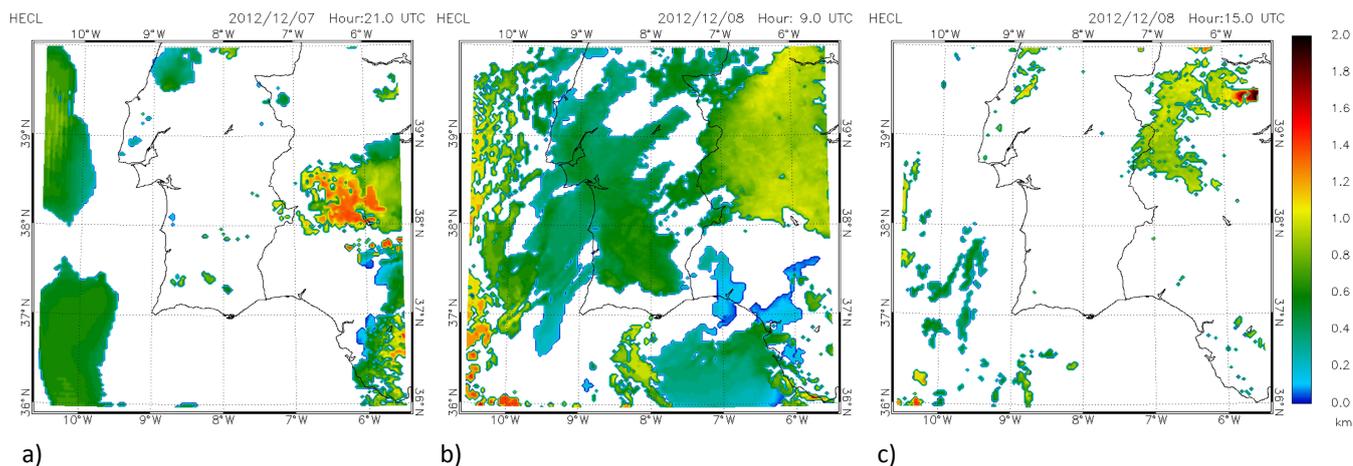
Recorrendo às observações de satélite, verifica-se que às 21:00 UTC já existiam nuvens baixas e ou nevoeiro em alguns locais do Alentejo. Situação que se alastrou a praticamente toda a região com o avançar do tempo. Apesar de o nevoeiro e as nuvens baixas se terem dissipado completamente ao início da tarde no território de Portugal, verifica-se a sua persistência na Bacia do Guadiana no interior de Espanha (ver figura 4.10).



**Figura 4.10** - Sequência de Imagens de Satélite: 21:12, 09:12 e 15:12 UTC (ver todas no ANEXO 4.2.A)

Da simulação da altura do topo das nuvens (ver figura 4.11) verifica-se o aparecimento de nebulosidade baixa em algumas zonas, especialmente no sul do Alentejo logo às 21 UTC, alastrando a sua ocupação a praticamente toda a região com o avançar da madrugada. Após o nascer-do-sol e com o aumento da radiação solar esta nebulosidade vai dissipando, estando toda a região do Alentejo praticamente sem nuvens às 15:00 UTC (ver figura 4.11 c)).

Desta análise pode-se estabelecer uma relação de semelhança entre a simulação da nebulosidade para este caso e a sua observação por satélite, verificando-se uma muito boa representação da sua ocupação ao longo de toda a simulação (ver anexos 4.8.A e 4.8.B).

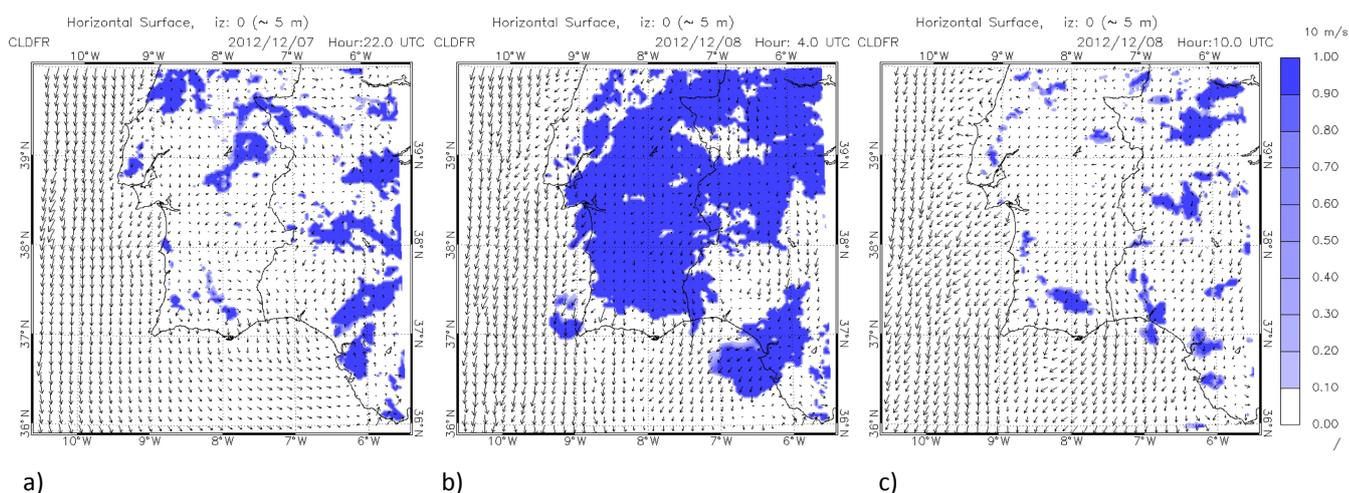


**Figura 4.11** - Simulação da Altura do Topo das Nuvens às 21:00, 09:00 e 15:00 UTC (todas no ANEXO 4.2.B)

## Nevoeiro

Neste caso verifica-se que muito cedo surgem zonas com nevoeiro, nomeadamente, no Alto Alentejo junto à Serra de São Mamede e no Baixo Alentejo junto à serra do Caldeirão (ver figura 4.12 a)). Com o avançar da madrugada verifica-se que o nevoeiro ocupa praticamente toda a região do Alentejo à exceção dos pontos mais elevados das Serras de São Mamede, Ossa, Monfurado e Portel (ver figura 4.12 b)). Com o aumento da radiação solar após o nascer-do-sol o nevoeiro começa a dissipar, persistindo ainda por volta das 10:00 UTC apenas junto à Serra de Grândola e do Caldeirão (ver figura 4.12 c). Às 12:00 UTC já não existia qualquer nevoeiro na região (ver anexo 4.8.C).

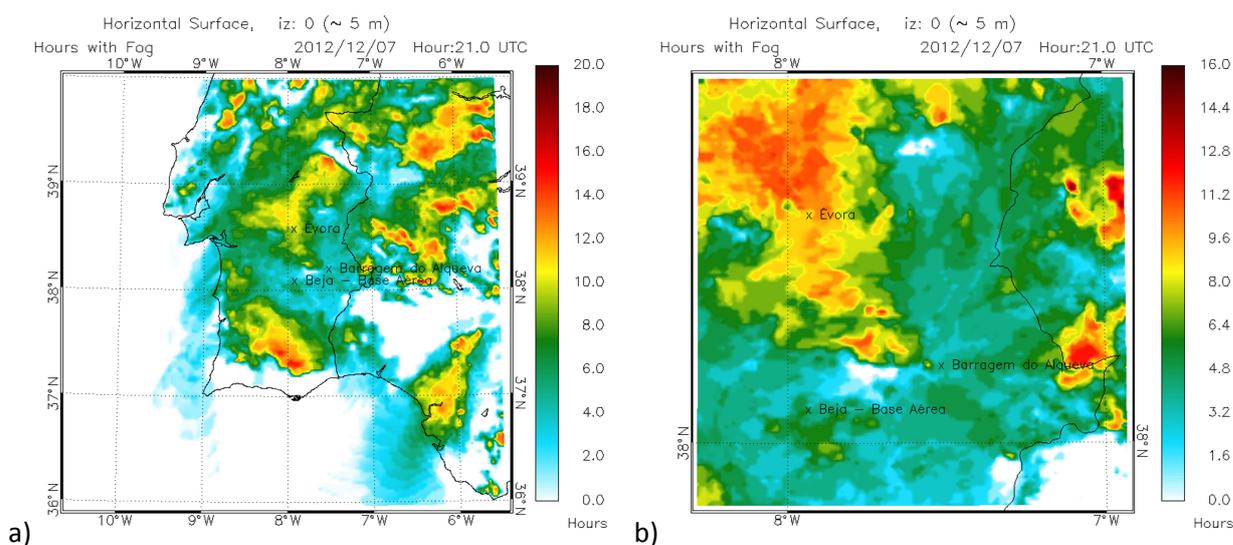
Na figura 4.12 é também apresentado o escoamento horizontal no nível mais baixo do modelo, onde se verifica que o escoamento de Norte - Nordeste regula a forma como o nevoeiro adquire a sua forma, ficando este sobretudo instalado nas vertentes barlavento das elevações da região. Isto é sobretudo notório na análise da figura 4.13, que representa o número de horas de nevoeiro nos dois Domínios da simulação, onde se verifica a existência de um padrão consistente com a observação anterior, nomeadamente, junto à Serra do Caldeirão.



a) b) c)  
**Figura 4.12** - Simulação da Fração de Nuvens (Nevoeiro – escala de azuis) e Escoamento (vetores) a 5 m de altura às 22:00, 04:00 e 10:00 UTC no Domínio D1 (todas no ANEXO 4.2.C)

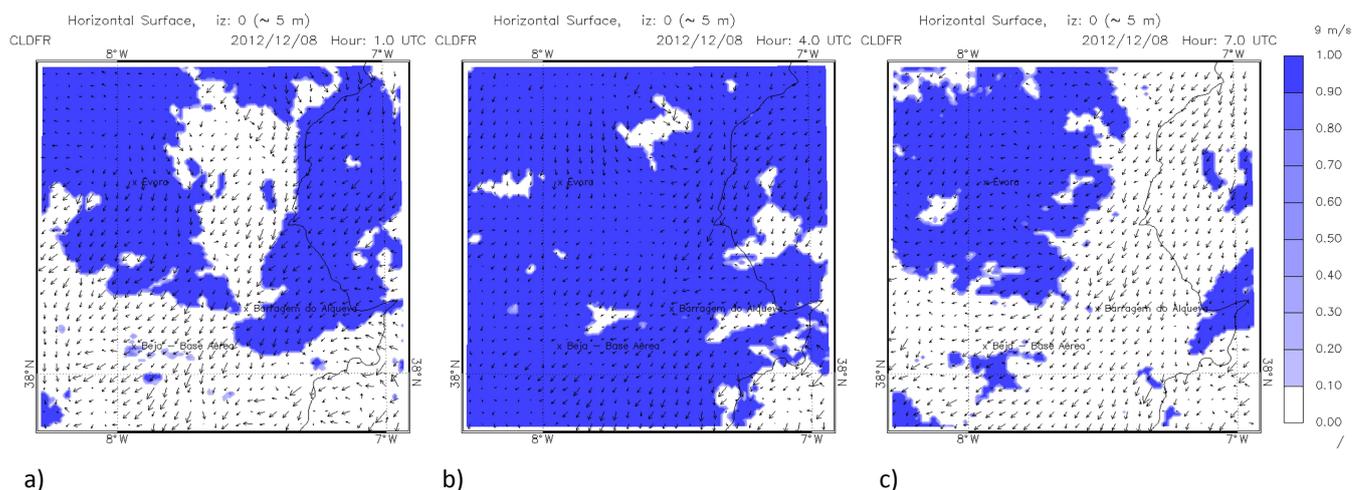
Na figura 4.13 verifica-se no Domínio D1 que o modelo indica que junto à Serra do Caldeirão houve zonas onde ocorreram mais de 15 horas de nevoeiro, sendo de realçar também a zona entre Portalegre e Évora onde existe uma faixa bem definida com mais de 10 horas de nevoeiro. No Domínio D2 há a realçar a zona a Norte da Serra do Mendro com várias zonas com mais de 10 horas de Nevoeiro. Na Base Aérea de Beja ocorreram mais de 5 horas com nevoeiro de acordo com a simulação.

É de salientar o padrão com menos horas com nevoeiro no vale do Rio Guadiana, nomeadamente sobre a albufeira do Alqueva, onde se verifica a existência de várias zonas com menos de 3 horas de nevoeiro. Isto pode ser devido sobretudo ao escoamento que faz com que o vapor de água sobre o rio seja transportado para outras zonas, bem como ao facto da temperatura da água, nesta época ser relativamente alta comparando-a com a do ar, fazendo com que, apesar da adição de vapor de água, a temperatura não seja suficientemente baixa para o condensar, indo condensar em zonas mais afastadas da albufeira.



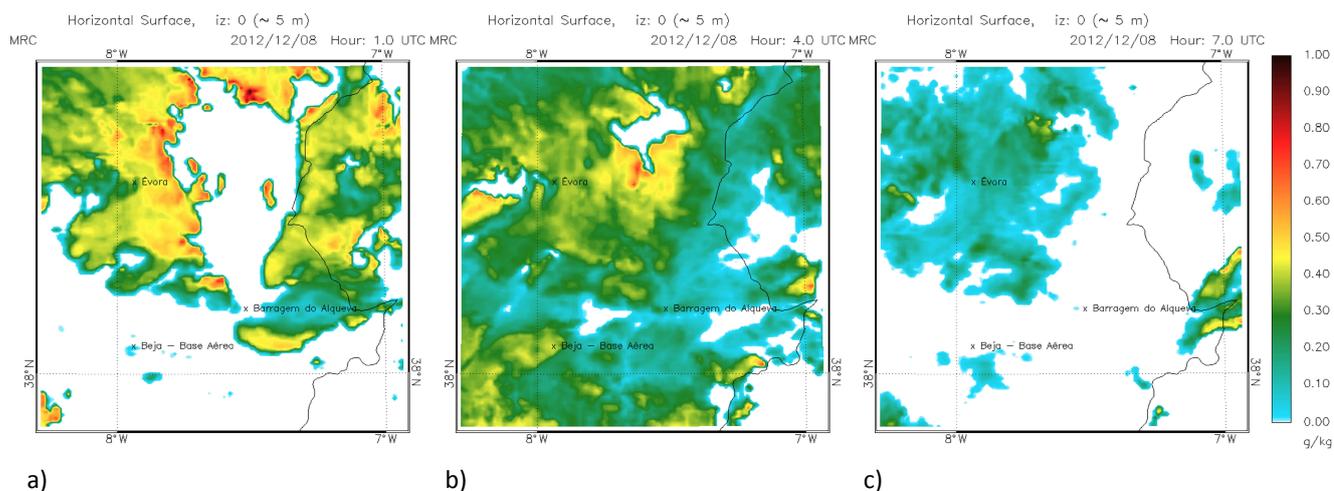
a) b)  
**Figura 4.13** - Simulação do “Número de Horas com Nevoeiro” nos dois Domínios, entre as 21:00 e as 15:00 UTC.

Na figura 4.14, onde se representa o campo da fração de nuvens no primeiro nível do modelo, identifica-se claramente a inibição da formação de nevoeiro sobre Alqueva e nas regiões a Sul da Serra do Mendro. Nota-se às 04:00 UTC que praticamente todo o Domínio D2 está ocupado por nevoeiro. Há a referir que a influência das serras da região está bem definida às 04:00 (figura 4.14 b)) na delimitação do nevoeiro. A dissipação do nevoeiro começa antes mesmo do nascer-do-sol no vale do Guadiana, em parte provocada por um aumento significativo do vento nesse período (ver figura 4.14 b)).



a) b) c)  
**Figura 4.14** - Simulação da Fração de Nuvens (Nevoeiro – escala de azuis) e escoamento (vetores) a 5 m de altura à 01:00, 04:00 e 07:00 UTC no Domínio D2.

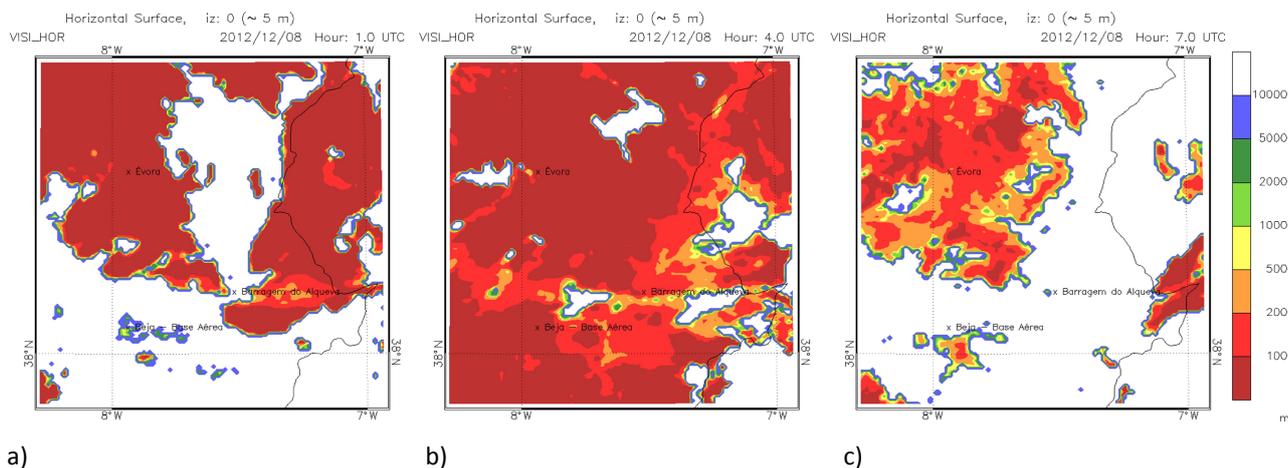
Na figura 4.15 são apresentados dados referentes à razão de mistura da água líquida nas nuvens no nível mais baixo do modelo para as mesmas horas da figura anterior, onde podem ser identificadas a zonas em que o nevoeiro será mais denso, algumas com quase 1 g de água líquida por quilograma (kg) de ar seco na vertente barlavento da Serra de Ossa à 01:00 UTC (ver figura 4.15 a)).



a) b) c)  
**Figura 4.15** - Simulação da razão de mistura da água líquida à 01:00, 04:00 e 07:00 UTC em D2.

## Visibilidade Horizontal

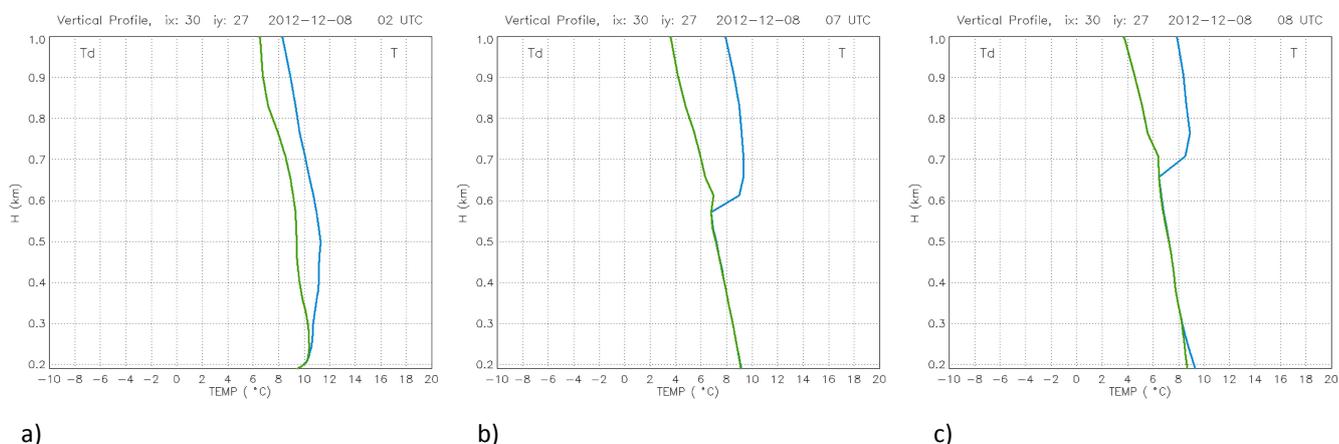
Como é expectável, a análise dos dados de visibilidade horizontal (ver figura 4.16) indica uma relação inversa com a razão de mistura para a água líquida. Zonas com maior quantidade de gotículas de água representam zonas com menor visibilidade horizontal. Pode-se verificar a vasta área com visibilidade extremamente reduzida na figura 4.16 b) às 04 UTC.



**Figura 4.16** - Simulação da visibilidade horizontal à 01:00, 04:00 e 07:00 UTC em D2.

## Perfis Verticais da Temperatura do Ar e da Temperatura do Ponto de Orvalho

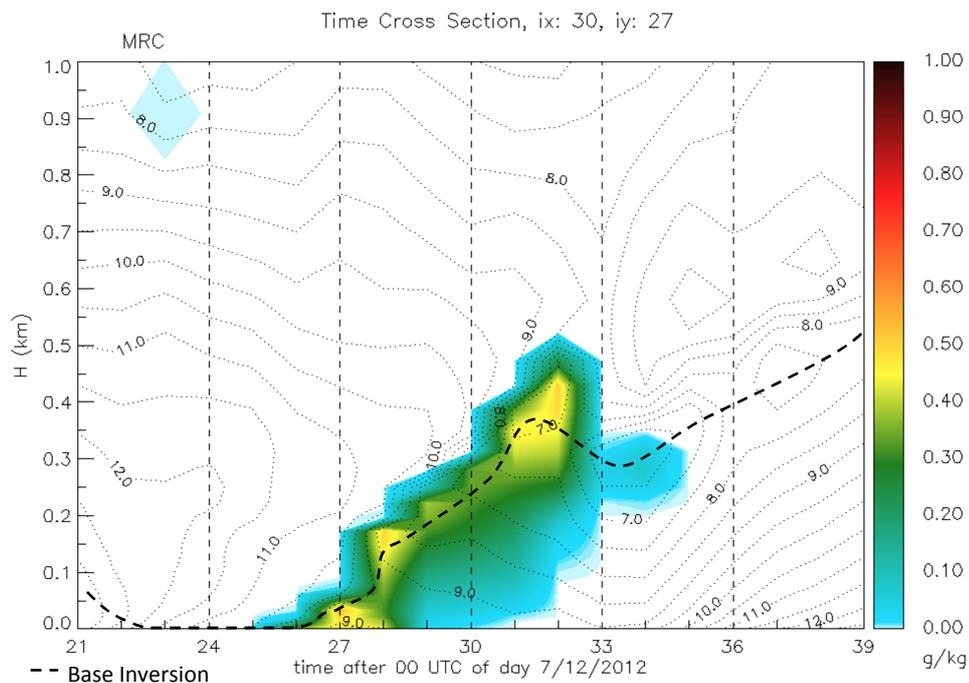
Os perfis verticais das temperaturas do ar e do ponto de orvalho a diferentes horas revelam na formação e evolução do nevoeiro na Base Aérea de Beja. Verifica-se a existência de um perfil típico de nevoeiro de radiação, onde se identifica bem a base da inversão térmica junto à superfície (ver figura 4.17 a)). Em seguida o nevoeiro adensa até atingir uma espessura máxima de cerca de 400 m por volta das 07:00 UTC (ver figura 4.17 b)). Por fim é iniciada a sua dissipação com a elevação do nevoeiro a criar uma camada de estratos muito baixos cerca das 08:00 UTC (ver figura 4.17 c))



**Figura 4.17** - Perfis Verticais simulados da Temperatura do Ar e da Temperatura do Ponto de Orvalho desde a superfície até 1000 m de Altitude para o Ponto de “Beja – Base Aérea” às 02, 07 e 08 UTC (todas no ANEXO 4.2.D)

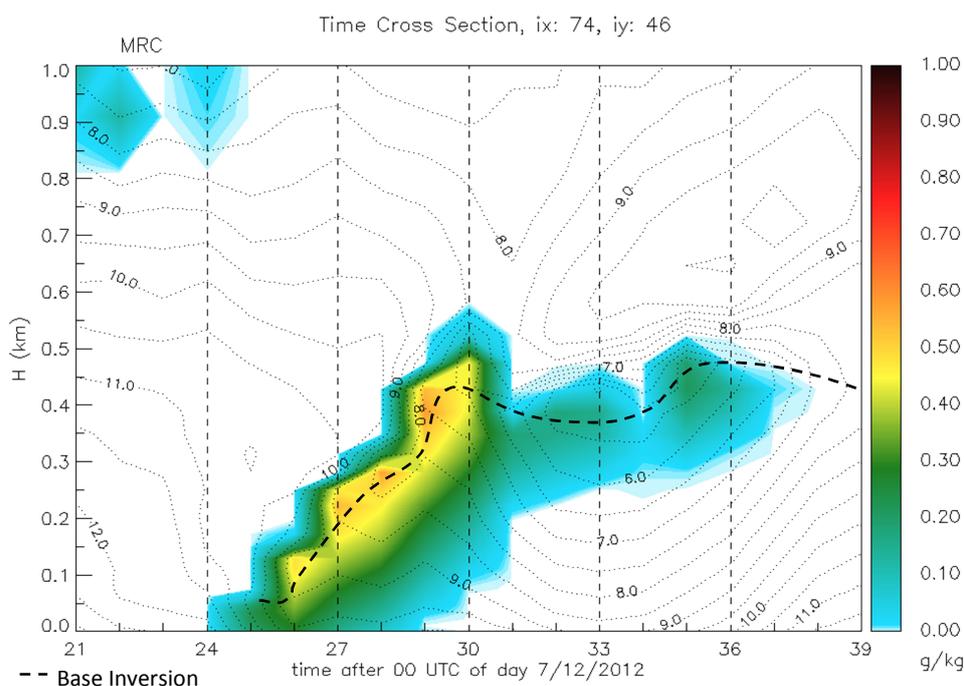
### Evolução Local do Nevoeiro (Beja-Base Aérea, Alqueva)

De acordo com o modelo, na Base Aérea de Beja o nevoeiro ocorreu entre a 01:00 e as 07:00 UTC, verificando-se que o arrefecimento noturno criou uma inversão térmica à superfície que se foi intensificando até à formação do nevoeiro cerca da 01:00 UTC (ver figura 4.18). No início, o nevoeiro é de pequena espessura, adensando por volta das 03:00 UTC e fazendo com que a base da inversão seja elevada. Com a dissipação do nevoeiro verifica-se o aumento da razão de mistura no topo das nuvens, dissipando estas também em seguida.



**Figura 4.18** - Simulação da evolução temporal (21 às 15 UTC) da temperatura do ar (linhas) e razão de mistura da água líquida (escala de cores) em altura (0 - 1 km) para o Ponto de “Beja – Base Aérea”. A linha a tracejado representa a Base da Inversão Térmica.

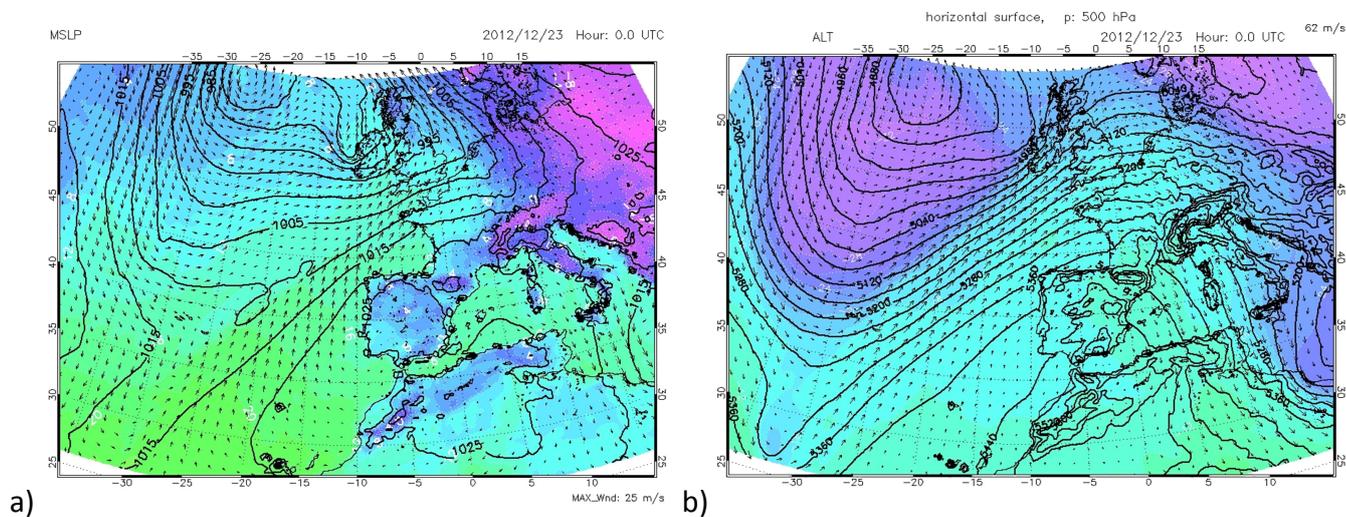
Sobre a Albufeira do Alqueva o modelo indica que o nevoeiro ocorreu entre as 00:00 e as 05:00 UTC, tendo-se verificado que só com a formação do nevoeiro se formou a inversão térmica típica no topo do nevoeiro. Verifica-se que após a dissipação do nevoeiro existe a persistência de nuvens baixas com a base a 300 m de altura até cerca das 14:00 UTC.



**Figura 4.19** - Simulação da evolução temporal (21 às 15 UTC) da temperatura do ar (linhas) e razão de mistura da água líquida (escala de cores) em altura (0 - 1 km) para o Ponto de “Beja – Base Aérea”. A linha a tracejado representa a Base da Inversão Térmica.

#### 4.2.2 – Caso II - 2012/12/23

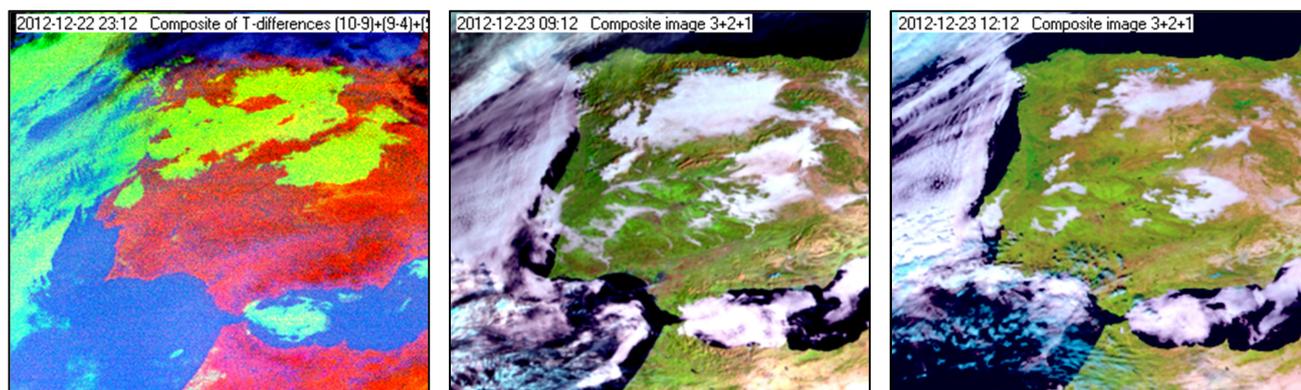
A situação sinóptica às 00:00 UTC do dia 2012/12/23 é caracterizada pela presença de um Anticiclone à superfície localizado a Sudeste da Península Ibérica, sobre o Norte de África que influencia dessa forma a existência de um fraco gradientes de pressão à superfície na região do Alentejo e predominando um fluxo fraco de Sul. Em Altitude verifica-se a existência de uma crista anticiclónica sobre a Península Ibérica. Há ainda a referir que este evento está inserido numa série de eventos de nevoeiro sucessivos na região (18 a 24 de dezembro de 2012).



**Figura 4.20** - Situação sinóptica às 00:00UTC do dia 2012/12/23. a) Superfície (MSLP & T2m); b) Altitude (H500 & T500)

**Nebulosidade**

Recorrendo às observações por satélite e de superfície, verificou-se que cerca das 00:00 UTC formou-se nevoeiro nos vales dos rios Guadiana, Sado e Mira, ocupando, cerca das 07:00, áreas muito mais abrangentes das referidas bacias hidrográficas. Com o aumento da radiação solar os locais mais elevados começam a aquecer, recuando o nevoeiro para junto das zonas aquáticas, nomeadamente nas zonas norte da Albufeira do Alqueva, onde ainda persistiam alguns locais com nevoeiro ou nuvens baixas no início da tarde (ver figura 4.21).



a) FOG RGB

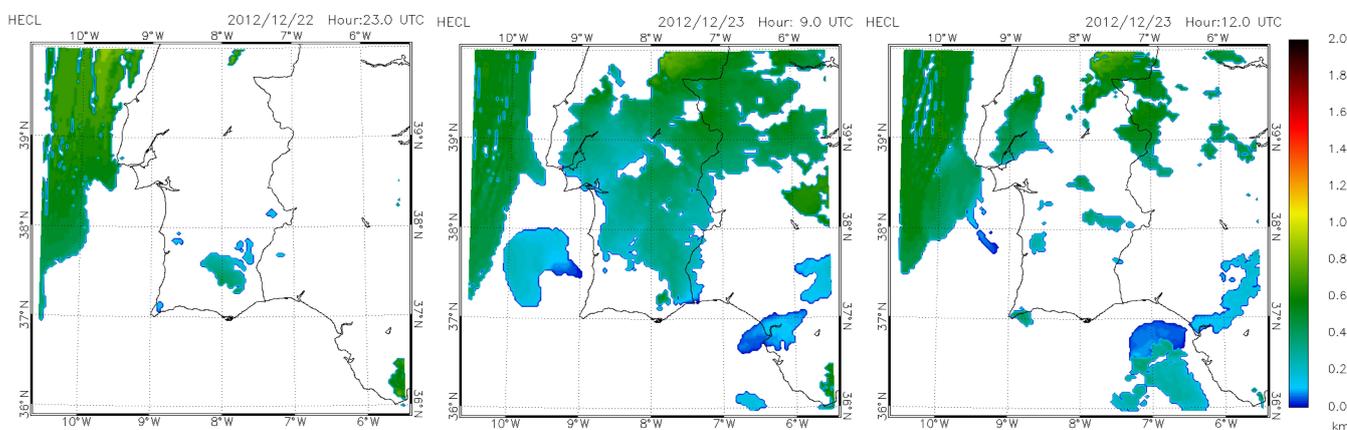
b) NATURAL

c) NATURAL RGB

**Figura 4.21** - Sequência de Imagens de Satélite às 23:12, 09:12 e 12:12 UTC (todas no ANEXO 4.2.E).

A altura do topo das nuvens simulada pelo Meso-NH (ver figura 4.22) indica o aparecimento de nebulosidade baixa em algumas zonas do sul do Alentejo, alastrando a sua ocupação a praticamente toda a região com o avançar da madrugada, principalmente nas regiões do interior. Após o nascer-do-sol e com o aumento da radiação solar esta nebulosidade vai-se dissipando, continuando contudo, a persistir alguma nebulosidade baixa durante o início da tarde.

Esta análise mostra existir alguma semelhança entre a simulação da nebulosidade para este caso e a sua observação por satélite, verificando-se a sua boa representação ao longo de toda a simulação (ver anexos 4.1.E e 4.1.F).



a)

b)

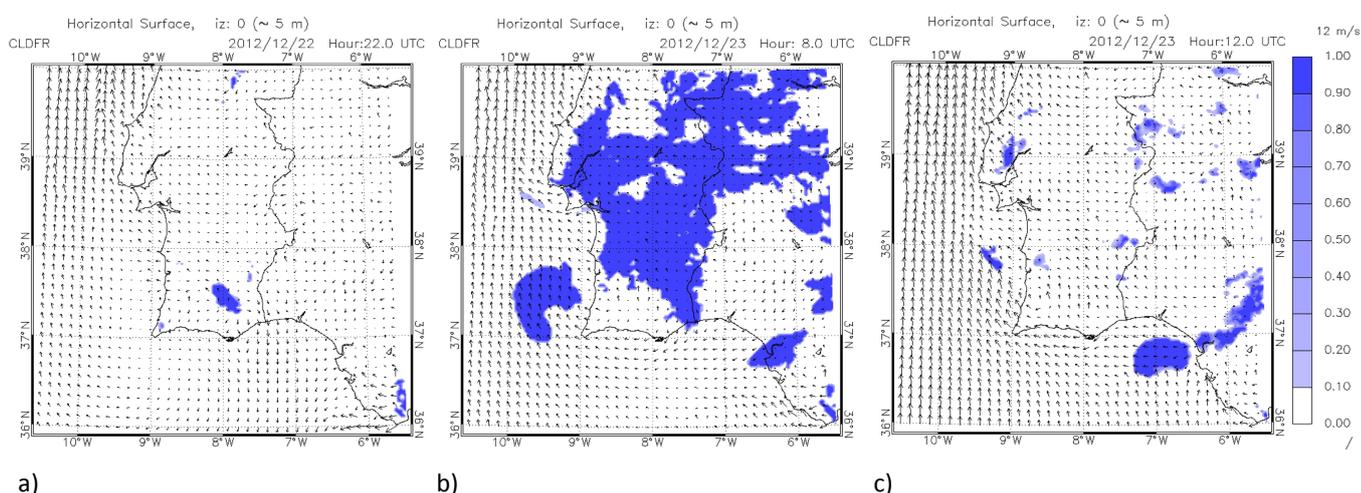
c)

**Figura 4.22** - Simulação da Altura do Topo das Nuvens às 23:00, 09:00 e 12:00 UTC (todas no ANEXO 4.2.F)

## Nevoeiro

Neste caso e de acordo com a simulação verifica-se que muito cedo surgem zonas com nevoeiro no Baixo Alentejo junto à serra do Caldeirão (ver figura 4.23 a)). Com o avançar da madrugada o nevoeiro ocupa praticamente toda a região do Alentejo, especialmente do interior, à exceção de zonas mais elevadas das Serras de São Mamede, Ossa e Monfurado (ver figura 4.23 b)). Com o aumento da radiação solar após o nascer-do-sol o nevoeiro começa a dissipar-se, persistindo por volta das 12:00 UTC apenas junto às Serras do Cercal e de São Mamede e junto à barragem de Alqueva (ver figura 4.23 c). Às 14:00 UTC já não existia qualquer zona com nevoeiro na região (ver ANEXO 4.2.G).

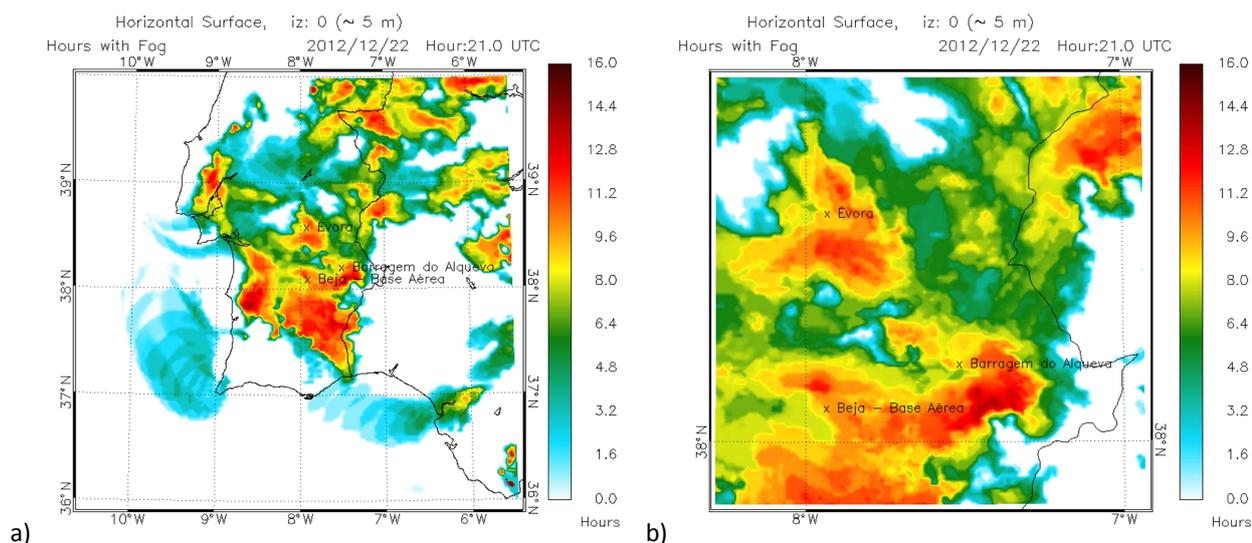
Na figura 4.30 é apresentado o escoamento horizontal no nível mais baixo do modelo, onde se verifica que o escoamento de Sul - Sudeste regula o modo como o nevoeiro adquire a sua forma, ficando este sobretudo instalado nas vertentes barlavento das elevações da região. Isto é evidente, nomeadamente aquando da formação do nevoeiro.



a) b) c)  
**Figura 4.23** - Simulação da Fração de Nuvens (Nevoeiro – escala de azuis) e Escoamento (vetores) a 5 m de altura às 22:00, 08:00 e 12:00 UTC no Domínio D1 (todas no ANEXO 4.2.G)

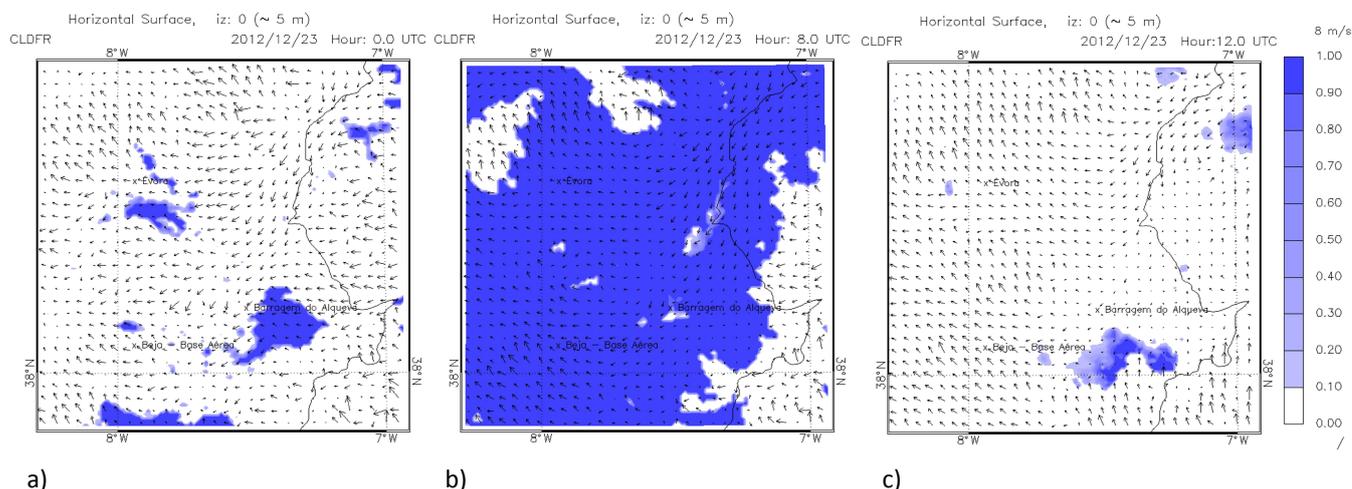
A figura 4.24 mostra o número de horas com nevoeiro em ambos os domínios. Verifica-se no Domínio D1 que junto à Serra do Cercal e na Bacia do Guadiana a Sul da Serra do Mendro houve diversas zonas onde ocorreram mais de 12 horas de nevoeiro, sendo de realçar também a zona entre as Serras de Portel e de Monfurado onde existem algumas zonas com cerca de 12 horas de nevoeiro. No Domínio D2 há a realçar a zona a Sul da Barragem do Alqueva com vários locais com mais de 14 horas de Nevoeiro. Na Base Aérea de Beja ocorreram cerca de 10 horas com nevoeiro.

Neste caso verifica-se novamente que sobre a Albufeira do Alqueva existem várias zonas com menos horas de nevoeiro. Isto pode ser devido sobretudo ao facto da temperatura da água, que nesta época é relativamente elevada por comparação com a do ar, fazendo com que, apesar da adição de vapor de água, a temperatura não seja suficientemente baixa para condensar esse vapor que irá condensar em zonas mais afastadas da albufeira para onde é transportado pelo escoamento.



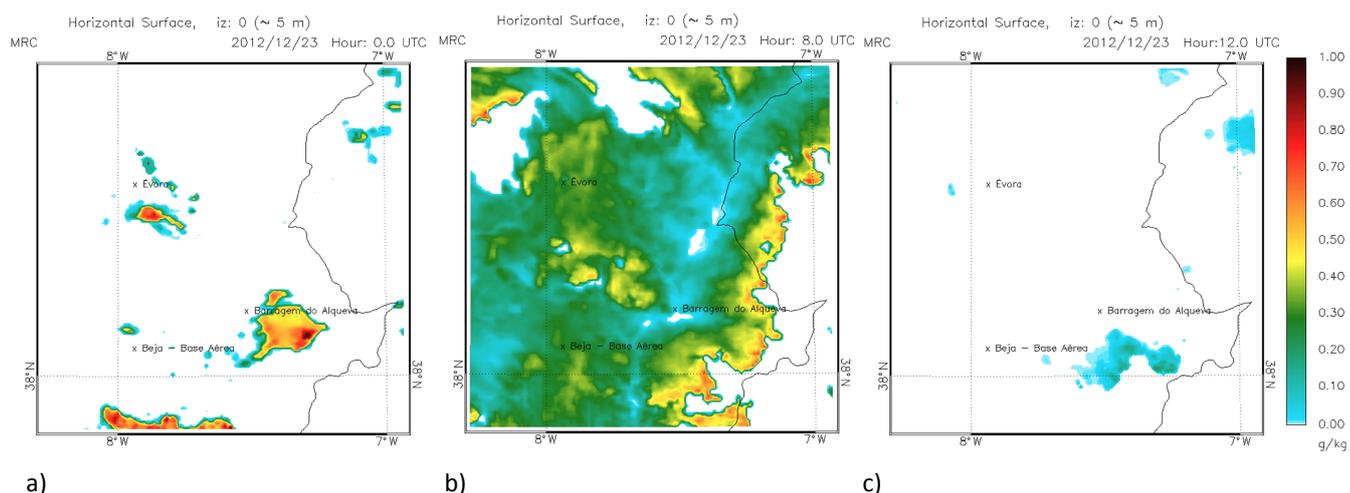
**Figura 4.24** - Simulação do “Número de Horas com Nevoeiro” nos dois Domínios, entre as 21:00 e as 15:00 UTC.

De acordo com a simulação, uma das zonas com mais horas com nevoeiro ocorreu na zona a Sul da Barragem do Alqueva (figura 4.25), devido sobretudo ao escoamento mais ou menos constante de Sul ter originado um empilhamento de ar relativamente húmido numa zona relativamente fria fazendo com que fosse originada a formação de nevoeiro orográfico nesse local que persistiu mais de 12 horas. Nota-se às 08:00 UTC (ver figura 4.25 b)) que grande parte do Domínio D2 está ocupado por nevoeiro, à exceção das Serras de Ossa e Monfurado e verificando-se já a precoce dissipação do nevoeiro sobre a Albufeira do Alqueva devido à intensificação do vento de Nordeste.



**Figura 4.25** - Simulação da Fração de Nuvens (Nevoeiro – escala de azuis) e escoamento (vetores) a 5 m de altura à 00:00, 08:00 e 12:00 UTC no Domínio D2.

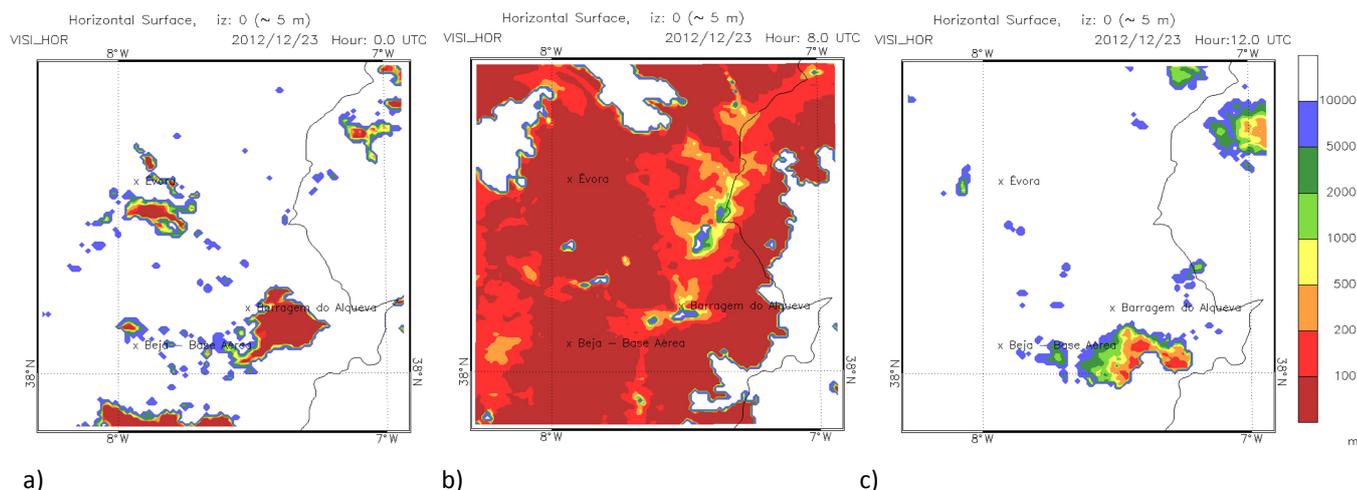
Na figura 4.26 está representado o campo da razão de mistura da água líquida nas nuvens para as mesmas horas da figura 4.26, onde se destaca a grande quantidade de água líquida nas zonas de formação de nevoeiro (ver figura 4.26 a)) e ainda a relativa pequena quantidade de água líquida no nevoeiro sobre a Albufeira do Alqueva (ver figura 4.26 b)).



a) b) c)  
**Figura 4.26** - Simulação da razão de mistura da água líquida à 01:00, 04:00 e 07:00 UTC em D2.

### Visibilidade Horizontal

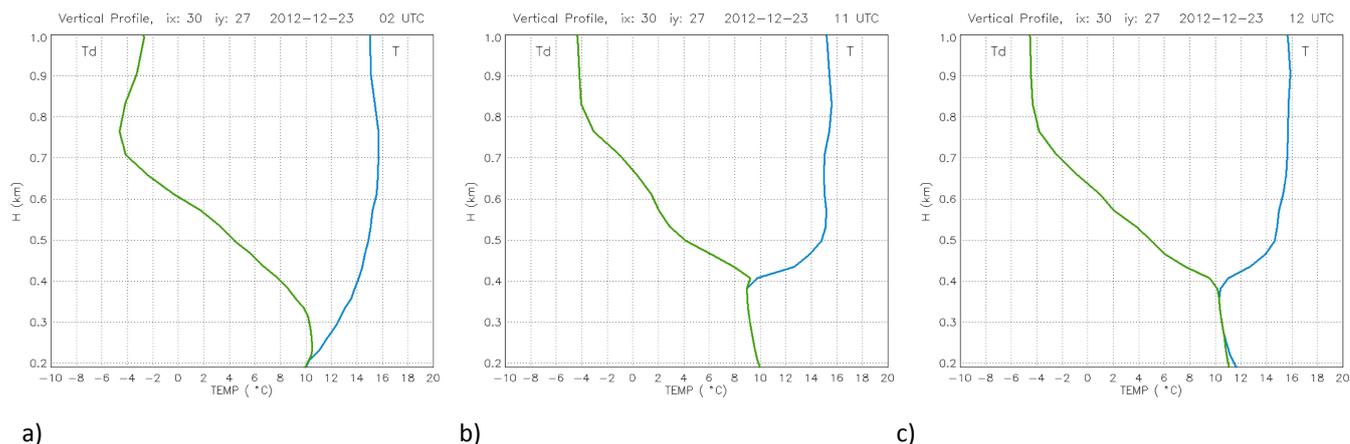
Através da análise dos dados de visibilidade horizontal pode-se verificar a localização das zonas com valores de visibilidade mais restritivos, sendo ainda de salientar os valores de visibilidade superiores sobre a Albufeira do Alqueva (ver figura 4.27 b)).



a) b) c)  
**Figura 4.27** - Simulação da visibilidade horizontal à 01:00, 04:00 e 07:00 UTC em D2.

### Perfis Verticais da Temperatura do Ar e da Temperatura do Ponto de Orvalho

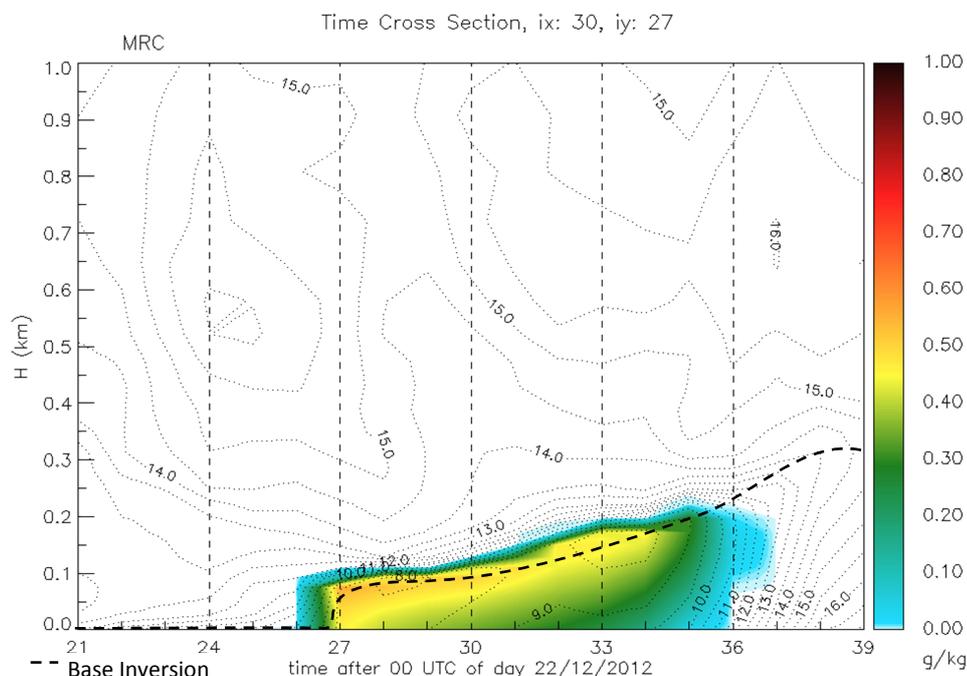
Os perfis verticais das temperaturas do ar e do ponto de orvalho a diferentes horas indicam a existência de um perfil típico de nevoeiro de radiação, onde se identifica bem a base da inversão térmica junto à superfície e que se estende por cerca de 500 m (ver figura 4.28 a). Em seguida o nevoeiro adensa até atingir uma espessura máxima de cerca de 200 m (ver figura 4.28 b)). Por fim, inicia-se a sua dissipação com a elevação do nevoeiro a criar uma camada de estratos muito baixos cerca das 12:00 UTC (ver figura 4.28 c))



a) b) c)  
**Figura 4.28** - Perfis Verticais simulados da Temperatura do Ar e da Temperatura do Ponto de Orvalho desde a superfície até 1000 m de Altitude para o Ponto de “Beja – Base Aérea” (todas no ANEXO 4.2.H).

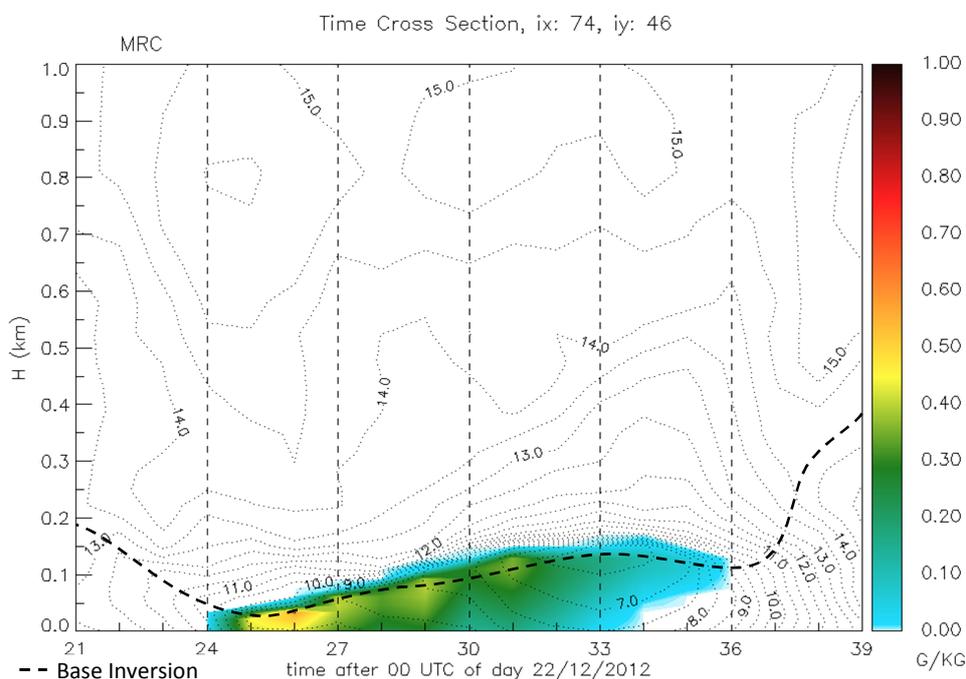
### Evolução Local do Nevoeiro (Beja-Base Aérea, Alqueva)

Na Base Aérea de Beja o nevoeiro ocorreu entre a 02:00 e as 12:00 UTC, verificando-se, de acordo com o Meso-NH, uma inversão térmica à superfície que se foi intensificando até à formação do nevoeiro cerca das 02:00 UTC (ver figura 4.29). O nevoeiro rapidamente adquire uma espessura de cerca de 100 m, fazendo com que a base da inversão seja elevada e atinja os 200 m cerca das 11:00 UTC, iniciando-se de seguida a dissipação do nevoeiro. Após a dissipação do nevoeiro não se verifica uma grande persistência de nuvens baixas neste caso.



**Figura 4.29** - Simulação da evolução temporal (21 às 15 UTC) da temperatura do ar (linhas) e razão de mistura para a água líquida (escala de cores) em altura (0 – 1 km) para o Ponto de “Beja – Base Aérea”.

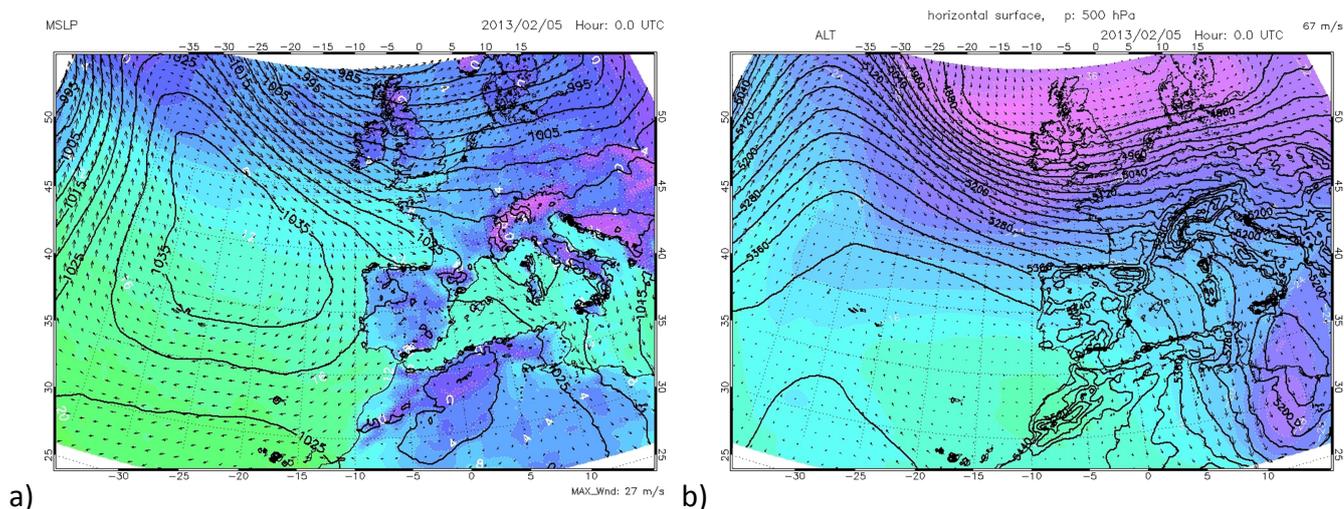
Sobre a Albufeira do Alqueva o nevoeiro no modelo ocorreu entre as 00:00 e as 10:00 UTC. Após a dissipação do nevoeiro existe uma breve persistência de nuvens baixas com a base abaixo dos 100 m de altura até cerca das 12:00 UTC.



**Figura 4.30** - Simulação da evolução temporal (21 às 15 UTC) da temperatura do ar (linhas) e razão de mistura para a água líquida (escala de cores) em altura (0 - 1 km) para o Ponto de "Alqueva".

#### 4.2.3 – Caso III - 2013/02/05

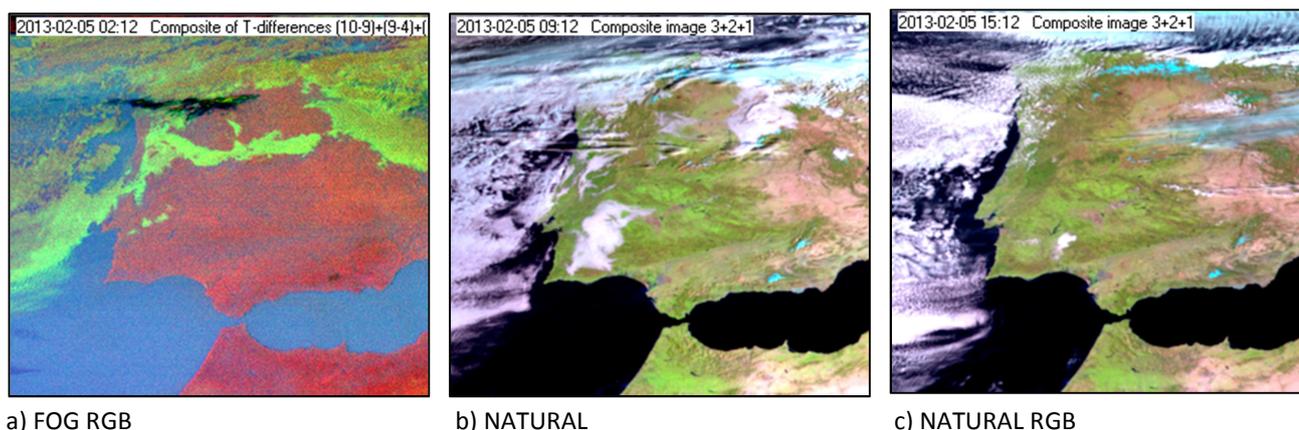
A situação sinóptica às 00:00 UTC do dia 2013/02/05 é caracterizada pela presença de um Anticiclone à superfície localizado a Norte do Arquipélago dos Açores e que se estende em crista sobre a região Norte da Península Ibérica, influenciando dessa forma a existência de um fraco gradiente de pressão à superfície na região do Alentejo e predominando um fluxo fraco de Nordeste. Em Altitude, Portugal Continental encontra-se sobre a influência do bordo Leste de uma crista Anticiclónica que se estende em direção à Gronelândia. Há ainda a referir que este evento é antecedido por dois dias de céu limpo vento fraco de Leste e sem formação de nevoeiro.



**Figura 4.31** - Situação sinóptica às 00:00UTC do dia 2012/12/23. a) Superfície (MSLP & T2m); b) Altitude (H500 & T500)

### Nebulosidade

Recorrendo às observações de superfície e por satélite, verificou-se que a formação de nevoeiro ou nuvens baixas ocorreu por volta das 02:00 UTC na Região do Alto Alentejo, aumentando gradualmente a sua ocupação para Sul. Estando o Interior do Alentejo praticamente coberto às 06:00 UTC ainda antes do sol do nascer. Com o aumento da radiação solar verificou-se a dissipação lenta do nevoeiro e nuvens baixas, estando cerca das 15:00 UTC uma situação de quase ausência de nuvens (ver figura 4.32 c)). No que diz respeito às observações meteorológicas da Base Aérea de Beja verifica-se o aparecimento de nuvens baixas cerca das 05:00 UTC e redução significativa da visibilidade cerca das 07:00 UTC. A situação de Nevoeiro efetiva ocorreu entre as 07:00 e as 10:00 UTC, tendo dissipado depois dessa hora e estando às 15:00 UTC praticamente sem nuvens.



a) FOG RGB

b) NATURAL

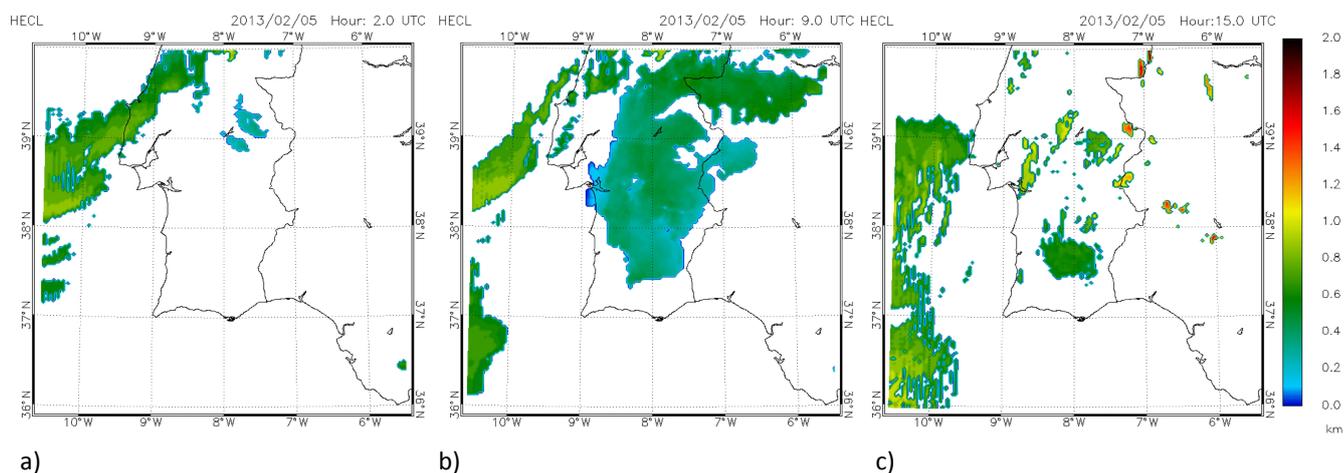
c) NATURAL RGB

**Figura 4.32** - Sequência de Imagens de Satélite às 00:12, 09:12 e 15:12 UTC (todas no ANEXO 4.2.I).

Da simulação da altura do topo das nuvens (ver figura 4.33) verifica-se o aparecimento de nebulosidade baixa em algumas zonas do Alto Alentejo, alastrando a sua ocupação a praticamente toda a região com o avançar da madrugada, principalmente nas

regiões do interior. Após o nascer-do-sol e com o aumento da radiação solar esta nebulosidade vai dissipando, continuando contudo, a persistir alguma nebulosidade baixa durante a tarde em especial nas regiões do Baixo Alentejo.

Desta análise pode ser estabelecida uma relação de alguma semelhança entre a simulação da nebulosidade para este caso e a sua observação por satélite, verificando-se a sua satisfatória representação ao longo de toda a simulação (ver anexos 4.1.I e 4.1.J).

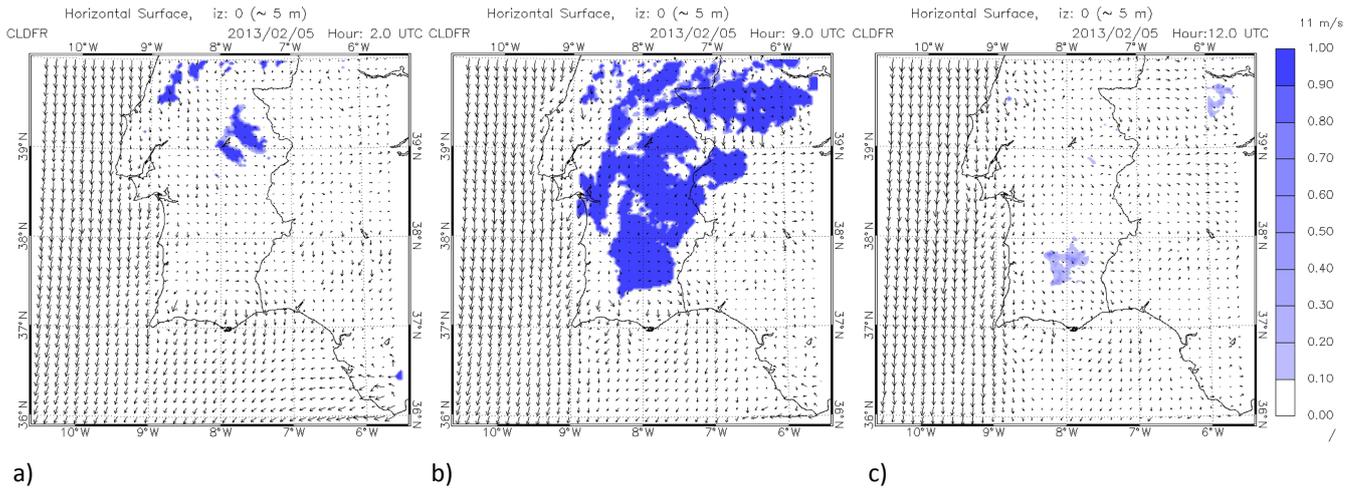


**Figura 4.33** - Simulação da Altura do Topo das Nuvens às 02:00, 09:00 e 15:00 UTC (todas no ANEXO 4.2.J)

### Nevoeiro

Neste caso verifica-se o aparecimento de zonas com nevoeiro no Alto Alentejo antes das 02:00 UTC (ver figura 4.34 a)). Com o avançar da madrugada verifica-se que o nevoeiro ocupa grande parte da região do Alentejo, especialmente do interior (ver figura 4.34 b)). Com o aumento da radiação solar após o nascer-do-sol o nevoeiro começa a dissipar, persistindo ainda por volta das 12:00 UTC apenas em algumas zonas a Sul de Beja (ver figura 4.34 c)). Às 13:00 UTC já não existia qualquer zona com nevoeiro na região (ver anexo 4.2.K).

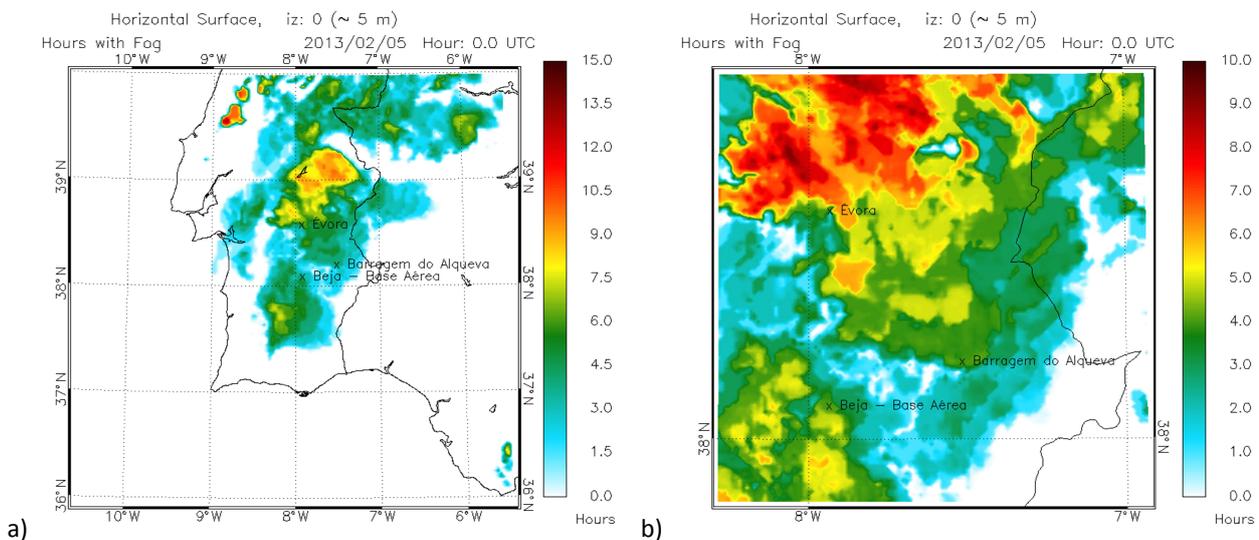
Na figura 4.34 é apresentado também o escoamento horizontal no nível mais baixo do modelo, onde se verifica que o escoamento predominante de Norte regula o modo como o nevoeiro adquire a sua forma, ficando este sobretudo instalado nas vertentes barlavento das elevações da região. Isto é evidente, nomeadamente aquando da formação do nevoeiro.



**Figura 4.34** - Simulação da Fração de Nuvens (Nevoeiro – escala de azuis) e Escoamento (vetores) a 5 m de altura às 02:00, 09:00 e 12:00 UTC no Domínio D1 (todas no ANEXO 4.2.K)

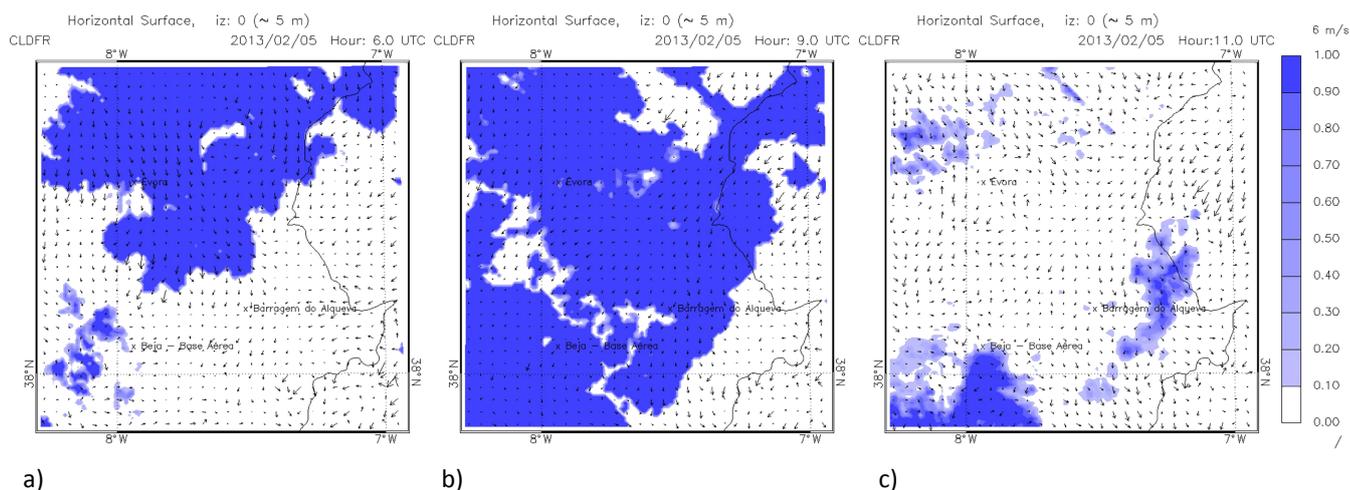
A figura 4.35 mostra o número de horas com nevoeiro em ambos os domínios. Verifica-se no Domínio D1 que a Norte de Évora houve diversas zonas onde ocorreram mais de 10 horas com nevoeiro, sendo de realçar também a zona a Sudoeste de Beja onde existem algumas zonas com cerca de 7 horas de nevoeiro. No Domínio D2 há a realçar a zona a Norte de Évora com vários locais com mais de 8 horas de Nevoeiro, especialmente, devido ao bloqueio orográfico das Serras de Ossa e Monfurado. Na Base Aérea de Beja ocorreram cerca de 4 horas com nevoeiro (ver figura 4.35 b)).

Neste caso verifica-se novamente que, sobre a Albufeira do Alqueva existem várias zonas com menos horas de nevoeiro. Isto pode ser devido, sobretudo, ao escoamento de grande escala ser bloqueado pela orografia a montante fazendo com que a humidade da massa de ar advectada não chegue à albufeira, bem como, a temperatura da água relativamente mais alta que a do ar, fazer com que, apesar da adição de vapor de água, a temperatura não seja suficientemente baixa para o condensar.



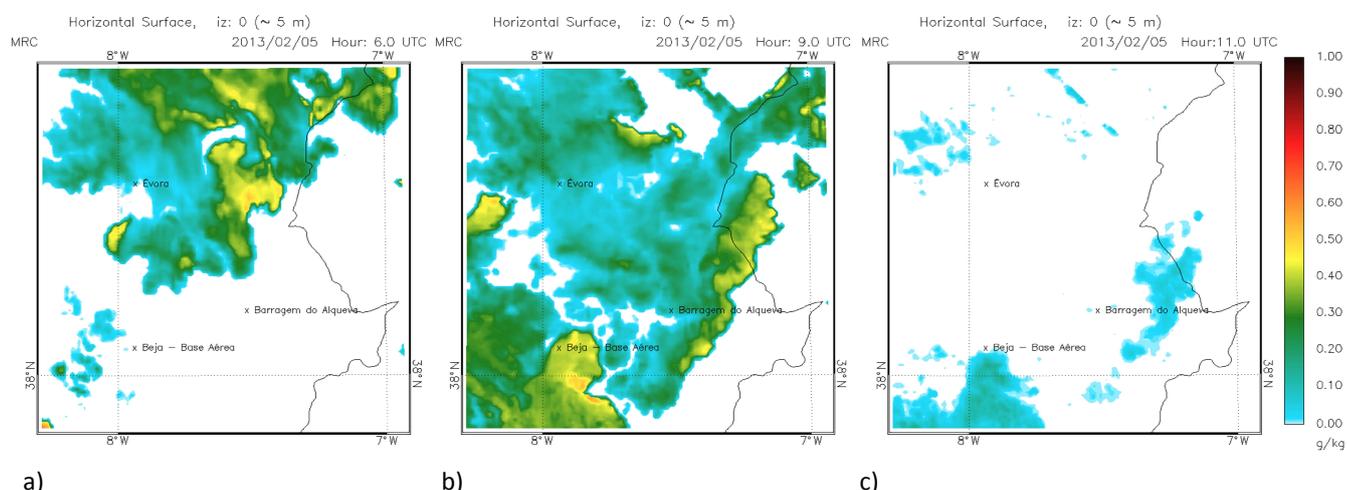
**Figura 4.35** - Simulação do “Número de Horas com Nevoeiro” nos dois Domínios, entre as 21:00 e as 15:00 UTC.

Na figura 4.36 salienta-se o bloqueio das serras da região que delimitam as zonas com nevoeiro, nomeadamente, as Serras de Monfurado e Mendro que bloqueiam o fluxo de Norte (ver figura 4.36 a)). Nota-se às 09:00 UTC (ver figura 4.36 b)) que grande parte do Domínio D2 está ocupada por nevoeiro, sendo de realçar que toda Albufeira do Alqueva se encontra coberta por nevoeiro. Com a dissipação do nevoeiro verifica-se a sua maior persistência agora nas zonas a Sul de Beja e a leste da Barragem do Alqueva, provavelmente, devido ao transporte continuado de vapor de água das albufeiras da região, em particular de Alqueva (ver figura 4.36 c)).



a) b) c)  
**Figura 4.36** - Simulação da Fração de Nuvens (Nevoeiro – escala de azuis) e escoamento (vetores) a 5 m de altura às 06:00, 09:00 e 11:00 UTC no Domínio D2.

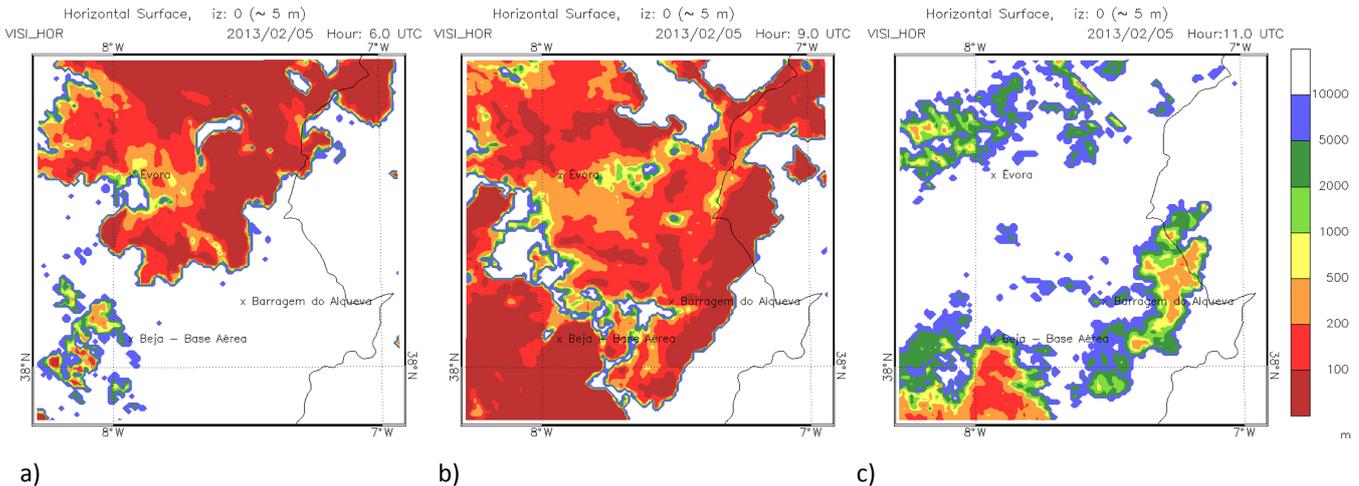
Na figura 4.37 são apresentados dados referentes à razão de mistura da água líquida para as mesmas horas da figura anterior, onde se destaca a maior quantidade de água líquida nas zonas a Leste da Albufeira do Alqueva (ver figura 4.37 b)), devido sobretudo à advecção de vapor de água da albufeira para zonas mais elevadas e mais frias. Situação que continua a persistir mesmo depois de o nevoeiro ter dissipado sobre a albufeira (ver figura 4.37 c)).



a) b) c)  
**Figura 4.37** - Simulação da razão de mistura da água líquida à 06:00, 09:00 e 11:00 UTC em D2.

**Visibilidade Horizontal**

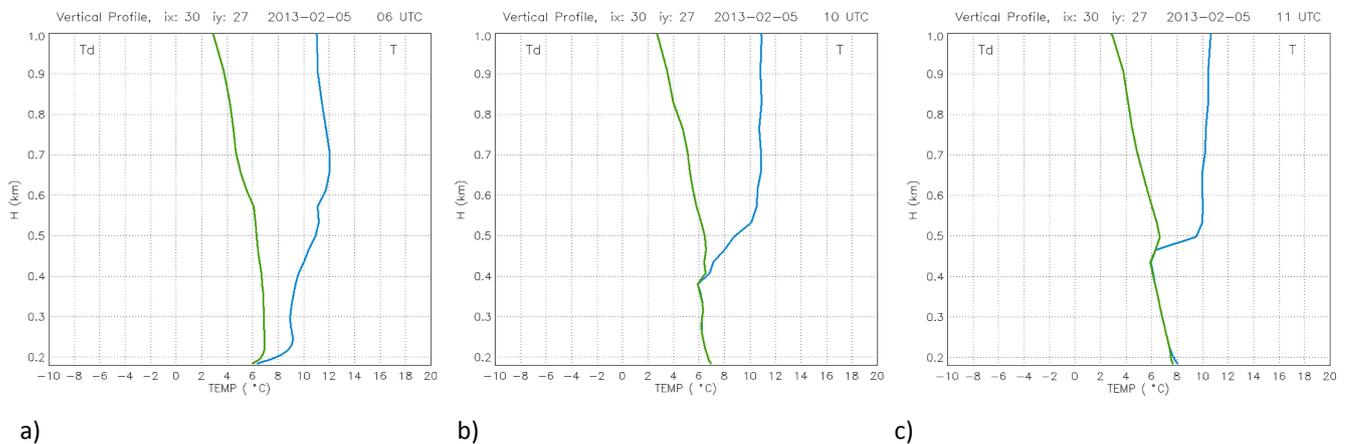
Através da análise dos dados de visibilidade horizontal pode-se verificar a localização das zonas com valores de visibilidade mais restritivos, sendo de salientar as zonas a jusante (escoamento) da Albufeira do Alqueva, sobretudo devido ao transporte de massa de ar para zonas em que a diminuição da temperatura favorece a sua condensação (ver figura 4.38 b)).



**Figura 4.38** - Simulação da visibilidade horizontal à 01:00, 04:00 e 07:00 UTC em D2.

**Perfis Verticais da Temperatura do Ar e da Temperatura do Ponto de Orvalho**

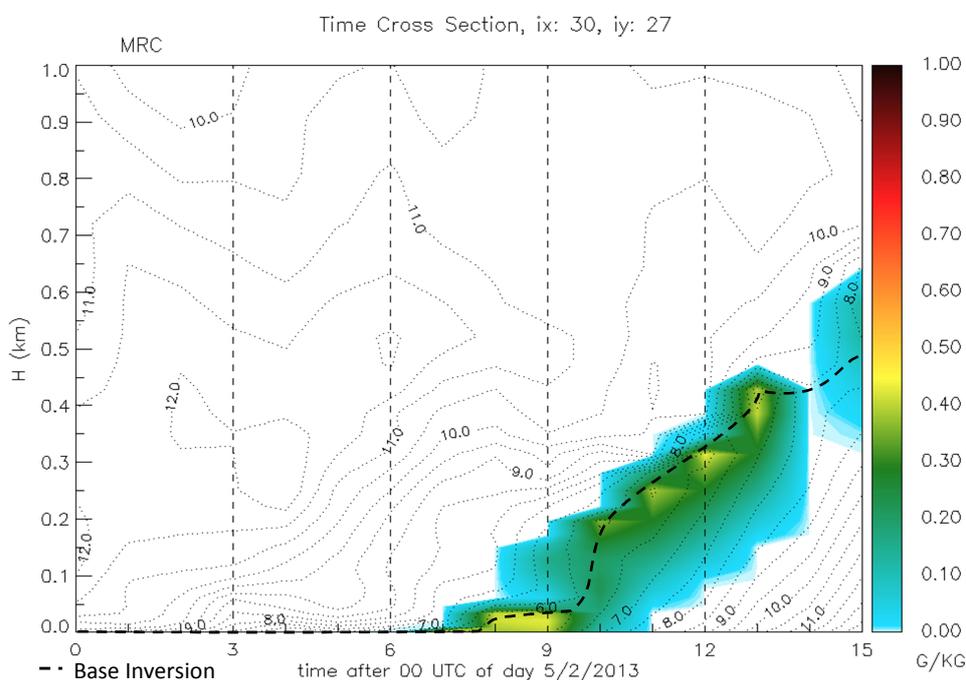
Os perfis verticais das temperaturas do ar e do ponto de orvalho a diferentes horas revelam na formação e evolução do nevoeiro na Base Aérea de Beja. Verifica-se a existência de um perfil típico de nevoeiro de radiação, onde se identifica bem a base da inversão térmica junto à superfície em especial nos primeiros 50 m (ver figura 4.39 a)). Em seguida o nevoeiro adensa até atingir uma espessura máxima de cerca de 200 m (ver figura 4.39 b)). Por fim é iniciada a sua dissipação, com a elevação do nevoeiro a criar uma camada de estratos muito baixos cerca das 11:00 UTC (ver figura 4.39 c))



**Figura 4.39** - Perfis Verticais simulados da Temperatura do Ar e da Temperatura do Ponto de Orvalho desde a superfície até 1000 m de Altitude para o Ponto de “Beja – Base Aérea” (todas no ANEXO 4.2.L).

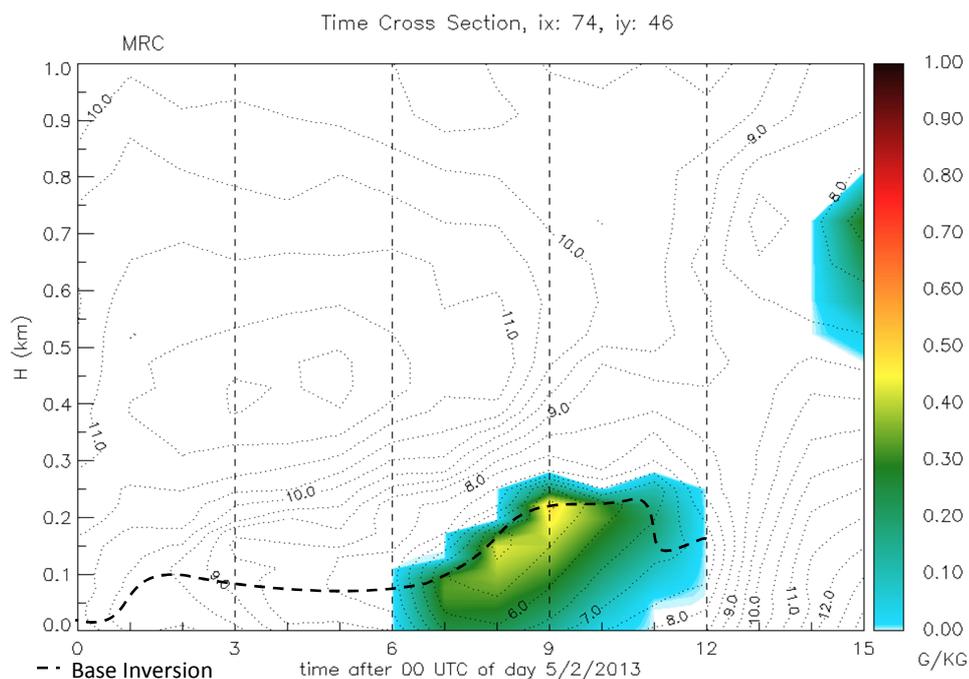
**Evolução Local do Nevoeiro (Beja-Base Aérea, Alqueva)**

Na Base Aérea de Beja o nevoeiro ocorreu entre as 07:00 e as 10:00 UTC, verificando-se uma inversão térmica à superfície que foi intensificando até à formação do nevoeiro cerca das 07:00 UTC (ver figura 4.40). O nevoeiro rapidamente adquire uma espessura de cerca de 50 m, que se mantém até ao nascer-do-sol. Com o aumento da radiação solar, aumenta a mistura turbulenta do nevoeiro no seu topo, elevando-o para cerca de 200 m e fazendo com que a base da inversão se eleve também. Após a dissipação do nevoeiro, verifica-se a persistência das nuvens baixas (estratos), no início (12:00 UTC) com a base a cerca de 50 m de altura, continuando esta a subir até cerca de 400 m às 15:00 UTC.



**Figura 4.40** - Simulação da evolução temporal (00 às 15 UTC) da temperatura do ar (linhas) e razão de mistura da água líquida (escala de cores) em altura (0 - 1 km) para o Ponto de “Beja – Base Aérea”. A linha a tracejado representa a Base da Inversão Térmica.

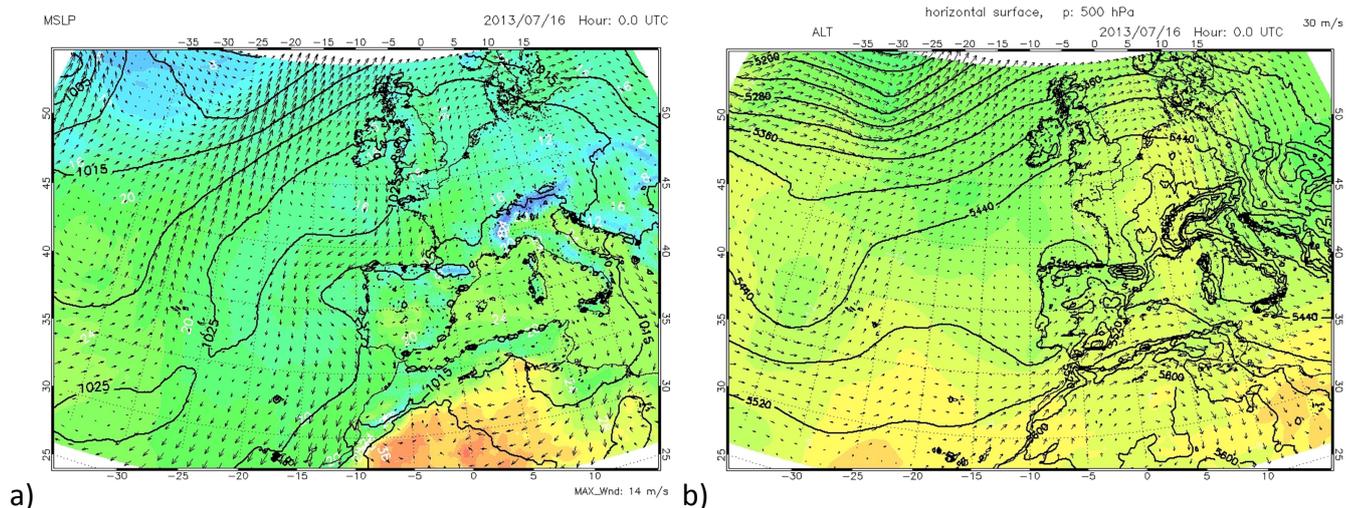
Sobre a Albufeira do Alqueva o nevoeiro ocorreu entre as 06:00 e as 11:00 UTC. Verifica-se que após a dissipação do nevoeiro não existe uma persistência de nuvens baixas após as 12:00 UTC. Mais uma vez se verifica que a base da inversão térmica não atinge nunca a superfície, devido à influência da temperatura da água da albufeira.



**Figura 4.41** - Simulação da evolução temporal (21 às 15 UTC) da temperatura do ar (linhas) e razão de mistura da água líquida (escala de cores) em altura (0 - 1 km) para o Ponto de “Beja – Base Aérea”. A linha a tracejado representa a Base da Inversão Térmica.

#### 4.2.4 – Caso IV - 2013/07/16

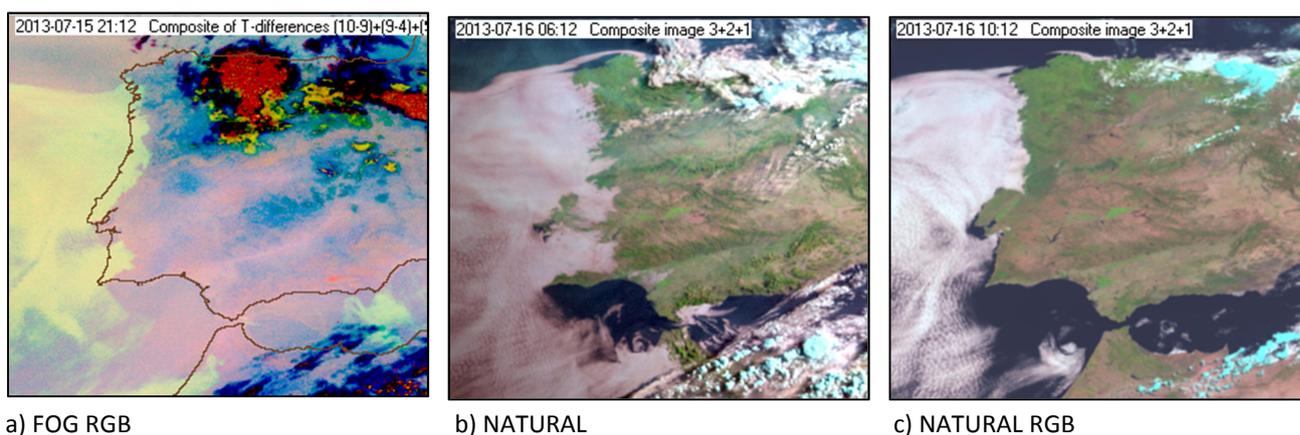
A situação sinóptica às 00:00 UTC do dia 2013/07/16 é caracterizada pela influencia de uma vasta região anticiclónica que se estende desde o Sul do Arquipélago dos Açores até ao Centro da Europa e apresentando uma inflexão na região da Península Ibérica alimentada pela Depressão de origem térmica no centro da mesma, originando dessa forma um fluxo fraco a moderado de Noroeste/Oeste na região do Alentejo, nomeadamente no litoral. Em Altitude, Portugal Continental encontra-se sobre a influência de uma crista Anticiclónica que se estende sobre o centro da Europa. Há ainda a referir que este evento é inserido numa série de quatro dias (15 a 18 de Julho) de nevoeiro e céu muito nublado por estratos no período da madrugada e manhã, nomeadamente nas regiões do litoral alentejano.



**Figura 4.42** - Situação sinóptica às 00:00UTC do dia 2012/12/23. a) Superfície (MSLP & T2m); b) Altitude (H500 & T500)

### Nebulosidade

Recorrendo às observações por satélite e de superfície, verificou-se a progressiva invasão de nebulosidade formada sobre o Oceano Atlântico imediatamente a seguir ao pôr-do-sol do dia 15 de julho, ocupando cerca das 21:00 UTC, praticamente todo o litoral alentejano. Como se pode observar na figura 4.43 b) após o nascer-do-sol (cerca das 06:00 UTC) de dia 16 de julho verifica-se que praticamente todo o Alentejo está ocupado por nebulosidade baixa à exceção da zona da Albufeira do Alqueva. Com o aumento da radiação solar verificou-se a dissipação do nevoeiro e nuvens baixas, estando cerca das 10:00 UTC uma situação de quase ausência de nuvens (ver figura 4.43 c)) no Alentejo, persistindo apenas os estratocúmulos sobre o Oceano.



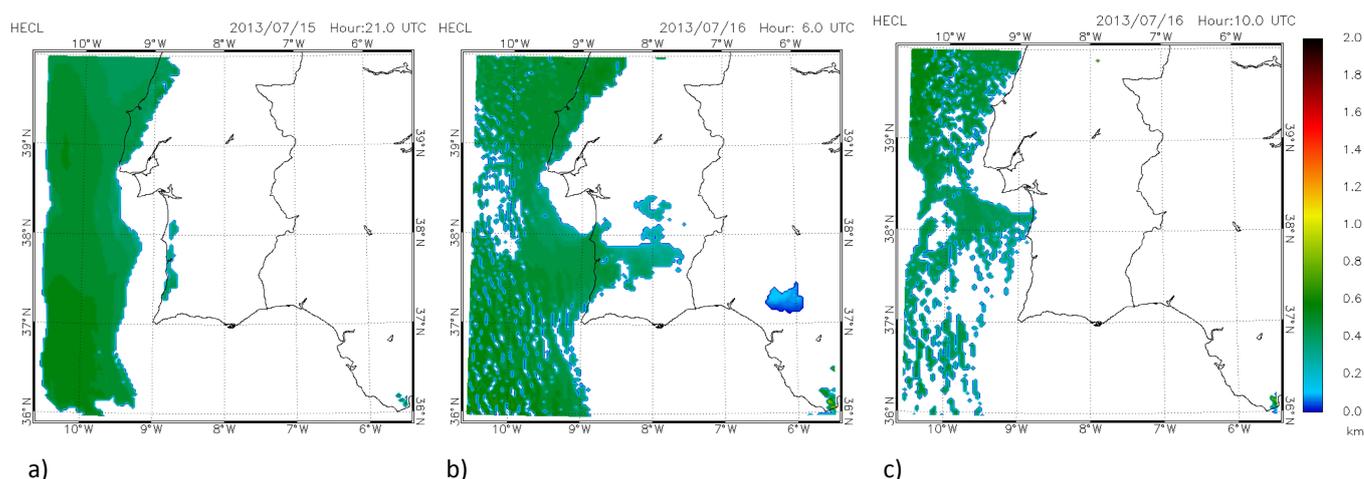
a) FOG RGB                      b) NATURAL                      c) NATURAL RGB

**Figura 4.43** - Sequência de Imagens de Satélite às 21:12, 06:12 e 10:12 UTC (todas no ANEXO 4.2.M).

Da simulação da altura do topo das nuvens (ver figura 4.44) verifica-se o aparecimento de nebulosidade baixa junto à costa logo às 21:00 UTC (ver figura 4.44 a)), alastrando a sua ocupação a grande parte da região do Baixo Alentejo com o avançar da noite e madrugada. Após o nascer-do-sol e com o aumento da radiação solar esta

nebulosidade vai dissipando, estando às 10:00 UTC toda a região praticamente sem nuvens.

Desta análise pode ser estabelecida uma relação de alguma semelhança entre a simulação da nebulosidade para este caso e a sua observação por satélite (ver anexos 4.1.M e 4.1.N), verificando-se uma subestimação na nebulosidade, nomeadamente, nas regiões do Norte do Alentejo. Este facto pode ser explicado com a dimensão do Domínio 1 não ser tão abrangente que consiga representar o transporte da nebulosidade vinda do Litoral Oeste que se observa nas imagens de satélite.

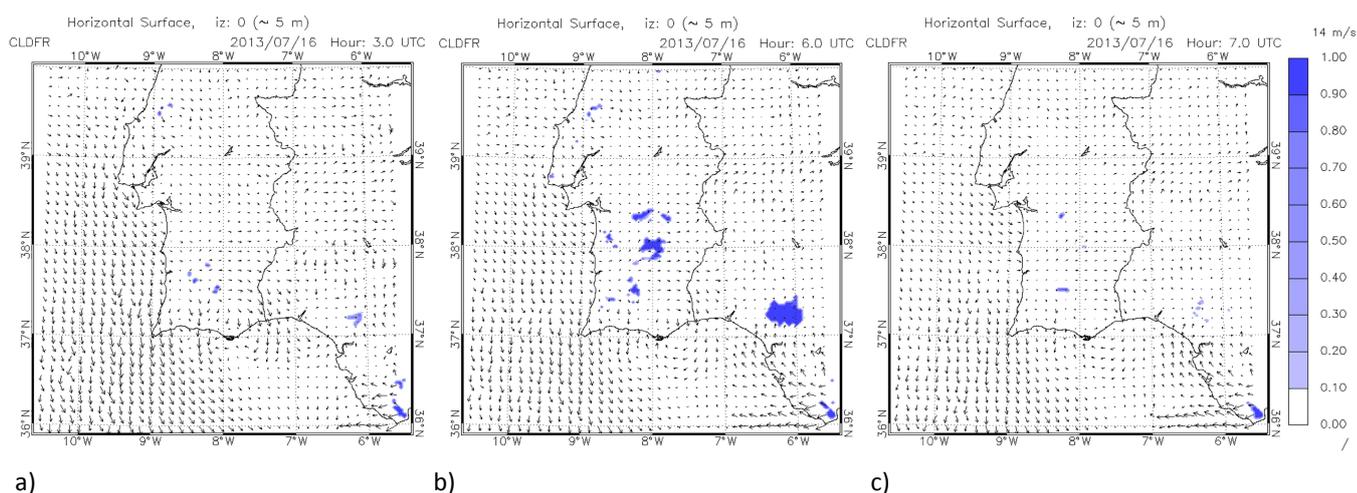


**Figura 4.44** - Simulação da Altura do Topo das Nuvens às 21:00, 06:00 e 10:00 UTC (todas no ANEXO 4.2.N)

### Nevoeiro

Neste caso verifica-se o aparecimento de zonas relativamente pequenas com nevoeiro no Baixo Alentejo cerca das 03:00 UTC (ver figura 4.45 a)). Com o avançar da madrugada verifica-se que o nevoeiro ocupa zonas mais interiores, contudo com pequena dimensão (ver figura 4.45 b)). Com o aumento da radiação solar após o nascer-do-sol o nevoeiro dissipa rapidamente, persistindo ainda muito pontualmente em alguns locais às 07:00 UTC (ver figura 4.45 c)). Às 08:00 UTC já não existia qualquer zona com nevoeiro na região (ver anexo 4.2.O).

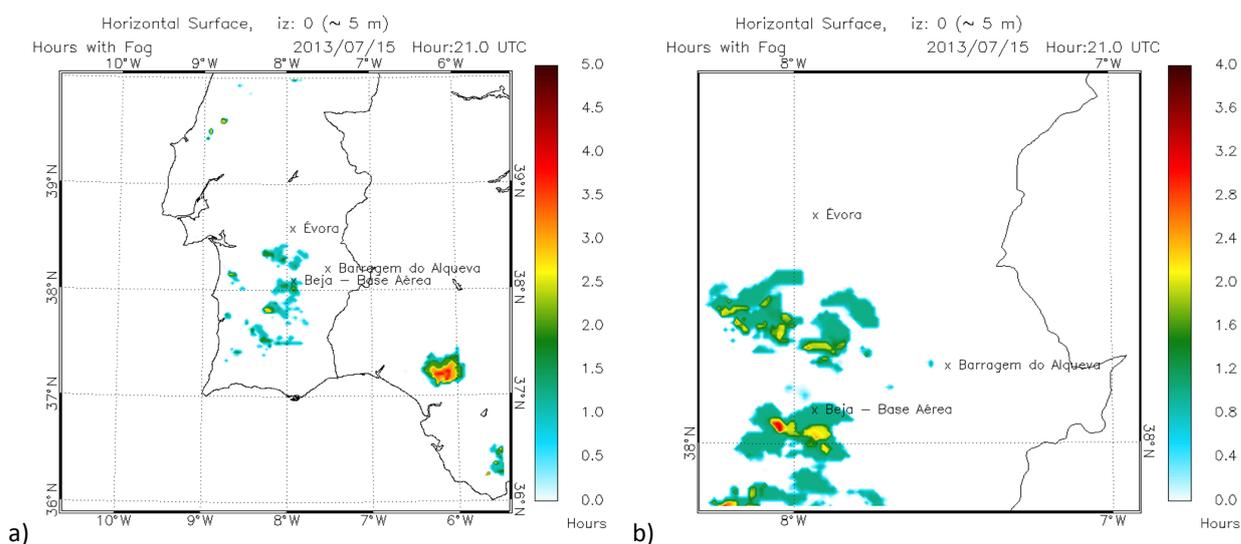
Na figura 4.45 é também apresentado o escoamento horizontal no nível mais baixo do modelo, onde se verifica que o escoamento predominante de Oeste regula o modo como o nevoeiro adquire a sua forma, ficando este sobretudo instalado nas vertentes barlavento das elevações da região.



a) b) c)  
**Figura 4.45** - Simulação da Fração de Nuvens (Nevoeiro – escala de azuis) e Escoamento (vetores) a 5 m de altura às 03:00, 06:00 e 07:00 UTC no Domínio D1 (todas no ANEXO 4.2.O)

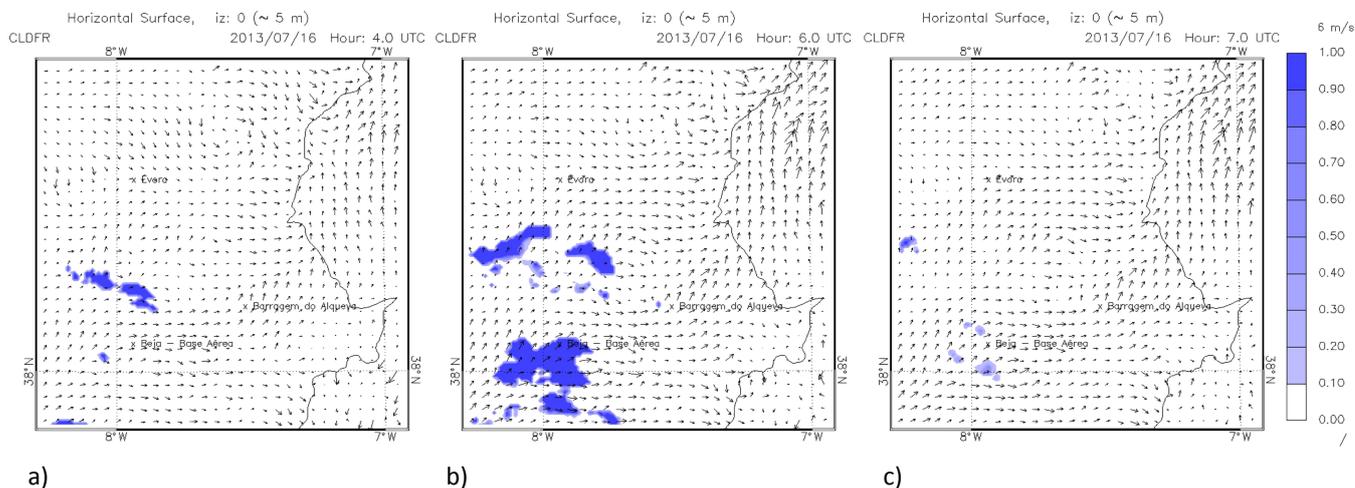
A figura 4.46 mostra a simulação do número de horas com nevoeiro em ambos os domínios. Verifica-se no Domínio D1 que a Sudoeste de Beja ocorreu em alguns locais cerca de 3 horas com nevoeiro, contudo de um modo geral as restantes zonas não excedem a 1 hora. No Domínio D2 há a realçar a zona a Su-sudoeste da Base Aérea de Beja com mais de 2 horas de Nevoeiro e ainda, junto à Serra do Mendro com alguns locais com cerca de 2 horas com nevoeiro. Neste caso, apesar da advecção bastante presente, parece também existir a presença do fator orografia na formação do nevoeiro na região. Na Base Aérea de Beja ocorreu cerca de 1 hora com nevoeiro (ver figura 4.46 b)).

Neste caso verifica-se que por bloqueio orográfico o nevoeiro não chega à região da Albufeira do Alqueva, sobretudo, devido à influência das Serras do Mendro e Portel.



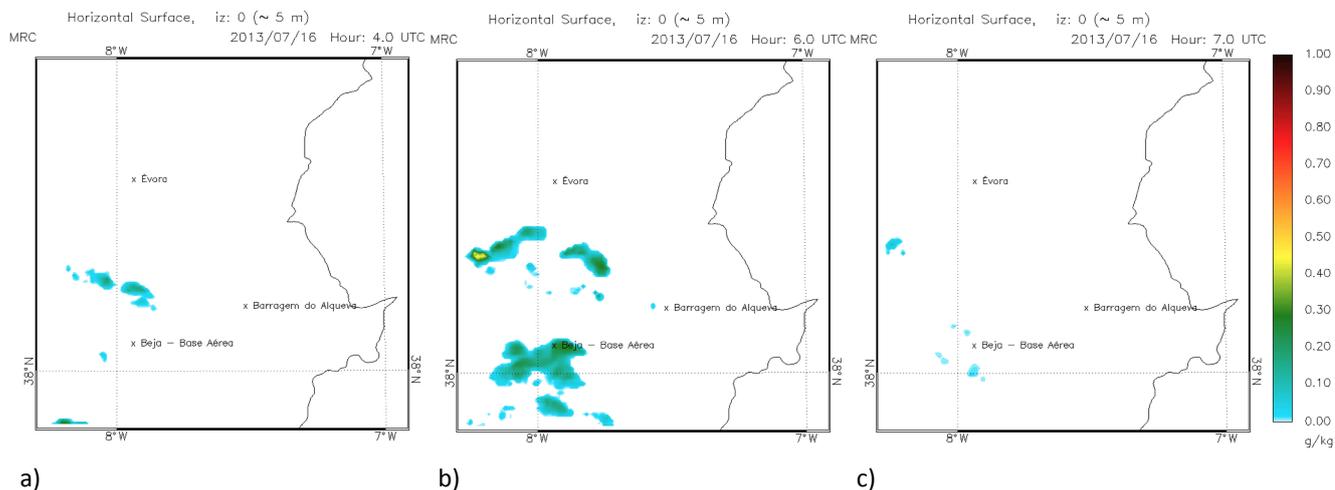
a) b)  
**Figura 4.46** - Simulação do “Número de Horas com Nevoeiro” nos dois Domínios, entre as 21:00 e as 12:00 UTC.

Na figura 4.47 destaca-se o bloqueio das elevações da região que delimitam as zonas com nevoeiro, nomeadamente, a colina encimada pela cidade de Beja e a Serra do Mendro. Verifica-se contudo que, apesar da advecção de ar húmido proveniente do Oceano Atlântico, as albufeiras da região também terão alguma influencia neste evento, nomeadamente as Albufeiras do Roxo, Pisão (perto de Beja), Odivelas e Albergaria dos Fusos (perto de Alvito).



a) b) c)  
**Figura 4.47** - Simulação da Fração de Nuvens (Nevoeiro – escala de azuis) e escoamento (vetores) a 5 m de altura às 04:00, 06:00 e 07:00 UTC no Domínio D2.

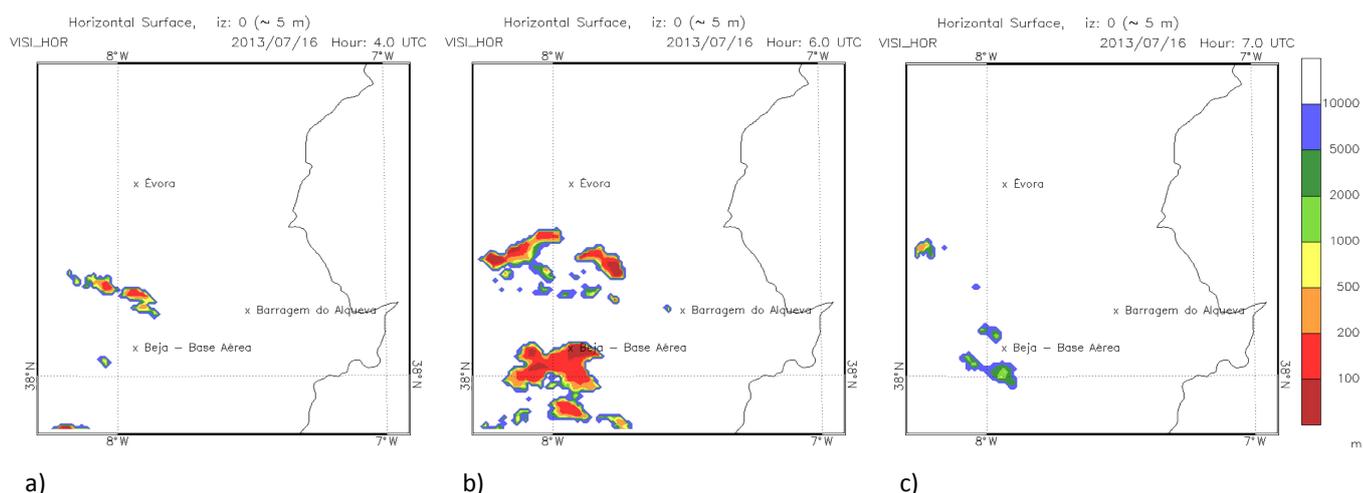
Na figura 4.48 são apresentados dados referentes à razão de mistura da água líquida para as mesmas horas da figura anterior, onde se verifica existirem valores relativamente pequenos quando comparados com os casos anteriores de inverno.



a) b) c)  
**Figura 4.48** - Simulação da razão de mistura da água líquida às 04:00, 06:00 e 07:00 UTC em D2.

### Visibilidade Horizontal

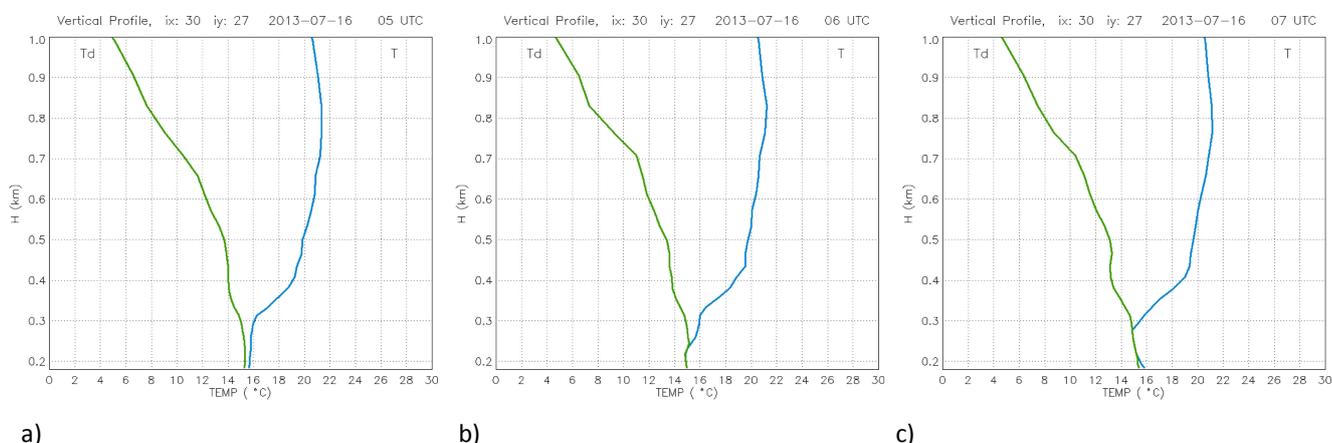
Através da análise dos dados da figura 4.49 podem ser observadas as zonas com diferentes valores de visibilidade horizontal, sendo de salientar as zonas da Base Aérea de Beja às 06:00 UTC (ver figura 4.49 b)) com visibilidades calculadas inferiores a 100 m.



a) b) c)  
**Figura 4.49** - Simulação da visibilidade horizontal às 04:00, 06:00 e 07:00 UTC em D2.

### Perfis Verticais da Temperatura do Ar e da Temperatura do Ponto de Orvalho

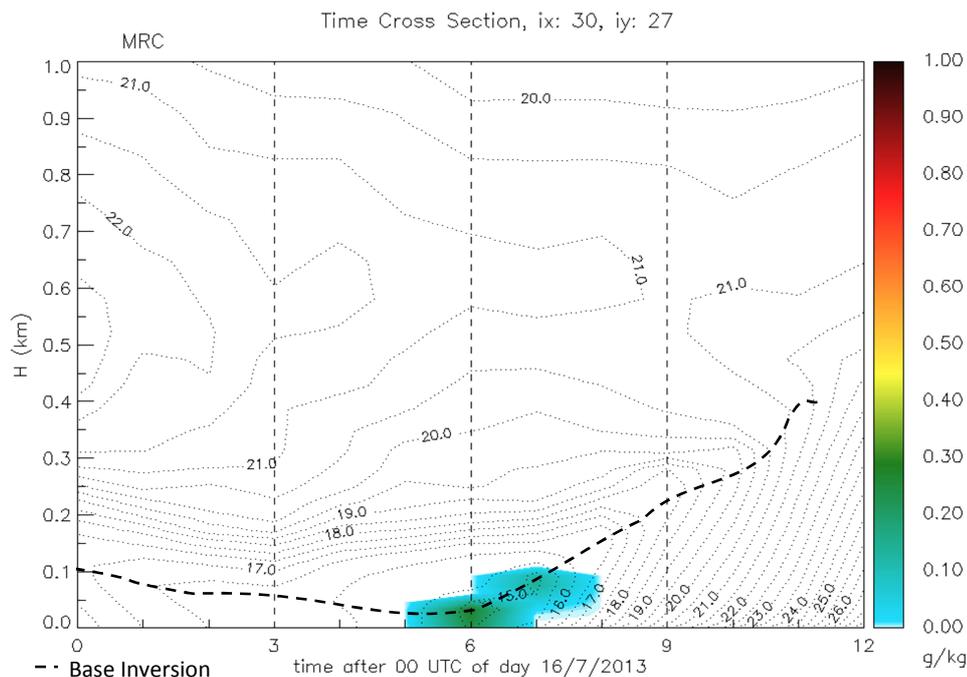
Os perfis verticais das temperaturas do ar e do ponto de orvalho a diferentes horas revelam a formação e evolução do nevoeiro na Base Aérea de Beja. Verifica-se a existência de um perfil típico de nevoeiro de advecção, onde se identifica bem a base da inversão térmica elevada acima dos 100 m de altura (ver figura 4.50 a)). Este é um episódio de curta duração, onde se verifica a persistência de nuvens baixas, com a base abaixo dos 50 m de altura durante duas horas, após a dissipação do nevoeiro.



a) b) c)  
**Figura 4.50** - Perfis Verticais simulados da Temperatura do Ar e da Temperatura do Ponto de Orvalho desde a superfície até 1000 m de Altitude para o Ponto de “Beja – Base Aérea” (todas no ANEXO 4.2.P).

### Evolução Local do Nevoeiro (Beja-Base Aérea)

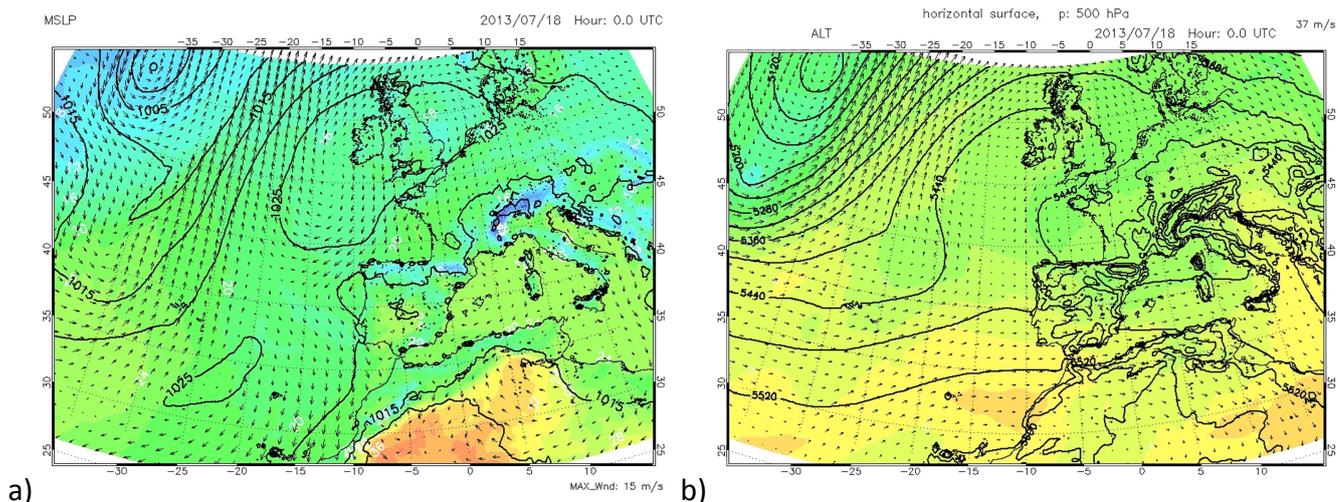
Segundo a simulação, na Base Aérea de Beja o nevoeiro ocorreu entre as 05:00 e as 07:00 UTC, verificando-se existir uma inversão térmica elevada que gradualmente vai baixando em altura até à formação do nevoeiro sem nunca atingir o solo. Com a dissipação do nevoeiro rapidamente ela é elevada pelo aquecimento à superfície, desaparecendo por completo cerca das 11:00 UTC. Verifica-se não haver a persistência das nuvens baixas (estratos) após a dissipação do nevoeiro.



**Figura 4.51** - Simulação da evolução temporal (00 às 12 UTC) da temperatura do ar (linhas) e razão de mistura da água líquida (escala de cores) em altura (0 - 1 km) para o Ponto de “Beja – Base Aérea”. A linha a tracejado representa a Base da Inversão Térmica.

#### 4.2.5 – Caso V - 2013/07/18

A situação sinóptica às 00:00 UTC do dia 2013/07/18 é muito semelhante à do dia 23/07/16, existindo apenas a diferença de a Crista Anticiclónica em altitude se estender agora sobre as Ilhas Britânicas.



**Figura 4.52** - Situação sinóptica às 00:00UTC do dia 2012/12/23. a) Superfície (MSLP & T2m); b) Altitude (H500 & T500)

## Nebulosidade

Apesar de semelhante à situação do 16 de julho, destaca-se contudo, que a ocupação das nuvens baixas e potencialmente do nevoeiro foi mais generalizada, ocupando inclusive toda a região do Norte do Alentejo e a persistência do nevoeiro e nuvens baixas foi também maior, ficando cerca das 12:00 UTC todo o Alentejo livre de nebulosidade (ver figura 4.53).



a) FOG RGB

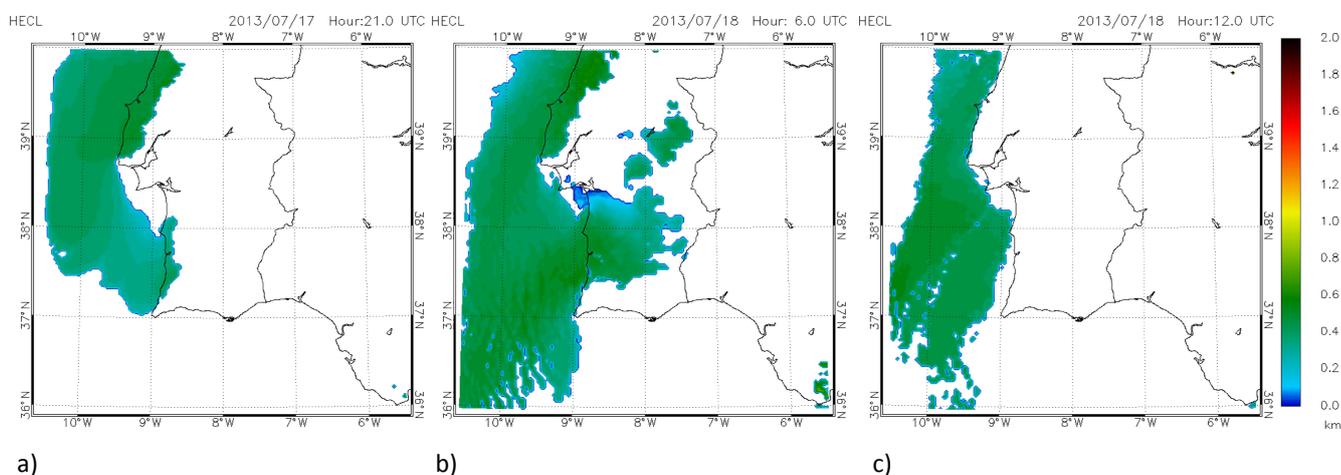
b) NATURAL

c) NATURAL RGB

**Figura 4.53** - Sequência de Imagens de Satélite às 21:12, 06:12 e 12:12 UTC (todas no ANEXO 4.2.Q).

Dos dados da altura do topo das nuvens simulados (ver figura 4.54) verifica-se o aparecimento de nebulosidade baixa junto à costa logo às 21:00 UTC (ver figura 4.54 a)), alastrando a sua ocupação a grande parte da região, em especial do Baixo Alentejo com o avançar da noite e madrugada. Após o nascer-do-sol e com o aumento da radiação solar esta nebulosidade vai dissipando, estando às 12:00 UTC toda a região praticamente sem nuvens.

Desta análise pode ser estabelecida uma relação de alguma semelhança entre a simulação da nebulosidade para este caso e a sua observação por satélite (ver anexos 4.1.Q e 4.1.R), verificando-se uma subestimação na nebulosidade, nomeadamente, nas regiões do Norte do Alentejo e Vale do Tejo. Este facto pode ser explicado com a dimensão do Domínio 1 não ser tão abrangente que consiga representar o transporte da nebulosidade vinda do Litoral Oeste que se observa nas imagens de satélite.



a)

b)

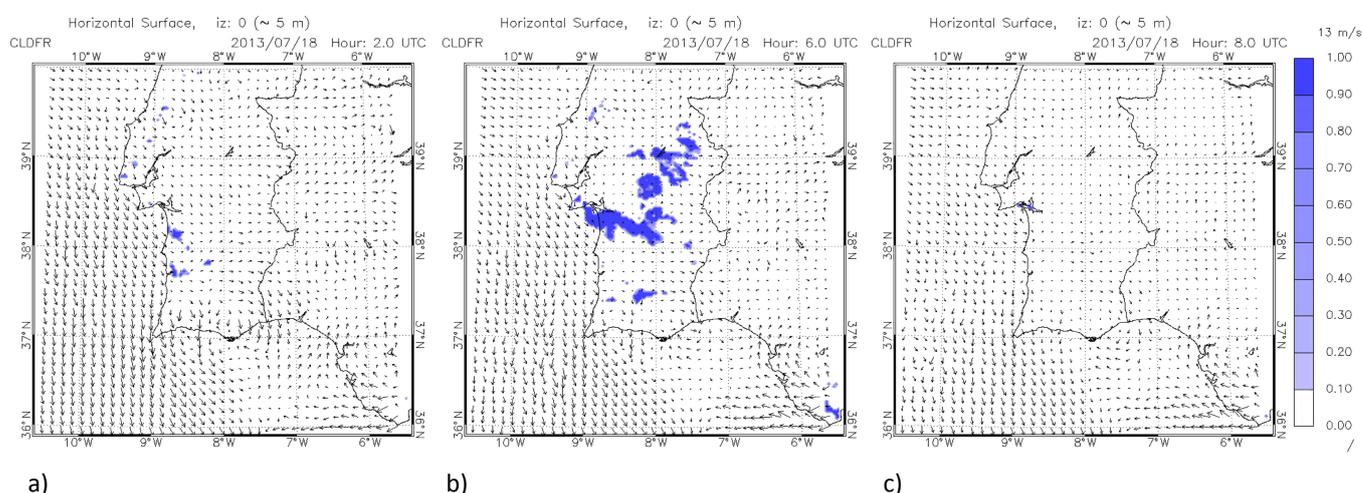
c)

**Figura 4.54** - Simulação da Altura do Topo das Nuvens às 21:00, 06:00 e 12:00 UTC (todas no ANEXO 4.2.R)

## Nevoeiro

Neste caso verifica-se o aparecimento de zonas relativamente pequenas com nevoeiro no Baixo Alentejo cerca das 02:00 UTC (ver figura 4.55 a)). Com o avançar da madrugada verifica-se que o nevoeiro ocupa zonas mais interiores, contudo ainda com pequena dimensão (ver figura 4.55 b)). Com o aumento da radiação solar após o nascer-do-sol o nevoeiro dissipa rapidamente, persistindo ainda às 08:00 UTC junto à foz do Rio Sado (ver figura 4.55 c)). Às 09:00 UTC já não existia qualquer zona com nevoeiro na região (ver anexo 4.2.S).

Na figura 4.55 é também apresentado o escoamento horizontal no nível mais baixo do modelo, onde se verifica que o escoamento predominante de Oeste regula o modo como o nevoeiro adquire a sua forma, ficando este sobretudo instalado nas vertentes barlavento das elevações da região.

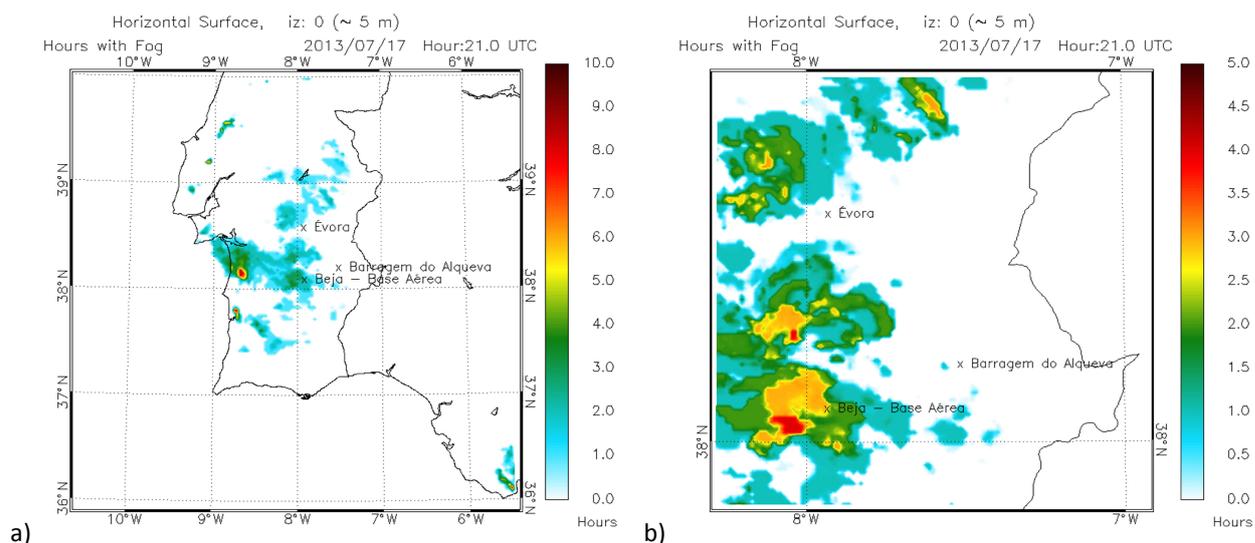


**Figura 4.55** - Simulação da Fração de Nuvens (Nevoeiro – escala de azuis) e Escoamento (vetores) a 5 m de altura às 02:00, 06:00 e 08:00 UTC no Domínio D1 (todas no ANEXO 4.2.S)

A figura 4.56 mostra a simulação do número de horas com nevoeiro em ambos os domínios. Verifica-se no Domínio D1 que junto à Serra de Grândola ocorreu em alguns locais mais de 8 horas com nevoeiro, contudo de um modo geral as restantes zonas não excedem as 3 horas. No Domínio D2 há a realçar a zona a Sudoeste da Base Aérea de Beja com mais de 4 horas de Nevoeiro e ainda, junto às Serras do Mendro, Monfurado e Ossa com alguns locais com cerca de 3 horas com nevoeiro. Mais uma vez se verifica que, apesar da advecção bastante presente, parece também existir a presença do fator orografia na formação do nevoeiro na região. Na Base Aérea de Beja ocorreu um período de cerca de 3 horas com nevoeiro (ver figura 4.56 b)).

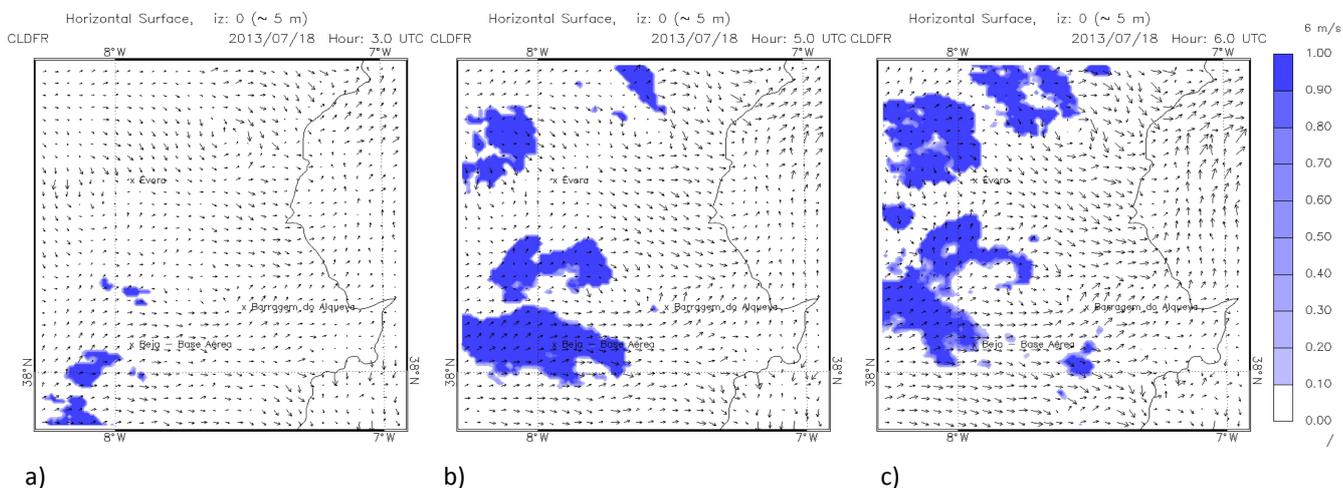
Neste caso verifica-se que por bloqueio orográfico o nevoeiro não chega à região da Albufeira do Alqueva, sobretudo, devido à influência das Serras do Mendro e Portel.

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS



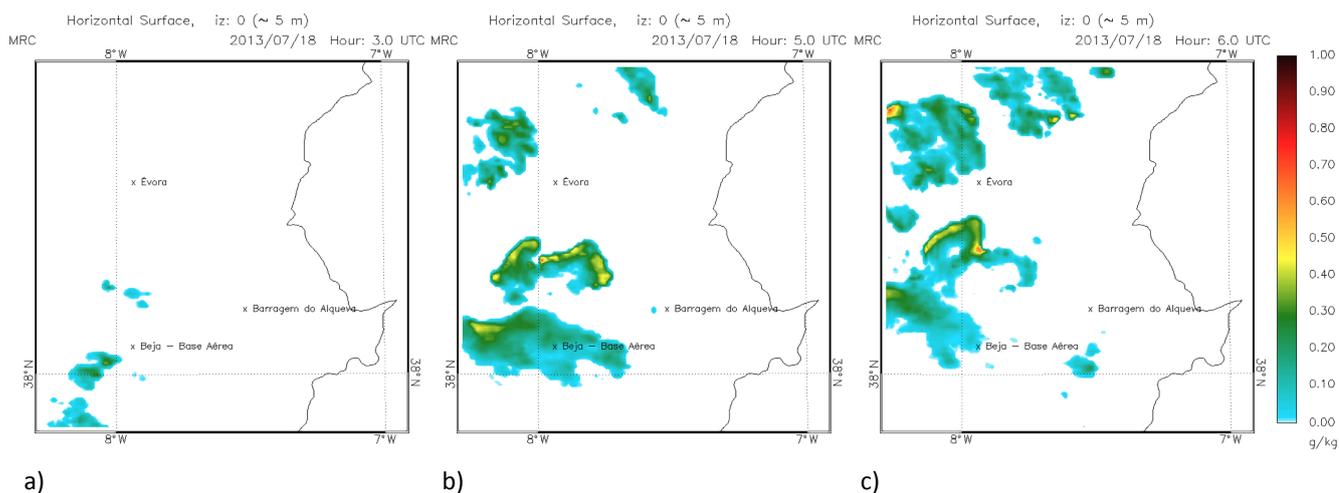
**Figura 4.56** - Simulação do “Número de Horas com Nevoeiro” nos dois Domínios, entre as 21:00 e as 12:00 UTC.

Na figura 4.57 salienta-se o bloqueio das elevações da região que delimitam as zonas com nevoeiro, nomeadamente, a colina encimada pela cidade de Beja e as Serras do Mendro, Monfurado e Ossa, bem como, na definição do escoamento à superfície. Verifica-se contudo que, apesar da advecção de ar húmido proveniente do Oceano Atlântico, as albufeiras da região também terão alguma influencia neste evento, nomeadamente as Albufeiras do Roxo, Pisão (perto de Beja), Odivelas e Albergaria dos Fusos (perto de Alvito).



**Figura 4.57** - Simulação da Fração de Nuvens (Nevoeiro – escala de azuis) e escoamento (vetores) a 5 m de altura às 03:00, 05:00 e 06:00 UTC no Domínio D2.

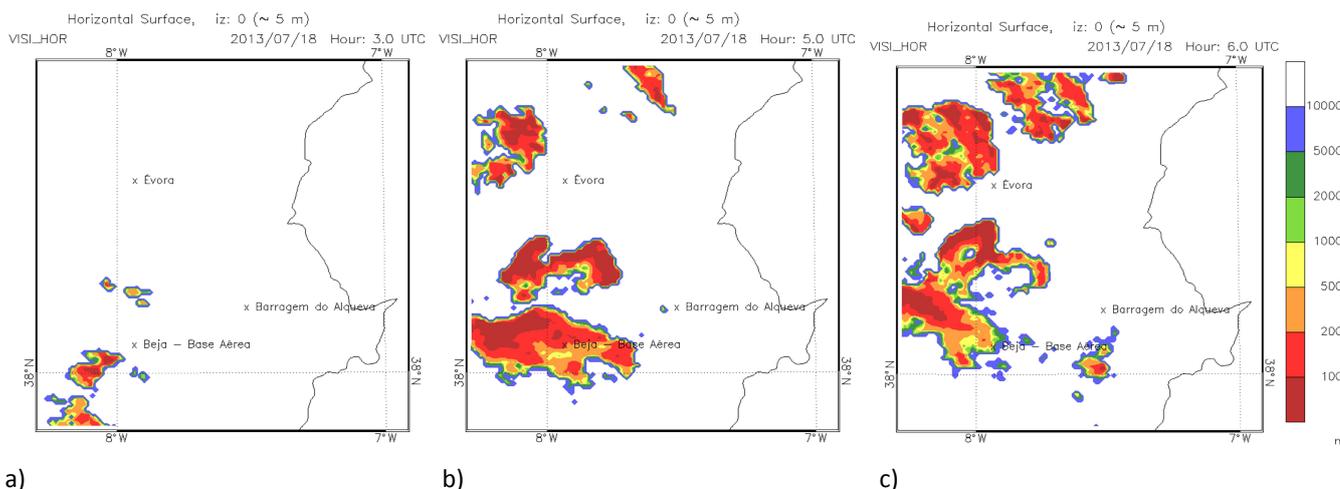
Na figura 4.58 são apresentados dados referentes à razão de mistura da água líquida para as mesmas horas da figura anterior, onde se verifica existirem valores relativamente pequenos quando comparados com os casos de inverno, contudo, verificam-se valores mais elevados junto às barragens de Odivelas e Albergaria dos Fusos.



a) b) c)  
**Figura 4.58** - Simulação da razão de mistura da água líquida às 03:00, 05:00 e 06:00 UTC em D2.

### Visibilidade Horizontal

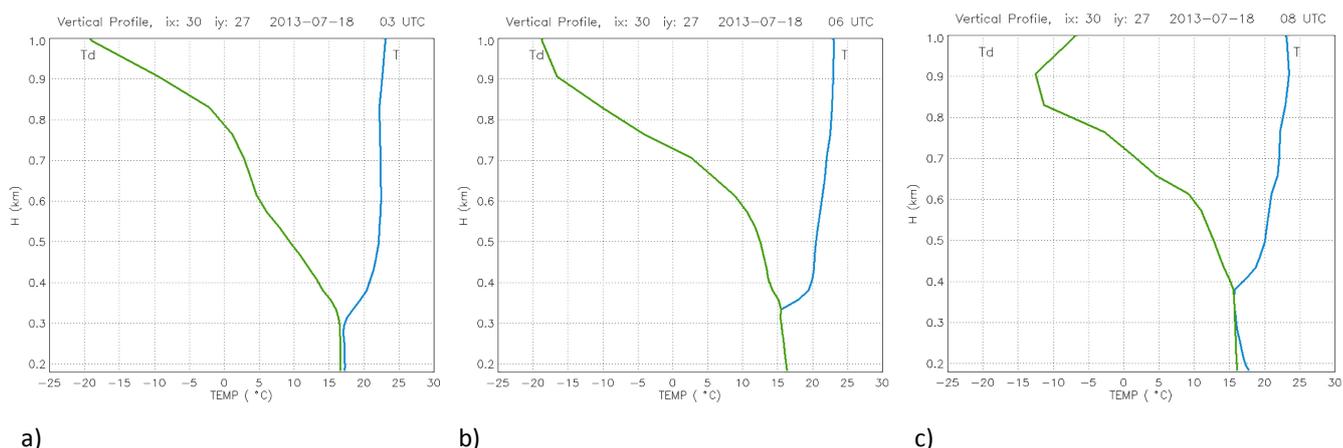
Através da análise dos dados da figura 4.59 podem ser observadas as zonas com diferentes valores de visibilidade horizontal, sendo de salientar as várias zonas com visibilidades bastante reduzidas em alguns locais da região abrangida por este domínio.



a) b) c)  
**Figura 4.59** - Simulação da visibilidade horizontal às 03:00, 05:00 e 06:00 UTC em D2.

### Perfis Verticais da Temperatura do ar e da Temperatura do Ponto de Orvalho

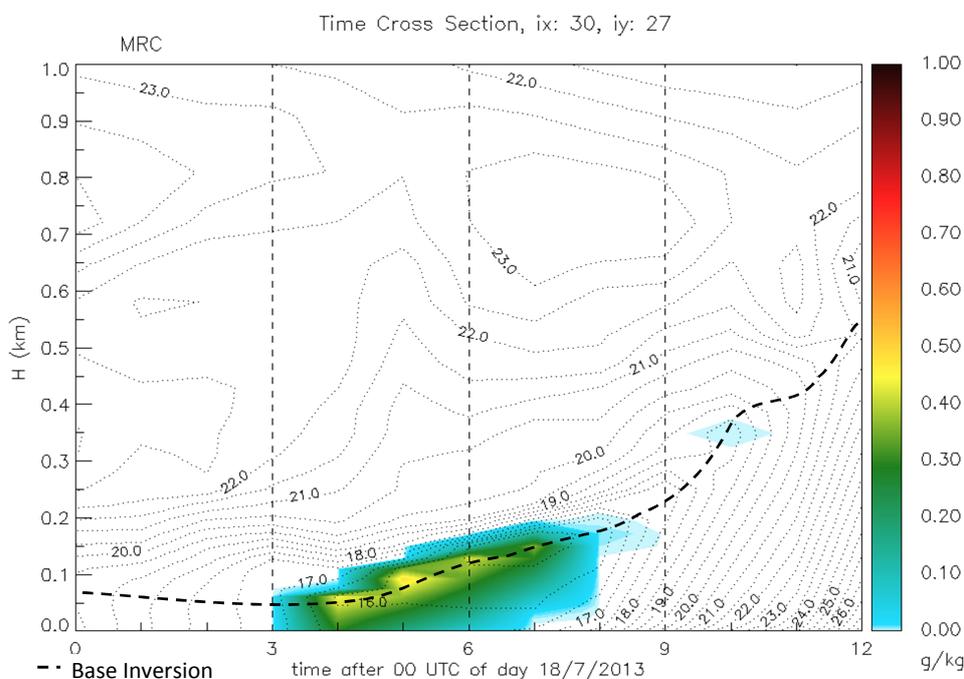
Os perfis verticais das temperaturas do ar e do ponto de orvalho a diferentes horas revelam a formação e evolução do nevoeiro na Base Aérea de Beja. Verifica-se a existência de um perfil típico de nevoeiro de advecção, onde se identifica bem a base da inversão térmica elevada acima dos 100 m de altura (ver figura 4.60 a)). Neste caso verifica-se a intensificação do nevoeiro durante a madrugada, até atingir uma espessura de cerca de 150 m às 06:00 UTC. Com a dissipação do nevoeiro persistem algumas nuvens baixas.



a) b) c)  
**Figura 4.60** - Perfis Verticais simulados da Temperatura do Ar e da Temperatura do Ponto de Orvalho desde a superfície até 1000 m de Altitude para o Ponto de “Beja – Base Aérea” às 03, 06 e 08 UTC (todas no ANEXO 4.2.T).

### Evolução Local do Nevoeiro (Beja-Base Aérea)

Segundo a simulação, na Base Aérea de Beja o nevoeiro ocorreu entre as 03:00 e as 07:00 UTC, verificando-se existir uma inversão térmica elevada que gradualmente vai baixando em altura até à formação do nevoeiro sem contudo, nunca atingir o solo. Com a evolução do nevoeiro verifica-se a sua elevação com o aumento da espessura do nevoeiro. Com a sua dissipação verifica-se haver a persistência das nuvens baixas (estratos) durante algumas horas.

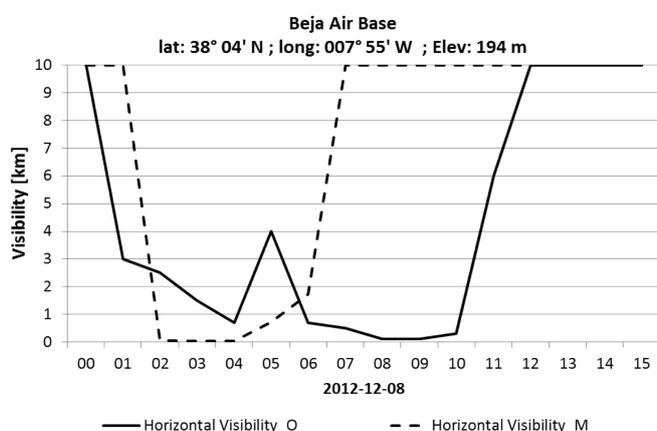


**Figura 4.61** - Simulação da evolução temporal (00 às 12 UTC) da temperatura do ar (linhas) e razão de mistura da água líquida (escala de cores) em altura (0 - 1 km) para o Ponto de “Beja – Base Aérea”. A linha a tracejado representa a Base da Inversão Térmica.

#### 4.2.6 – Comparação entre Observações e as Simulações (Beja-Base Aérea)

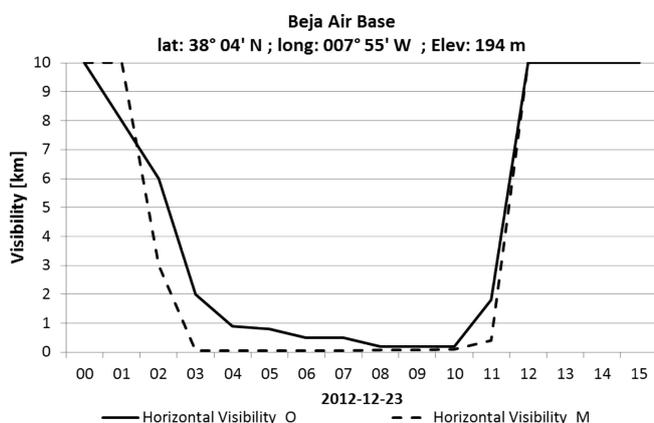
Da comparação entre os dados horários observados na Base Aérea de Beja e os dados simulados tendo como condições iniciais e fronteira as análises operacionais do ECMWF, verifica-se uma semelhança satisfatória dos vários parâmetros comparados: direção e velocidade do vento a 10 m; temperatura do ar e humidade relativa a 2m, e a visibilidade horizontal; nos casos seleccionados para o ponto do modelo correspondente à Base Aérea de Beja (ver anexo 4.2.U).

No Caso I (2012/12/08) o nevoeiro foi representado pela simulação com algumas limitações, tendo-se verificado a antecipação da sua dissipação (ver figura 4.62). Há contudo a referir que na vizinhança da Base Aérea de Beja o nevoeiro persistiu consideravelmente durante mais tempo.



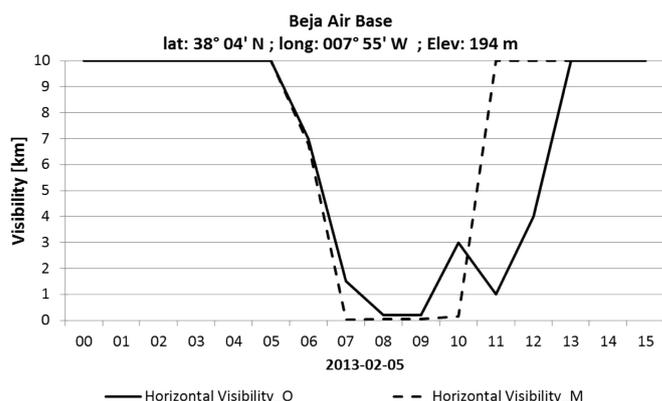
**Figura 4.62** - Comparação entre os dados de visibilidade horizontal observados e simulados para a Base Aérea de Beja no dia 2012/12/08.

No Caso II (2012/12/23) verificou-se uma muito boa representação do nevoeiro, tanto na sua formação, evolução, quer na sua dissipação, tendo-se verificado uma considerável semelhança entre os vários parâmetros, sendo de salientar a visibilidade horizontal (ver figura 4.63).



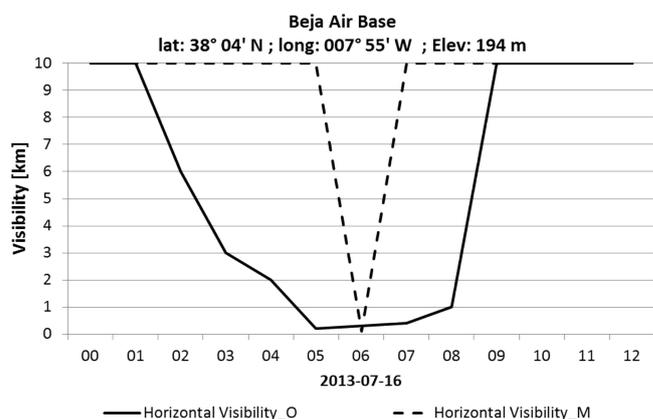
**Figura 4.63** - Comparação entre os dados de visibilidade horizontal observados e simulados para a Base Aérea de Beja no dia 2012/12/23.

No Caso III (2013/02/05) o nevoeiro foi bem representado, sendo apenas de salientar uma ligeira antecipação na dissipação do nevoeiro (ver figura 4.64).



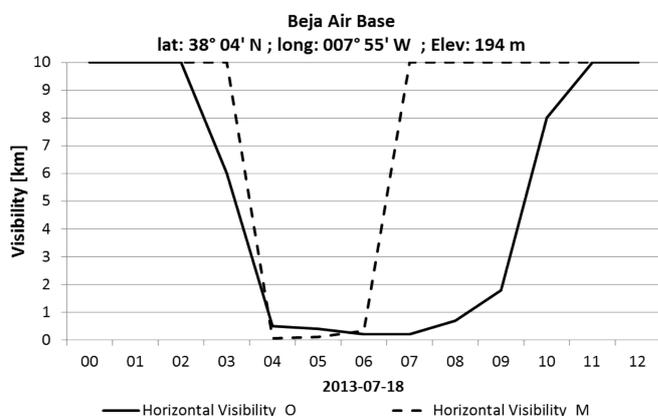
**Figura 4.64** - Comparação entre os dados de visibilidade horizontal observados e simulados para a Base Aérea de Beja no dia 2013/02/05.

No Caso IV (2013/07/16) verificou-se uma subestimação considerável na representação do nevoeiro, tendo apenas ocorrido 1 hora de nevoeiro na simulação deste evento em comparação com as mais de 4 horas observadas (ver figura 4.65).



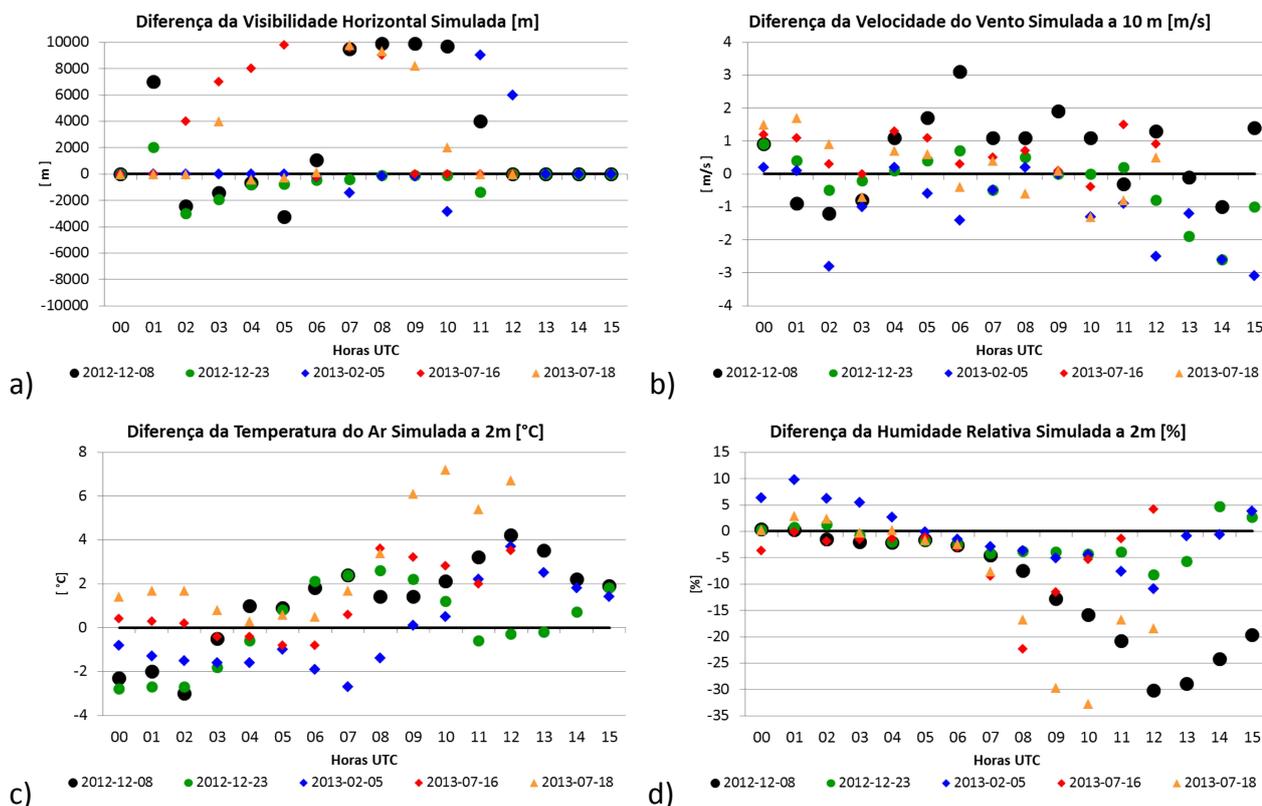
**Figura 4.65** - Comparação entre os dados de visibilidade horizontal observados e simulados para a Base Aérea de Beja no dia 2013/07/16.

No Caso V (2013/07/18) a formação do nevoeiro foi bem representada, contudo verificou-se a antecipação da sua dissipação em cerca de 2 horas (ver figura 4.66).



**Figura 4.66** - Comparação entre os dados de visibilidade horizontal observados e simulados para a Base Aérea de Beja no dia 2013/07/16.

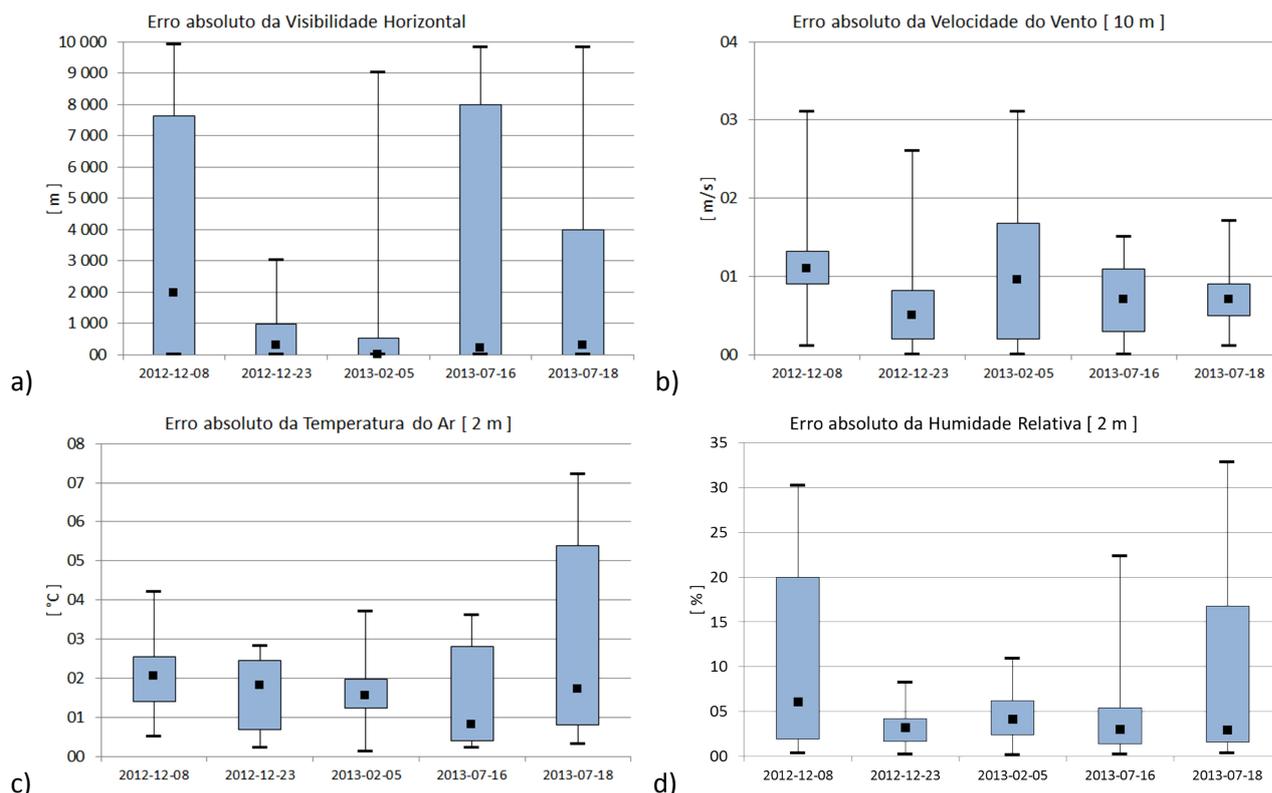
Em seguida são apresentados na figura 4.67, dados relativos às diferenças entre os dados horários observados na estação meteorológica de Beja-Base Aérea para os diferentes Casos de Estudo e os dados horários simulados para o ponto mais próximo desse local. Esta comparação destinou-se a averiguar de que forma as simulações se desviaram dos valores obtidos por observação no local.



**Figura 4.67** - Gráficos com diferenças de várias variáveis em relação aos dados horários observados para os vários Casos de Estudo

Verifica-se da interpretação dos diferentes gráficos da figura 4.67 que o Caso que apresentou melhores resultados foi o de 2012/12/23, onde se pode identificar perfeitamente os desvios menos acentuados em todas as variáveis para este Caso, sobretudo na Visibilidade Horizontal e Humidade Relativa. Os restantes casos revelaram algumas diferenças consideráveis, sendo mais evidentes em termos de Visibilidade Horizontal, nos Casos de 2012/12/08 e 2013/07/16.

Na figura 4.68 são apresentados gráficos referentes ao erro absoluto de várias variáveis para os diferentes casos de estudo, da comparação entre os dados do ponto mais próximo do modelo e as observações da estação meteorológica da Base Aérea de Beja. Nestes gráficos estão representados o valor mais baixo, o valor mais alto, o valor mediano e os 1º e 3º Quartis.



**Figura 4.68** - Gráficos de erro absoluto de várias variáveis, para os vários Casos de Estudo

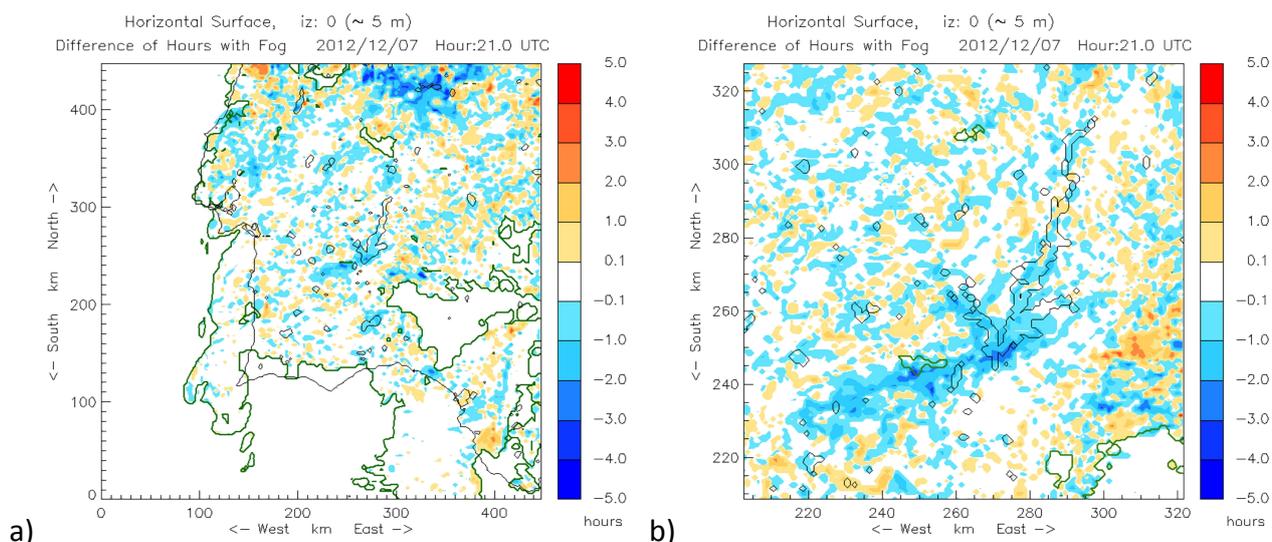
Da análise dos gráficos da figura 4.68 pode-se inferir que a simulação do caso de 2012/12/23 foi a que apresentou melhores resultados em todas as variáveis, nomeadamente a visibilidade horizontal onde se obteve um resultado bastante satisfatório em comparação com as observações efetuadas nesse dia. De um modo geral os restantes casos também apresentaram resultados razoáveis, sendo de destacar o caso de 2013/02/05, que apesar da sua boa representação em termos de visibilidade horizontal, verificam-se maiores diferenças em termos de direção e velocidade do vento.

#### 4.2.7 – Influência da Albufeira do Alqueva

Para análise da influência da albufeira do Alqueva foram efetuadas simulações com e sem Alqueva (e outros pequenos lagos da região), para os casos de estudo considerados neste trabalho, sendo em seguida obtidos campos de diferenças entre os dados de ambas as simulações, recorrendo à aplicação IDL.

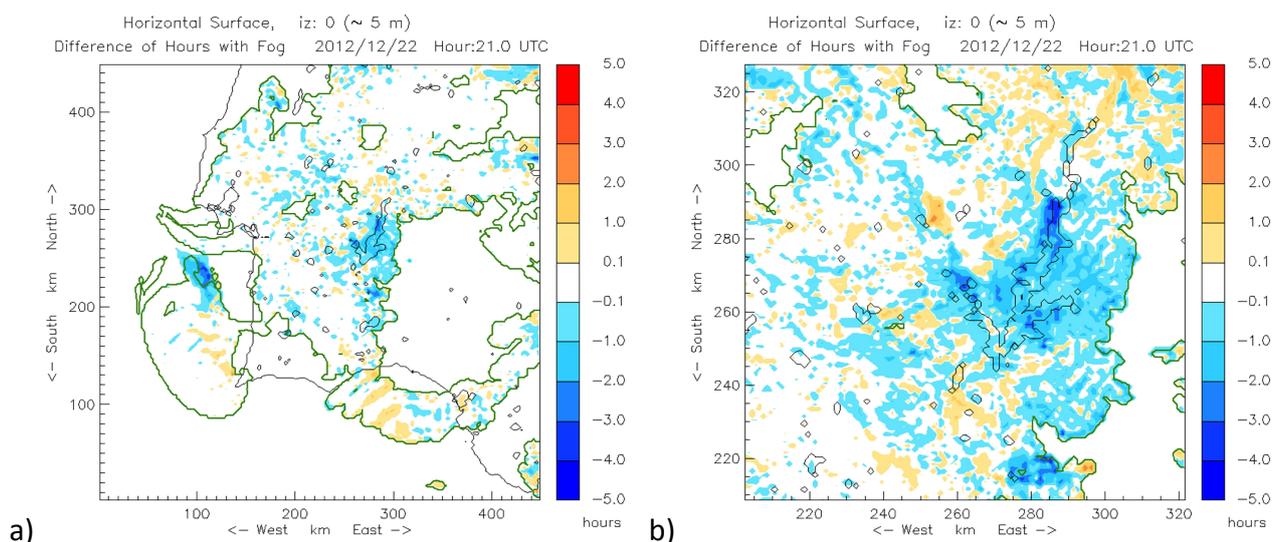
No Caso I, referente ao dia 2012/12/08, não existem diferenças significativas na ocupação do nevoeiro na região do Alentejo. Verificaram-se contudo, diferenças negativas sobre a Albufeira do Alqueva o que sugere que a sua presença inibiu a formação do nevoeiro sobre esta, devido às temperaturas serem amenizadas pela presença de uma superfície aquática mais quente. Isto é evidente na diferença entre o número de horas com nevoeiro simuladas com e sem Alqueva em ambos os Domínios (ver figura 4.69). Há sobretudo a mencionar o facto de que sobre a albufeira e a jusante do escoamento (a Sudoeste) existe

uma diferença negativa de 2 a 3 horas.



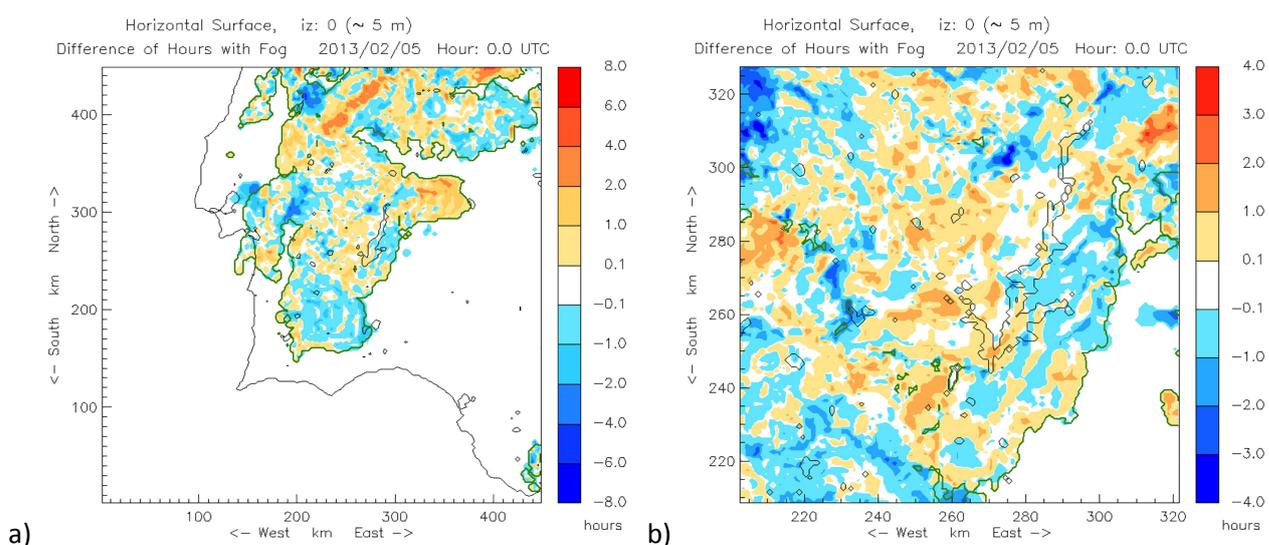
**Figura 4.69** - Diferença do “número de horas com Nevoeiro” entre as simulações com e sem Alqueva entre as 21:00 e as 15:00 UTC nos dois Domínios. Limites da ocupação do nevoeiro com Alqueva (linha verde), escala de cores (Alqueva-Original).

Os resultados das simulações, para o Caso II (2012.12-23) indicaram que não existem grandes diferenças na distribuição do nevoeiro na região do Alentejo, tendo-se verificado pontualmente, diferenças negativas sobre a Albufeira do Alqueva, sugerindo tal como no Caso I, que a sua presença inibiu a formação do nevoeiro sobre a água, devido às temperaturas mais elevadas da superfície aquática. Tal verificou-se sobretudo nos locais mais a Norte da Albufeira (ver figura 4.70).



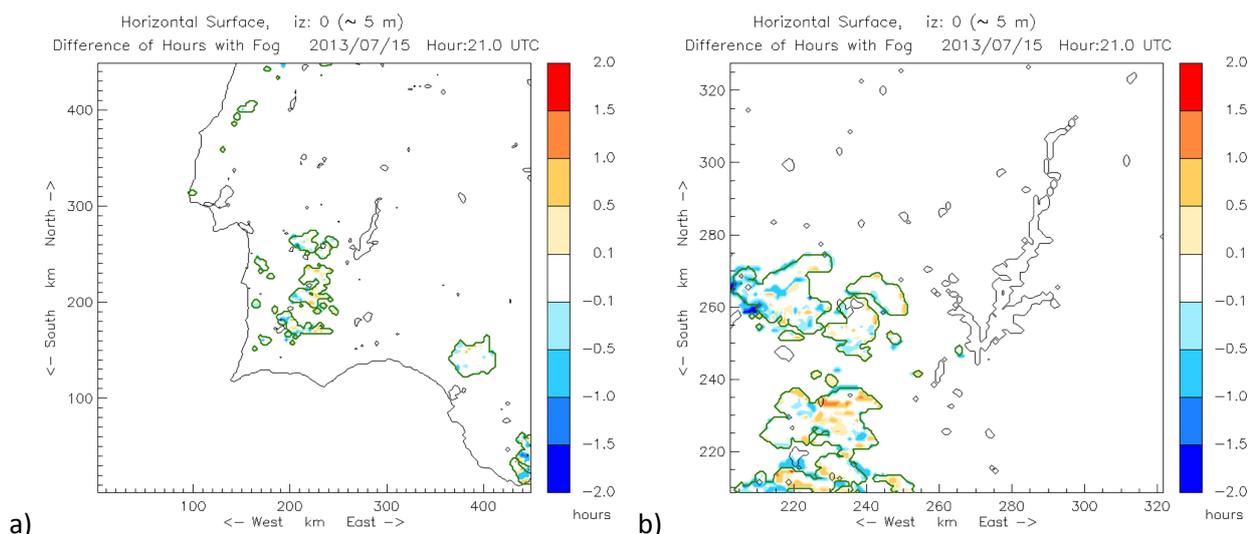
**Figura 4.70** - Diferença do “número de horas com Nevoeiro” entre as simulações com e sem Alqueva entre as 21:00 e as 15:00 UTC nos dois Domínios. Limites da ocupação do nevoeiro com Alqueva (linha verde), escala de cores (Alqueva-Original).

No Caso III (2013/02/05) há sobretudo a referir que sobre a albufeira, nomeadamente nos locais mais a Sul, existiu uma diferença positiva de 1 a 2 horas, sugerindo neste caso que a albufeira efetivamente teve um manifesto impacto positivo local, tendo também ocorrido diferenças positivas nos locais a Sudoeste da Barragem, sugerindo que o vapor de água originado pela albufeira possa ter sido advectado para essas zonas e ter assim aumentado a persistência do fenómeno. Estas diferenças positivas podem estar relacionadas com o facto de o escoamento ter sido menos intenso, quando comparado com o dos dois casos anteriores e ainda, devido a terem sido atingidas temperaturas mais baixas, o que favorece a condensação do vapor de água disponível (ver figura 4.71).

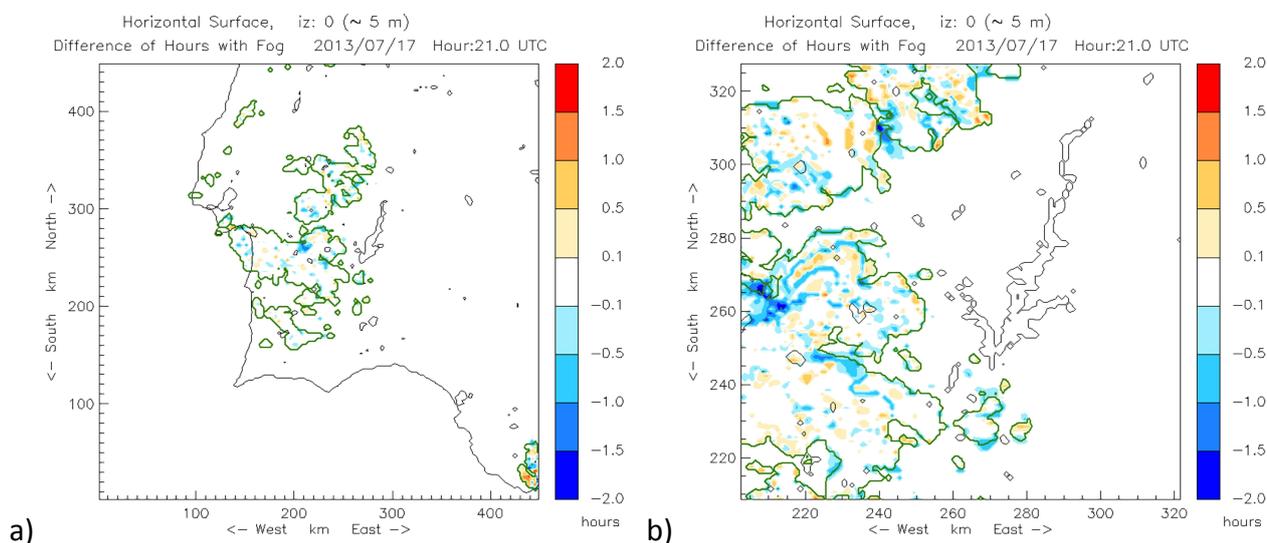


**Figura 4.71** - Diferença do “número de horas com Nevoeiro” entre as simulações com e sem Alqueva entre as 21:00 e as 15:00 UTC nos dois Domínios. Limites da ocupação do nevoeiro com Alqueva (linha verde), escala de cores (Alqueva-Original).

Nos Casos IV e V (2013/07/16 e 18) não se verificaram diferenças relevantes entre as simulações com e sem Alqueva (ver figuras 4.72 e 4.73), tendo contudo, sido registadas diferenças positivas junto à Base Aérea de Beja no Caso IV, possivelmente em consequência da adição da Albufeira do Pisão (ver figura 1.7) na parametrização do modelo com Alqueva.



**Figura 4.72** - Diferença do “número de horas com Nevoeiro” entre as simulações com e sem Alqueva entre as 21:00 e as 15:00 UTC nos dois Domínios. Limites da ocupação do nevoeiro com Alqueva (linha verde), escala de cores (Alqueva-Original).

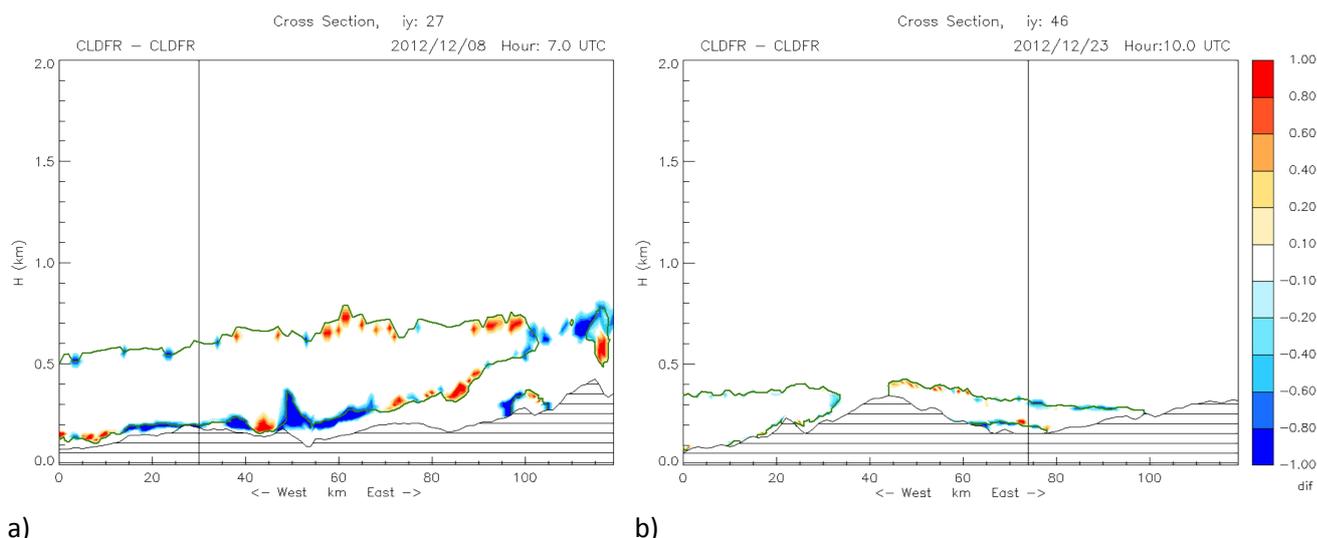


**Figura 4.73** - Diferença do “número de horas com Nevoeiro” entre as simulações com e sem Alqueva entre as 21:00 e as 15:00 UTC nos dois Domínios. Limites da ocupação do nevoeiro com Alqueva (linha verde), escala de cores (Alqueva-Original).

Com vista a compreender melhor qual a influência das alterações introduzidas com a adição das superfícies aquáticas no modelo digital ECOCLIMAP foram efetuadas algumas secções verticais, Oeste-Este e Sul-Norte entre os 0 e os 2000 m de Altitude, que passam sobre os pontos do modelo correspondentes à Base Aérea de Beja e à Albufeira de Alqueva, com as diferenças entre os dados simulados com e sem “Alqueva” (ver Anexo 4.2.V).

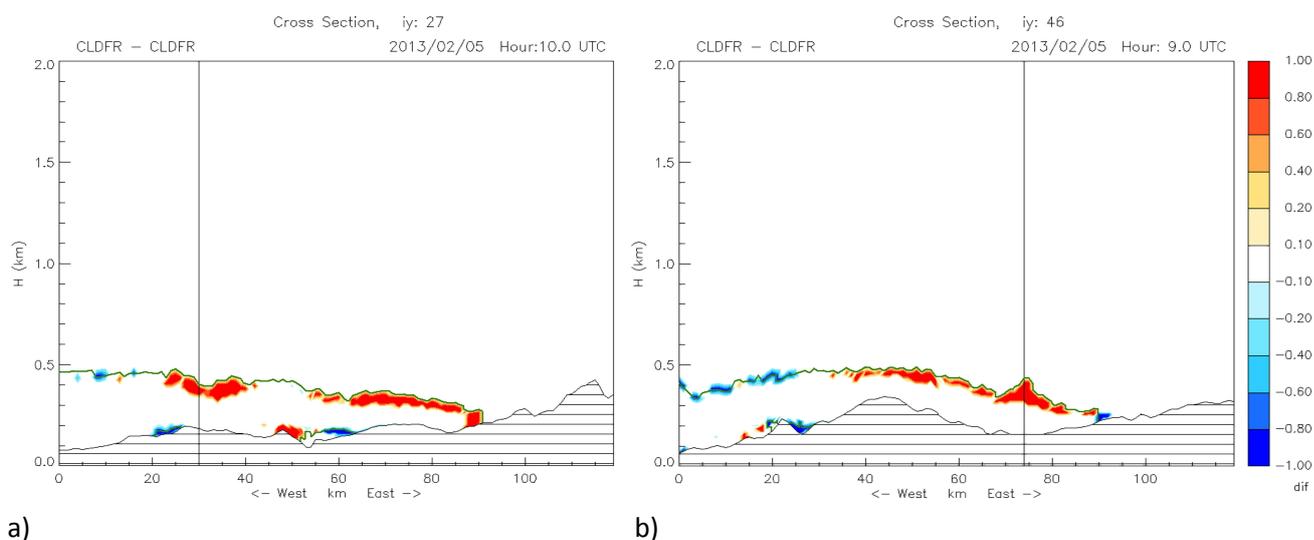
Através de observação visual pôde-se aferir que estas diferenças são pouco acentuadas nos Casos I e II, sendo de mencionar a sua pequena diferença negativa, sobretudo no caos I, junto à superfície na zona do vale do Rio Guadiana (ver figura 4.74).

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS



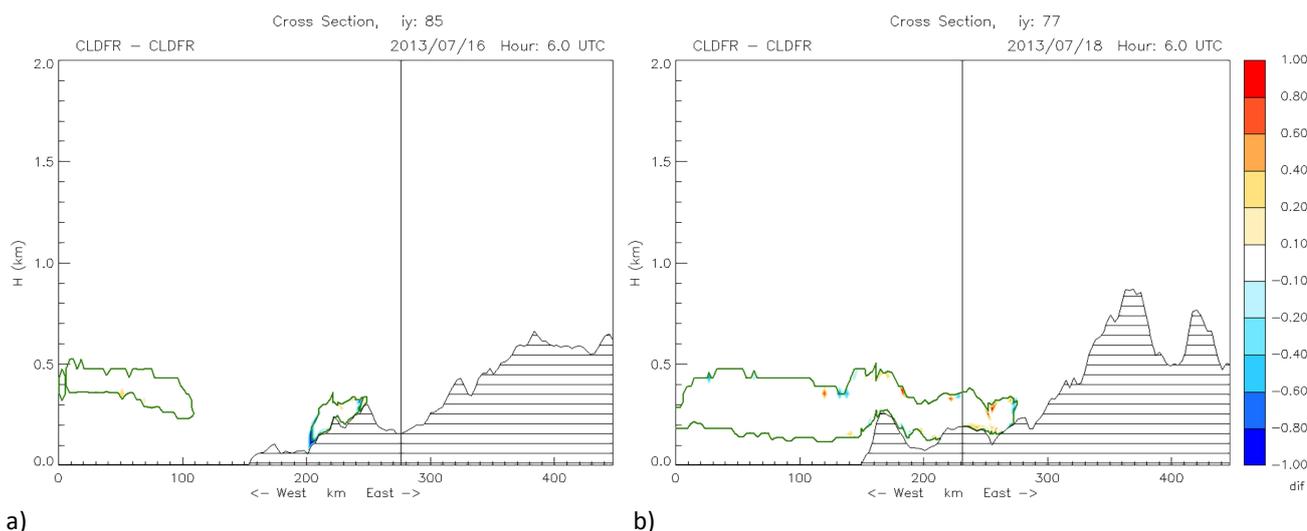
a) b)  
**Figura 4.74** - Secções verticais de sentido Oeste-Este do Domínio 2 que passam no ponto de “Beja-Base Aérea” às 07 UTC do dia 2012/12/08: a) e no ponto de “Alqueva” às 10 UTC do dia 2012/12/23: b); com a diferença de nebulosidade (CLDFR) entre as simulações com e sem Alqueva. Limites das nuvens (linha verde), diferença entre simulações (Alqueva-Original) escala de cores.

No caso III verificou-se uma maior espessura do nevoeiro, sobretudo na zona do vale do Guadiana e sua vizinhança (ver figura 4.75).



a) b)  
**Figura 4.75** - Secções verticais de sentido Oeste-Este do Domínio 2 que passam no ponto de “Beja-Base Aérea” às 10 UTC: a) e no ponto de “Alqueva” às 09 UTC: b) do dia 2013/02/05, com a diferença de nebulosidade (CLDFR) entre as simulações com e sem Alqueva. Limites das nuvens (linha verde), diferença entre simulações (Alqueva-Original) escala de cores.

Nos casos IV e V não são visíveis diferenças significativas, pois estes casos ocorreram no verão e a sua maior influência é oceânica, sendo por isso evidente que não existem influências significativas na formação de nevoeiro no verão na região do Alentejo devido à presença da albufeira do Alqueva (ver figura 4.76).



a) b)  
**Figura 4.76** - Secções verticais de sentido Oeste-Este do Domínio 1 que passam no ponto de “Alqueva” às 06 UTC do dia 2013/07/16: a) e no ponto de “Beja –Base Aérea” às 06 UTC do dia 2013/07/18: b), com a diferença de nebulosidade (CLDFR) entre as simulações com e sem Alqueva. Limites das nuvens (linha verde), diferença entre simulações (Alqueva-Original) escala de cores.

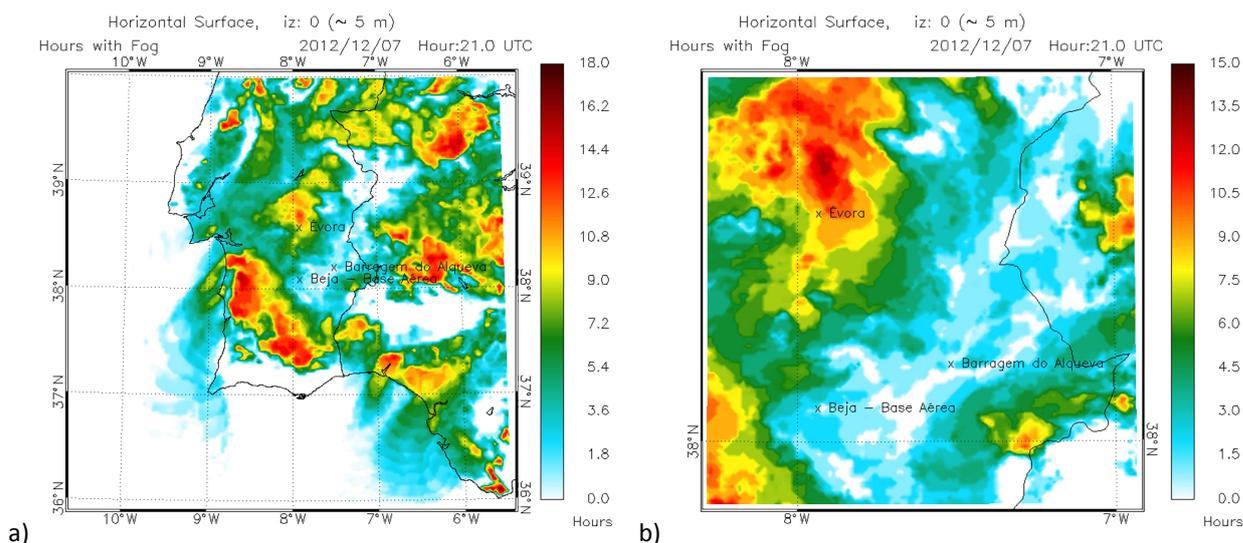
### 4.3 – Análise dos Resultados das Simulações em Modo de Previsão

Neste trabalho foram também efetuadas simulações tendo como condições iniciais e forçamentos laterais, dados de previsões operacionais do ECMWF do dia anterior aos eventos em estudo. Estas simulações tiveram como base os produtos gerados às 00:00 UTC do dia anterior.

Será em seguida feita uma breve análise aos resultados obtidos destas simulações que foram realizadas com as mesmas parametrizações utilizadas para simulações com base nas análises operacionais do ECMWF. Com este exercício pretende-se testar a capacidade de previsão de nevoeiros, utilizando um modelo de mesoscala a alta resolução (o Meso-NH) a correr sobre as previsões de um modelo de previsão do tempo de larga escala (o IFS - Integrated Forecast System do ECMWF).

#### 4.3.1 – Caso I - 2012/12/08

O número de horas com nevoeiro simulado para os dois domínios tendo como base as Previsões do ECMWF para o Caso I são apresentados na figura 4.77. Verifica-se no Domínio D1 que junto à Serra de Grândola houve zonas onde ocorreram mais de 15 horas de nevoeiro, sendo de realçar também as zonas das Serras do Caldeirão, Cercal e vale do Rio Sado, com mais de 12 horas de nevoeiro. No Domínio D2 há a realçar a zona a Norte de Évora com mais de 12 horas de Nevoeiro. Há que evidenciar o padrão com menos horas com nevoeiro no vale do Rio Guadiana, nomeadamente na zona da albufeira da Barragem do Alqueva, onde se verificou a existência de várias zonas com menos de 1 hora de nevoeiro. Na Base Aérea de Beja ocorreram cerca de 2 horas com nevoeiro.

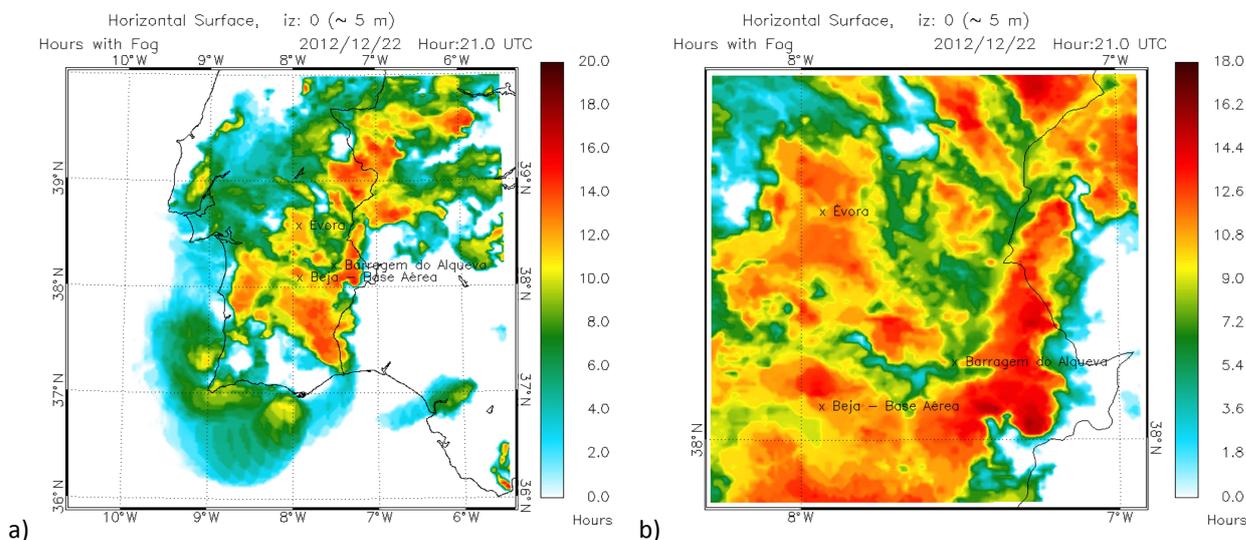


**Figura 4.77** - Simulação do “Número de Horas com Nevoeiro” nos dois Domínios, entre as 20:00 e as 15:00 UTC.

#### 4.3.2 – Caso II - 2012/12/23

Na figura 4.78 está representado o número de horas com nevoeiro em ambos os domínios. Verifica-se no Domínio D1 que junto à Serra do Cercal, na Bacia Hidrográfica do Guadiana a Sul da Serra do Mendro, nas zonas a Leste da Albufeira do Alqueva e a Sul da Serra de São Mamede, houve diversas zonas onde ocorreram mais de 12 horas de nevoeiro. No Domínio D2 há a destacar a zona a Sul da Barragem do Alqueva com vários locais com mais de 15 horas de Nevoeiro, tendo ocorrido na Base Aérea de Beja cerca de 12 horas com nevoeiro.

Neste caso verifica-se novamente que sobre a Albufeira do Alqueva existem várias zonas com menos horas de nevoeiro. Isto deve-se sobretudo ao escoamento que faz com que o vapor de água sobre o rio seja transportado para outras zonas.

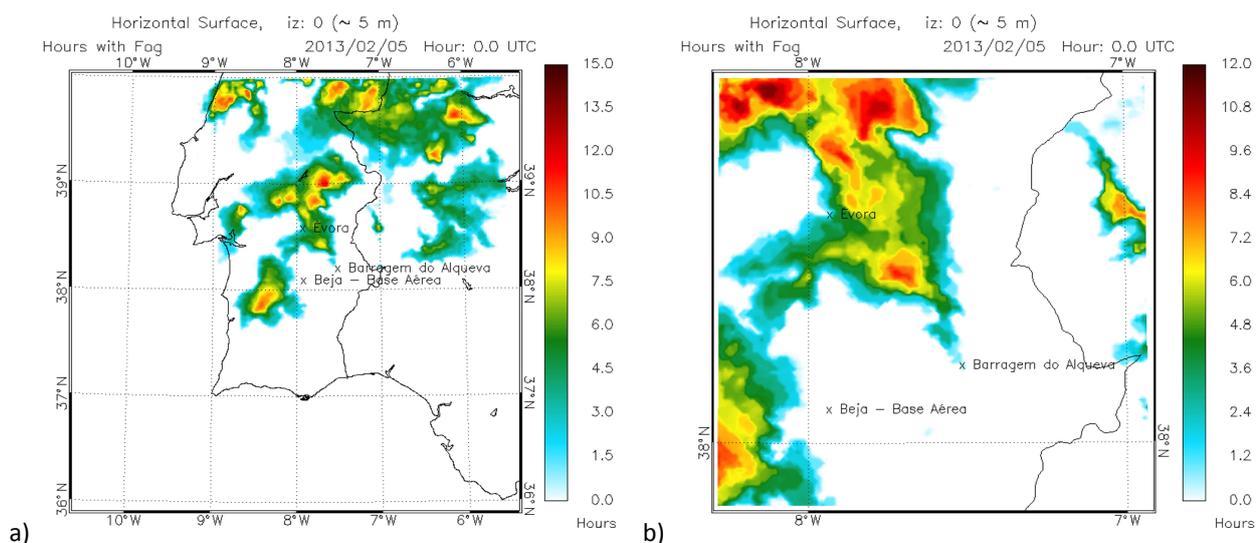


**Figura 4.78** - Simulação do “Número de Horas com Nevoeiro” nos dois Domínios, entre as 21:00 e as 15:00 UTC.

### 4.3.3 – Caso III - 2013/02/05

A figura 4.78 mostra o número de horas com nevoeiro em ambos os domínios para o Caso III. Verifica-se que a Norte de Évora houve diversas zonas onde ocorreram mais de 10 horas com nevoeiro, sendo de realçar também a zona a Sudoeste de Beja onde existiram algumas zonas com cerca de 8 horas de nevoeiro. Na Base Aérea de Beja não ocorreu nevoeiro nesta simulação (ver figura 4.79 b)).

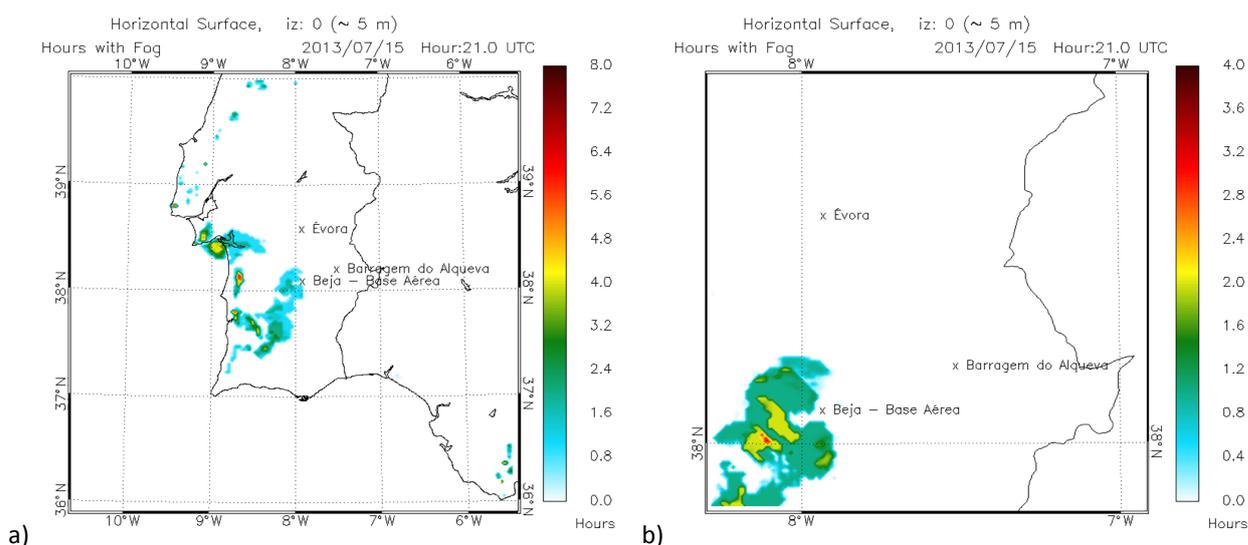
Neste caso verifica-se novamente que sobre a Albufeira do Alqueva existem várias zonas com menos horas de nevoeiro.



**Figura 4.79** - Simulação do “Número de Horas com Nevoeiro” nos dois Domínios, entre as 21:00 e as 15:00 UTC.

### 4.3.4 – Caso IV - 2013/07/16

Na figura 4.80 é apresentada a simulação do número de horas com nevoeiro em ambos os domínios para o Caso IV. Verifica-se no Domínio D1 que junto à Serra de Grândola houve pontualmente, zonas com mais de 6 horas com nevoeiro e a Sudoeste de Beja ocorreu em alguns locais cerca de 3 horas com nevoeiro, contudo de um modo geral as restantes zonas não excedem a 1 hora. No Domínio D2 há a realçar a zona a Su-sudoeste da Base Aérea de Beja com mais de 2 horas de Nevoeiro. Neste caso, apesar da advecção bastante presente, parece ser a orografia o principal fator na formação do nevoeiro na região. Na Base Aérea de Beja não ocorreu nevoeiro, contudo verifica-se que este ocorreu na sua vizinhança com alguma persistência (ver figura 4.80 b)).

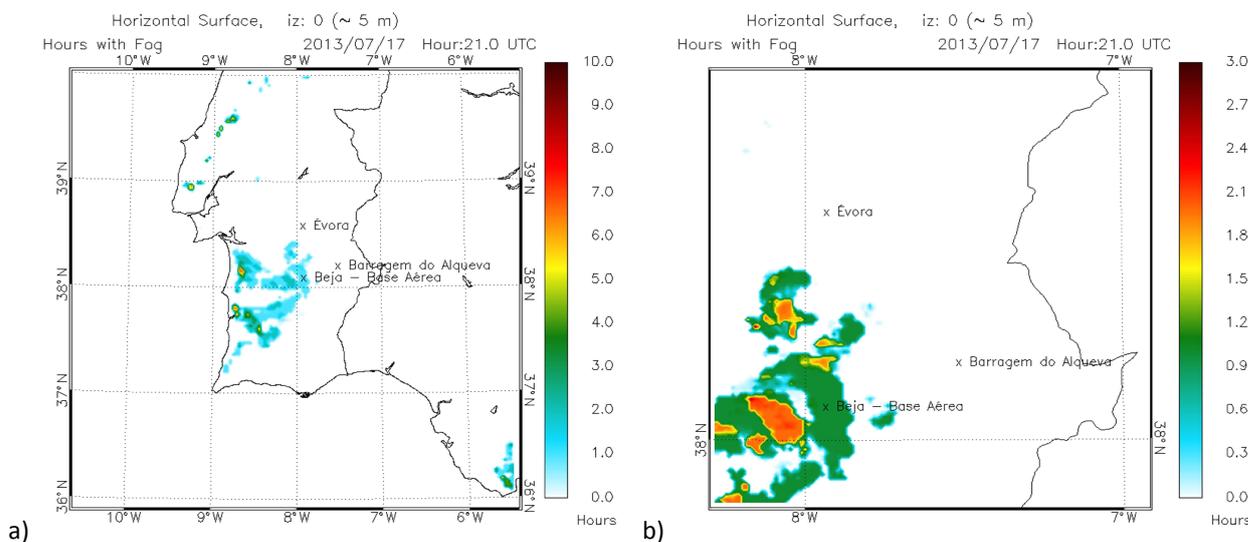


**Figura 4.80** - Simulação do “Número de Horas com Nevoeiro” nos dois Domínios, entre as 21:00 e as 15:00 UTC.

**4.3.5 – Caso V - 2013/07/18**

A figura 4.81 apresenta a simulação do número de horas com nevoeiro em ambos os domínios. Verifica-se no Domínio D1 que em alguns locais junto às Serras de Grândola, Cercal e Vigia ocorreu mais de 5 horas com nevoeiro, contudo de um modo geral as restantes zonas não excederam as 2 horas. No Domínio D2 há a realçar a zona a Oeste da Base Aérea de Beja com mais de 2 horas de Nevoeiro e ainda, junto às Serras do Mendro e Portel com alguns locais com cerca de 2 horas com nevoeiro. Mais uma vez se verifica que, apesar da advecção bastante presente, parece também existir a presença do fator orografia na formação do nevoeiro na região. Na Base Aérea de Beja ocorreu cerca de 1 hora com nevoeiro (ver figura 4.81 b)).

Neste caso verifica-se que por bloqueio orográfico o nevoeiro não chega à região da Albufeira do Alqueva, sobretudo devido à influência das Serras do Mendro e Portel.

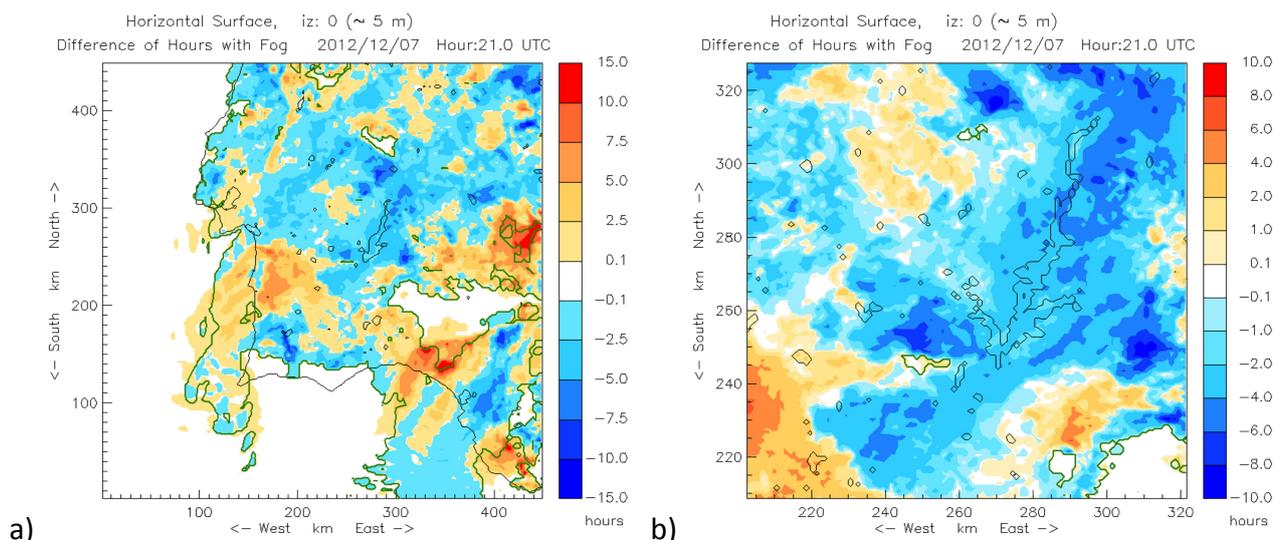


**Figura 4.81** - Simulação do “Número de Horas com Nevoeiro” nos dois Domínios, entre as 21:00 e as 15:00 UTC.

### 4.3.6 – Diferenças entre os Resultados do Modelo no Modo de Previsão e no Modo de Simulação

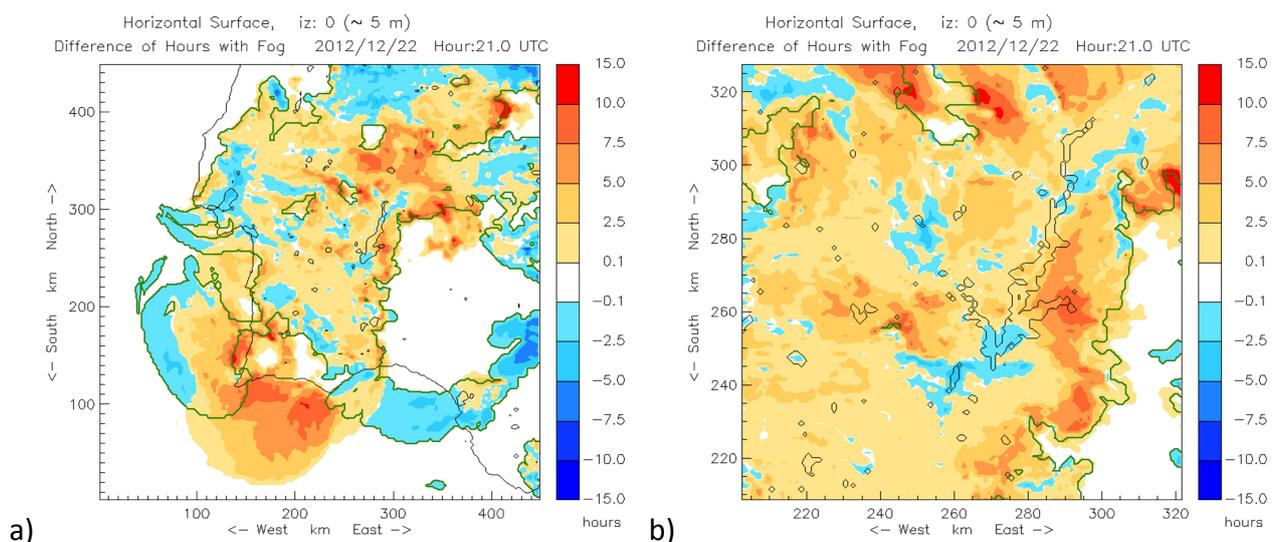
Acerca das diferenças entre o número de horas com nevoeiro simuladas com as Previsões do ECMWF e simuladas com as Análises do ECMWF, há a referir que não existe um padrão bem definido.

No Caso I verificaram-se diferenças negativas sobretudo na Bacia Hidrográfica do Rio Guadiana, tendo ocorrido diferenças positivas na Bacia Hidrográfica do Rio Sado.



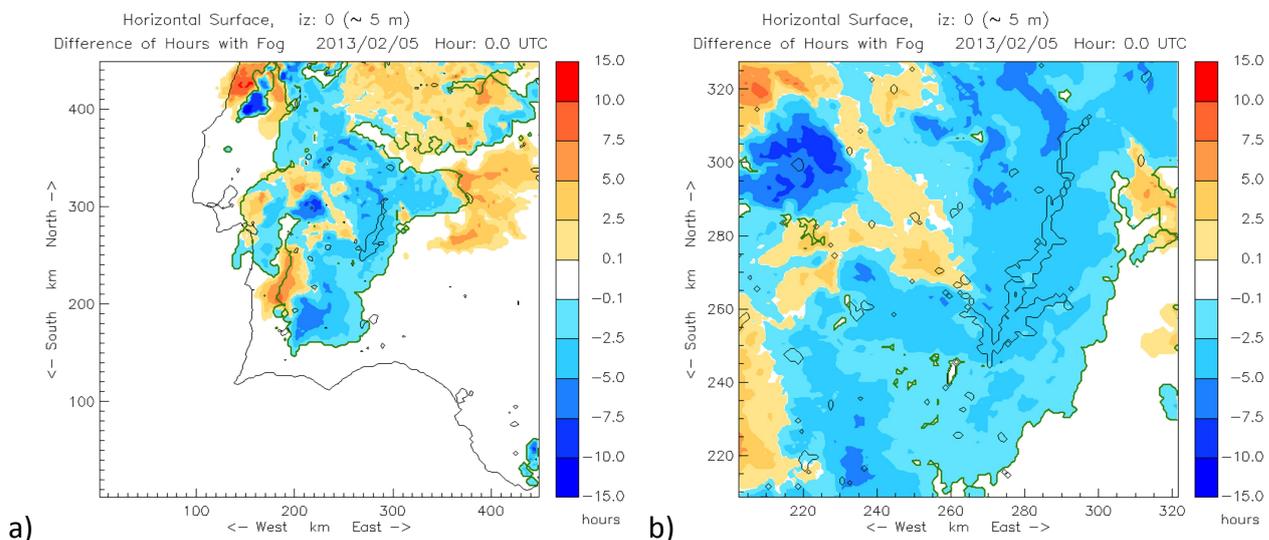
**Figura 4.82** - Diferença do “número de horas com Nevoeiro” entre as simulações com base nas Previsões e Análises do ECMWF entre as 21:00 e as 15:00 UTC nos dois Domínios. Limites da ocupação do nevoeiro da Análise (linha verde), escala de cores (Previsão-Análise).

No Caso II verificaram-se algumas zonas com diferenças positivas significativas, nomeadamente, junto à albufeira do Alqueva e no Sudoeste Alentejano.



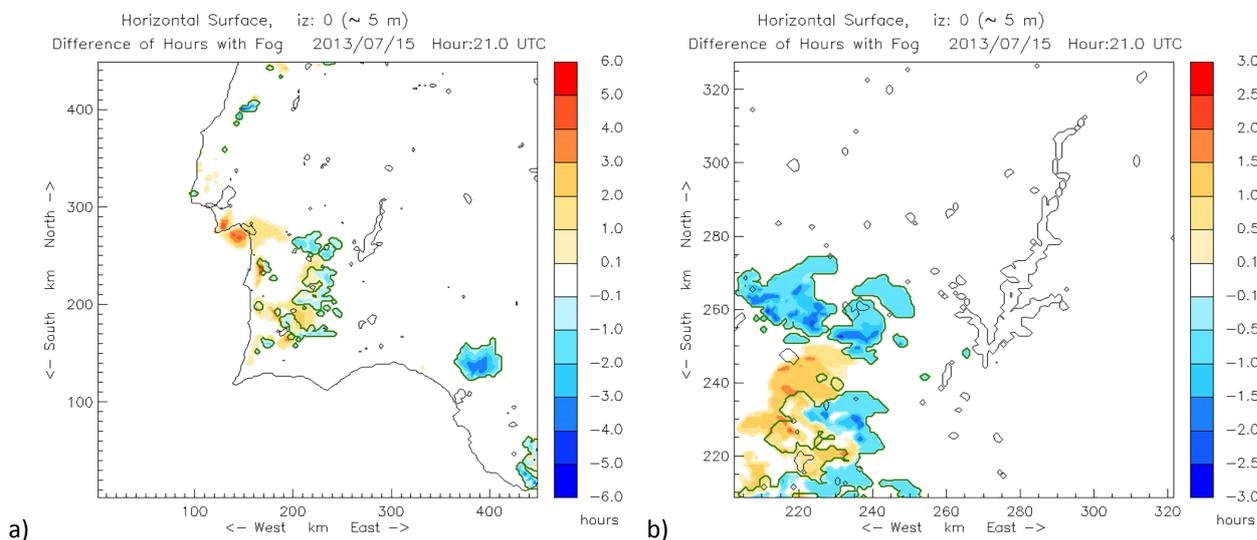
**Figura 4.83** - Diferença do “número de horas com Nevoeiro” entre as simulações com base na Previsões e Análise entre as 21:00 e as 15:00 UTC nos dois Domínios. Limites da ocupação do nevoeiro da Análise (linha verde), escala de cores (Previsão-Análise).

No Caso III verificou-se uma diminuição da persistência do nevoeiro na região de forma quase generalizada, sendo exceção a Bacia Hidrográfica do Rio Sado com valores positivos.



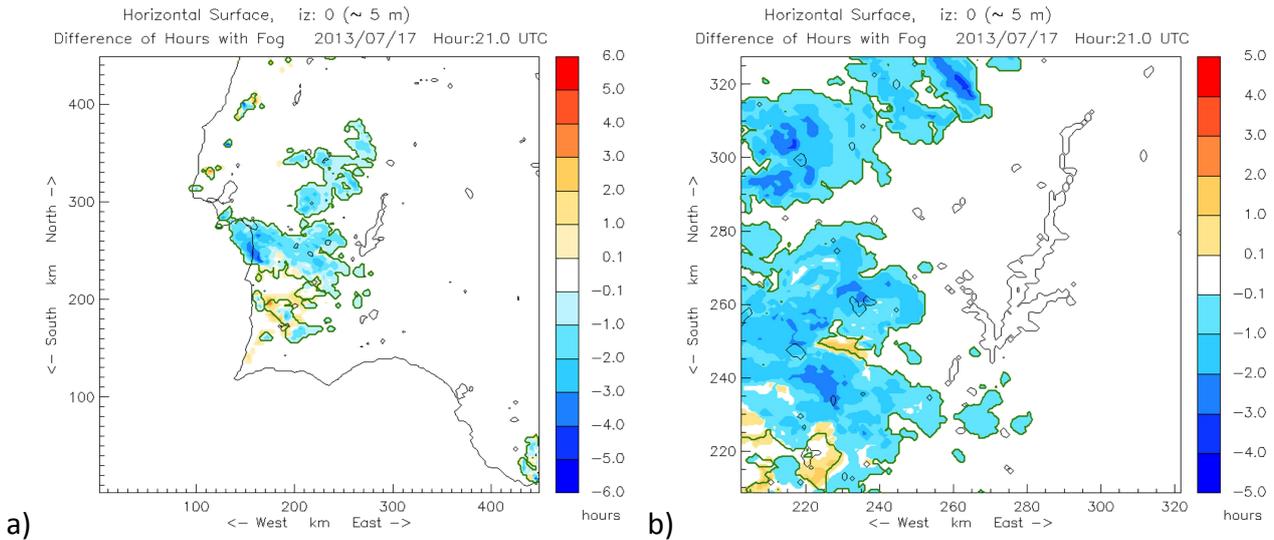
**Figura 4.84** - Diferença do “número de horas com Nevoeiro” entre as simulações com base na Previsões e Análise entre as 21:00 e as 15:00 UTC nos dois Domínios. Limites da ocupação do nevoeiro da Análise (linha verde), escala de cores (Previsão-Análise).

No Caso IV há a salientar a diferença positiva junto à foz do Rio Sado e as diferenças negativas junto à Serra do Mendro e junto à Cidade de Beja.



**Figura 4.85** - Diferença do “número de horas com Nevoeiro” entre as simulações com base na Previsões e Análise entre as 21:00 e as 15:00 UTC nos dois Domínios. Limites da ocupação do nevoeiro da Análise (linha verde), escala de cores (Previsão-Análise).

No Caso V ocorreu uma diferença negativa generalizada, contudo, pouco acentuada.

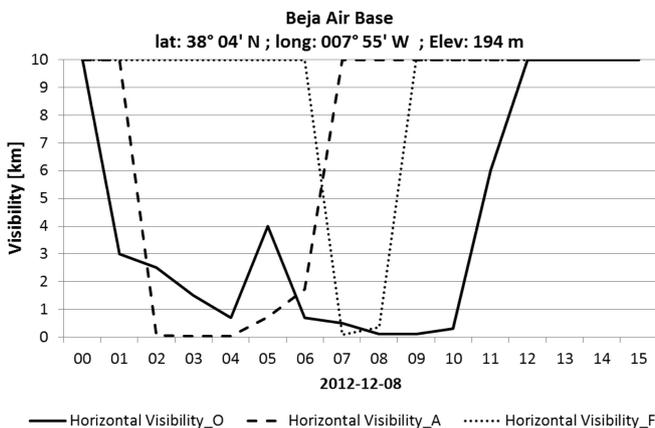


**Figura 4.86** - Diferença do “número de horas com Nevoeiro” entre as simulações com base na Previsões e Análise entre as 21:00 e as 12:00 UTC nos dois Domínios. Limites da ocupação do nevoeiro da Análise (linha verde), escala de cores (Previsão-Análise).

**4.3.7 – Comparação com as Observações e as Simulações (Beja-Base Aérea)**

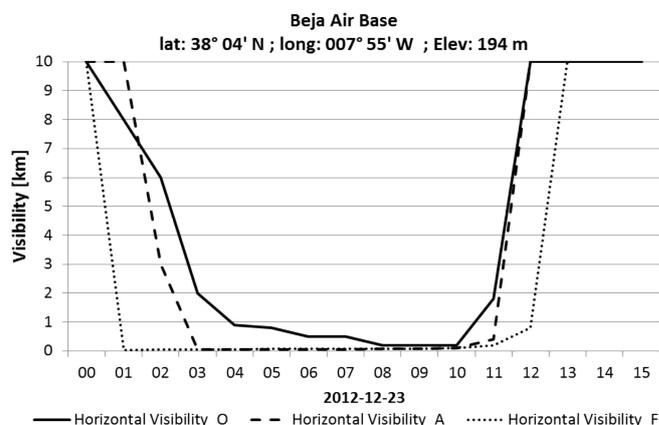
Da comparação entre os dados horários observados na Base Aérea de Beja e os dados simulados tendo como condições iniciais e fronteira as previsões operacionais do ECMWF, verificou-se uma semelhança algo satisfatória dos vários parâmetros comparados: direção e velocidade do vento a 10 m; temperatura do ar e humidade relativa a 2m, e a visibilidade horizontal; nos casos seleccionados para o ponto do modelo correspondente à Base Aérea de Beja (ver Anexo 4.3.A). Há a destacar no que se refere a valores de visibilidade horizontal verificou-se que foram menos satisfatórios em comparação com os dados obtidos a partir das simulações com base nas Análises do ECMWF.

No Caso I (2012/12/08) verificou-se uma apreciável subestimação na representação do nevoeiro, sendo de referir o atraso considerável na sua formação e a sua curta duração na Base Aérea de Beja (ver figura 4.82).



**Figura 4.87** - Comparação entre os dados de visibilidade horizontal observados e simulados com as Análises e Previsões do ECMWF para a Base Aérea de Beja no dia 2012/12/08.

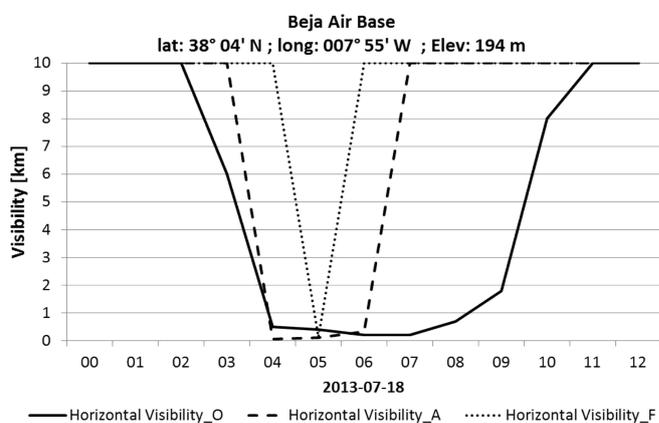
No Caso II (2012/12/23) verificou-se uma boa representação do nevoeiro, tendo sido contudo antecipada a sua formação em cerca de 3 horas e atrasado a sua dissipação em cerca de 2 horas, como se pode ver na figura 4.83.



**Figura 4.88** - Comparação entre os dados de visibilidade horizontal observados e simulados com as Análises e Previsões do ECMWF para a Base Aérea de Beja no dia 2012/12/23.

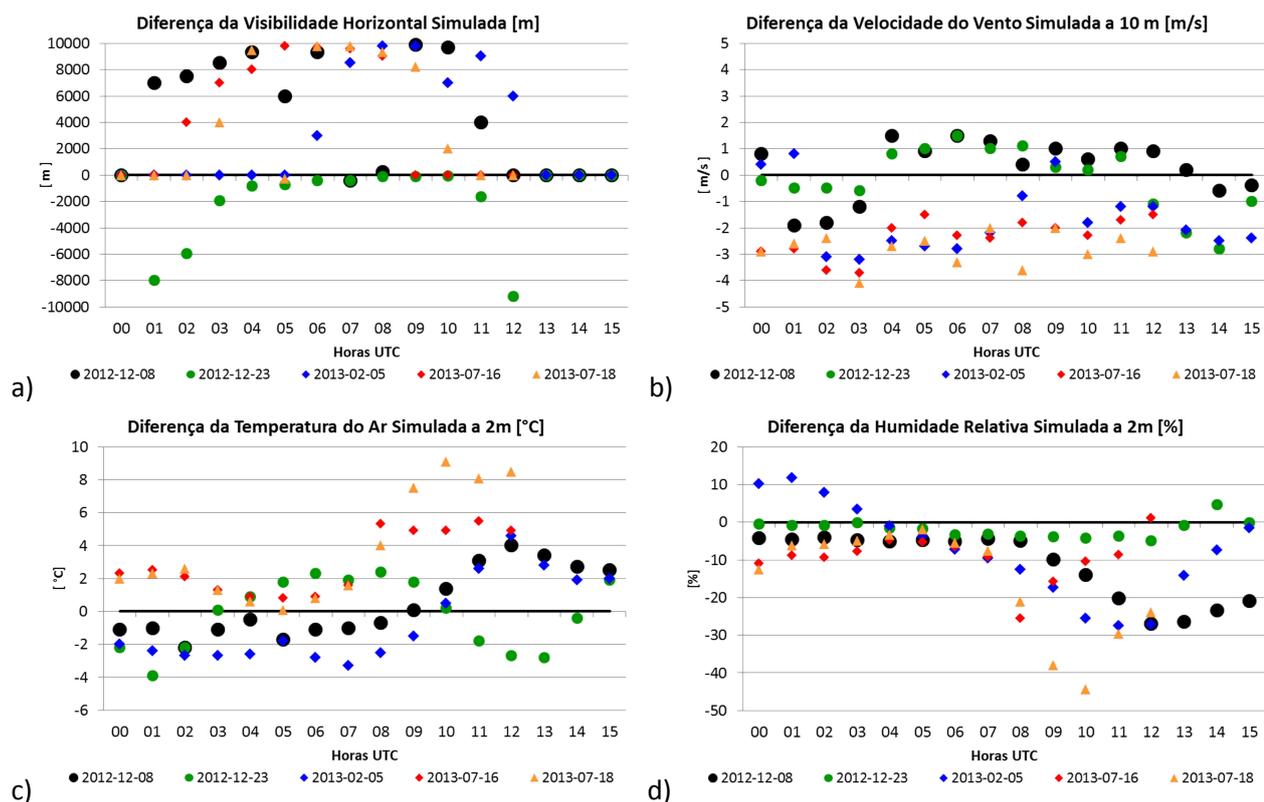
Nos Casos III e IV (2013/02/05 e 2013/07/16) o nevoeiro não foi devidamente representado para o ponto da Base Aérea de Beja, tendo contudo sido melhor simulado em outras zonas da região (ver anexo 4.3).

No Caso V (2013/07/18) verificou-se uma considerável subestimação na representação do nevoeiro, com um atraso na sua formação de cerca de 1 horas e uma antecipação da sua dissipação em cerca de 4 horas. Há a referir ainda que, das cerca de 5 horas observadas com condições de nevoeiro na Base Aérea de Beja, esta simulação apenas representou 1 hora (ver figura 4.84).



**Figura 4.89** - Comparação entre os dados de visibilidade horizontal observados e simulados com as Análises e Previsões do ECMWF para a Base Aérea de Beja no dia 2012/12/23.

Em seguida são apresentados, na figura 4.85, dados das diferenças entre os dados horários observados na estação meteorológica de Beja-Base Aérea para os diferentes Casos de Estudo e os dados horários simulados para o ponto mais próximo desse local a partir das previsões do ECMWF. Esta comparação destinou-se a averiguar de que forma as simulações se desviaram dos valores obtidos por observação no local.



**Figura 4.90** - Gráficos com diferenças de várias variáveis em relação aos dados horários observados para os vários Casos de Estudo

Verifica-se da interpretação dos diferentes gráficos da figura 4.85 que o Caso que apresentou melhores resultados, tal como nas simulações com base nas análises operacionais do ECMWF, foi o de 2012/12/23, onde se pode identificar perfeitamente os desvios menos acentuados em todas as variáveis para este Caso, sendo de destacar a Visibilidade Horizontal e Humidade Relativa. Os restantes casos revelaram algumas diferenças consideráveis.

Na figura 4.86 são apresentados gráficos referentes ao erro absoluto de várias variáveis para os diferentes casos de estudo, do ponto mais próximo da estação meteorológica da Base Aérea de Beja. Nestes gráficos estão representados o valor mais baixo, o valor mais alto, o valor mediano e os 1º e 3º Quartis.

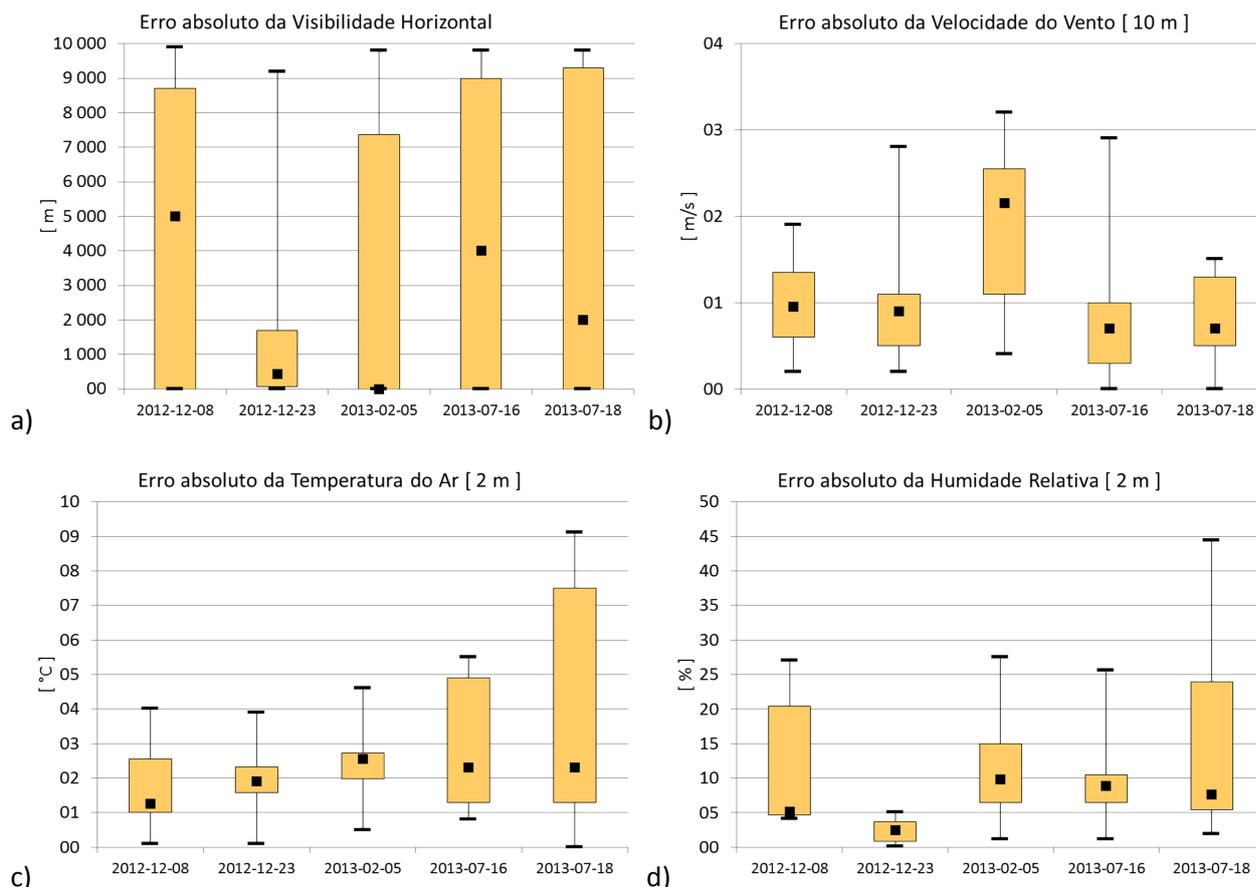


Figura 4.91 - Gráficos de erro absoluto de várias variáveis, para os vários Casos de Estudo

Da sua análise, pode-se inferir que a simulação do caso de 2012/12/23 foi a que apresentou melhores resultados em todas as variáveis, nomeadamente na visibilidade horizontal onde se obteve um resultado bastante satisfatório em comparação com as observações efetuadas nesse dia. De um modo geral os restantes casos apresentam resultados pouco satisfatórios.

#### 4.5 – Discussão dos Resultados

As simulações realizadas para os casos de estudo selecionados evidenciaram diferenças refletindo as diversas influências que estiveram na origem da formação e do desenvolvimento dos episódios de nevoeiro. Verificaram-se bastantes diferenças entre todos os casos, contudo subsistem padrões mais ou menos semelhantes nos casos de inverno, sendo estes distintos dos casos de verão. Nos casos de inverno os nevoeiros ocorreram sobretudo devido ao arrefecimento noturno que leva a que rapidamente a temperatura do ponto de orvalho seja atingida, favorecendo dessa forma a formação do nevoeiro.

Nos casos de verão verificou-se que a advecção de ar proveniente de zonas oceânicas definiram a forma como o nevoeiro ocupou a região, onde ao entrar em contacto com

regiões ligeiramente mais frias, ou obrigado a subir uma elevação, arrefecendo, saturando e originando a formação do nevoeiro, que nestes casos se torna mais evidente, serem do tipo de advecção e pontualmente orográficos.

Da análise dos resultados das simulações realizadas neste trabalho tendo como base as Análises do ECMWF verificou-se uma boa semelhança entre os dados de nebulosidade obtidos e a sua observação por satélite. Foi obtida uma boa representação da sua ocupação ao longo das simulações, nomeadamente nos casos de inverno. Nos casos de verão verificou-se uma apreciável subestimação na representação da nebulosidade, em especial nas regiões do Norte do Alentejo, contudo verificou-se uma boa aproximação no Sul do Alentejo com a advecção da nebulosidade vinda de Oeste durante a noite e madrugada a ser bem representada. A subestimação a Norte pode estar em parte relacionada com a definição dos limites do modelo, pois verifica-se pelas observações de satélite, que nestes casos houve um grande transporte de ar húmido e nebulosidade proveniente de Norte (Litoral Centro de Portugal Continental) que não foi corretamente representada pelo modelo.

O escoamento horizontal à superfície regulou a forma como o nevoeiro adquiriu a sua forma na região. Frequentemente, verificou-se a instalação do nevoeiro nas vertentes barlavento das elevações da região, sendo isso notório nas representações gráficas do número de horas de nevoeiro para cada simulação. Há a referir que a influência orográfica está bem definida nos casos apresentados, nomeadamente devido à definição dos limites do nevoeiro, tendo várias vezes ocorrido, que zonas mais elevadas não ficaram ocupadas por nevoeiro ou nuvens baixas. A influência orográfica está também muito presente nos casos de verão, onde se verifica a enorme influência exercida pelas Serras do Mendro e Portel que bloqueiam o ar húmido proveniente do oceano, fazendo com que o nevoeiro não chegue à albufeira do Alqueva nestes casos.

Nas simulações de inverno foram obtidas durações máximas de nevoeiro entre 10 e mais de 15 horas, tendo sido nas situações de verão obtidas durações máximas entre 3 e mais de 8 horas com nevoeiro. Na Base Aérea de Beja variaram entre 4 e 10 horas com nevoeiro nos casos de inverno e entre 1 e cerca de 3 horas nos de verão. Há a referir que se conseguiu uma melhor representação nos casos de inverno, tendo o modelo subestimado a duração do nevoeiro nos casos de verão.

Os perfis verticais das temperaturas do ar e ponto de orvalho mostraram a formação e evolução do nevoeiro na Base Aérea de Beja. Verificou-se a existência de perfis típicos de nevoeiro de radiação nos casos de inverno e de nevoeiro de advecção nos casos de verão, ambos com inversões térmicas bem definidas no topo do nevoeiro. Os nevoeiros apresentaram espessuras que variaram entre poucos metros, aquando da formação, nomeadamente nos nevoeiros de radiação, e algumas centenas de metros na sua fase mais desenvolvida. Devido ao facto da base da inversão térmica não atingir o solo nos nevoeiros de advecção, estes apresentaram uma maior espessura aquando da sua formação. Com o nevoeiro bem desenvolvido, os topos variaram entre 200 e 500 m de altura nos casos de inverno, de maior duração, e entre 100 e 200 m nos casos de verão. Aquando da dissipação

do nevoeiro, verificou-se a persistência durante algum tempo de nuvens baixas originadas pela elevação do nevoeiro por aquecimento do ar a partir da superfície.

Da comparação entre os dados observados na Base Aérea de Beja e os dados simulados verifica-se uma semelhança satisfatória, para todos os elementos analisados, nomeadamente nos casos de inverno, tendo-se verificado uma subestimação na representação do nevoeiro e consequentemente nos elementos em análise, especialmente na visibilidade horizontal. Também na temperatura do ar e na humidade relativa tal se verificou em consequência da antecipação da dissipação do nevoeiro e da subestimação das nuvens baixas originando que as simulações dos casos de verão tivessem uma rápida subida na temperatura e descida na humidade relativa, enquanto as observações ainda indicavam a ocorrência de nevoeiro no mesmo período.

Acerca da influência produzida pela albufeira da Barragem do Alqueva nos casos de nevoeiro em estudo, há a referir que apenas nos casos de Inverno tal se confirmou, verificando-se uma diversidade de influências originadas, muito por influência do escoamento à superfície sobre a albufeira, verificando-se que, dependendo da direção e intensidade do vento, diferentes resultados foram produzidos, fazendo com que diferentes padrões de ocupação do nevoeiro fossem obtidos pelas simulações realizadas com e sem Alqueva. O transporte de vapor de água para locais mais frios ou mais elevados justifica esta interpretação, pois o ar satura com mais facilidade e consequentemente, leva à condensação e à formação do nevoeiro. Confirmou-se que, o nevoeiro teve menor duração nas simulações com Alqueva sobre a albufeira nos casos de dezembro de 2012, sugerindo que a sua presença inibiu a formação do nevoeiro, em parte por as temperaturas serem amenizadas pela presença de uma superfície aquática mais quente, fazendo com que apesar da adição de vapor de água, a temperatura não fosse suficientemente fria para o condensar, ocorrendo em zonas mais afastadas da albufeira ou sobre a albufeira, mas na forma de nuvens, não estando em contacto direto com a superfície do lago. Também o aumento da intensidade do vento sobre a albufeira, como resultado da diminuição da rugosidade da superfície, pode contribuir para diminuir o tempo de permanência de nevoeiro sobre a albufeira. Na situação de 05 de fevereiro de 2013 verificou-se todavia um ligeiro aumento da duração do nevoeiro sobre a albufeira do Alqueva, possivelmente devido ao escoamento ser de menor intensidade comparativamente com os casos anteriores e ainda, por terem sido atingidas neste caso temperaturas mais baixas e de em Fevereiro a temperatura da água da albufeira ser inferior à de dezembro.

Em relação às diferenças no escoamento à superfície, verificou-se que a introdução da albufeira induz diferenças significativas sobre a área alagada e a sua vizinhança, particularmente nos casos de verão, devido à alteração da topografia da região e sobretudo às alterações nos fluxos energéticos junto à superfície, influenciando a criação de brisas locais que alteram o escoamento, sobretudo em situações sinópticas de anticiclone com vento calmo à superfície.

As secções verticais, Oeste-Este e Sul-Norte, que passam sobre o ponto do modelo correspondente à Base Aérea de Beja mostraram não existir grandes diferenças na estrutura

vertical entre as simulações com e sem Alqueva, sendo apenas de referir o facto de existir uma maior persistência das nuvens baixas após a dissipação do nevoeiro nos casos de inverno, sugerindo que tal se deva à existência de maior quantidade de vapor de água por influência da Albufeira do Alqueva e de outros lagos menores que foram introduzidos na base de dados ECOCLIMAP neste trabalho. Há a referir que no caso de fevereiro de 2013 as simulações indicam uma antecipação da formação do nevoeiro, tendo nos casos de verão, não se verificado diferenças apreciáveis.

Nas diferenças entre as simulações com e sem Alqueva em secções verticais, Oeste-Este e Sul-Norte, que passam sobre um ponto do modelo correspondente à Albufeira do Alqueva não foram igualmente encontradas grandes diferenças, sendo apenas de referir que a formação do nevoeiro é antecipada sobre a albufeira no caso de 05 de fevereiro de 2013, apresentando inclusive, uma maior espessura e ainda, uma maior persistência das nuvens baixas após a dissipação do nevoeiro.

Da análise dos resultados das simulações realizadas neste trabalho tendo como base as Previsões do ECMWF, verificou-se igualmente uma razoável representação da ocupação do nevoeiro ao longo das simulações, em especial nos casos de dezembro de 2012, tendo-se verificado nos restantes casos algumas diferenças consideráveis.

Da comparação entre os dados observados na Base Aérea de Beja e os resultados do modelo em modo de previsão, verificou-se igualmente uma semelhança satisfatória, para todos os elementos analisados, à exceção da visibilidade horizontal. Assim, apenas a situação de 23 de dezembro de 2012, representou de forma satisfatória o nevoeiro nesse local, tendo até obtido um número maior de horas com nevoeiro. Nos casos de 2012/12/08 e 2013/07/18, apesar de terem sido obtidos dados de visibilidade reduzida para este ponto, estes foram de muito curta duração. Nos casos de 05 de fevereiro e 16 de julho de 2013 as simulações não obtiveram qualquer restrição à visibilidade para esse ponto. Desta forma, face ao reduzido número de casos de estudo, não pode ser estabelecida uma relação entre a qualidade das simulações e a época do ano, nem com a tipologia do nevoeiro.

Desta forma, verifica-se que os parâmetros de grande escala obtidos pelos modelos numéricos globais de previsão do tempo degradam-se ligeiramente ao longo das simulações devido às suas baixas resoluções, fazendo com que fenómenos de escala menor, como os nevoeiros, sejam mal representados por modelos de mesoscala que utilizem como condições iniciais e fronteira, resultados de previsões como as do ECMWF. Porém, apesar dos desvios em relação às observações por satélite, os eventos do nevoeiro foram representados de forma aceitável em todos os casos em estudo neste trabalho.

## CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elaboração deste trabalho teve como principal objetivo, melhorar o conhecimento sobre a formação e evolução dos nevoeiros na Região Alentejo, tendo sido utilizada como ferramenta essencial o modelo atmosférico não hidrostático de mesoscala, Meso-NH da MÉTÉO FRANCE, com o qual foram realizadas simulações numéricas com base em Análises e Previsões operacionais do ECMWF. Os resultados obtidos foram confrontados com observações de superfície e de detecção remota por satélite com vista à sua validação. Outro propósito para a realização deste trabalho foi fornecer nova perspectiva na análise e previsão de nevoeiros, bem como facultar uma possível ferramenta no âmbito da segurança aeronáutica, contribuindo para o apoio à investigação de acidentes de aviação.

Neste trabalho houve a preocupação de estudar com algum detalhe os eventos de nevoeiro no aeródromo da Base Aérea de Beja (Aeroporto de Beja) devido às operações de aterragem e decolagem de aeronaves serem com alguma frequência afetadas por eventos de nevoeiro.

Foram tratados dados de observações de superfície de várias estações meteorológicas e de qualidade da água da região (Alqueva), para obtenção da climatologia dos nevoeiros, bem como na validação das simulações dos eventos de nevoeiro selecionados. Foram ainda utilizados dados de detecção remota por satélite, tanto de órbita geostacionária na análise das simulações, como de órbita polar, para obtenção de dados da temperatura da superfície da água da albufeira do Alqueva e da superfície do mar.

Foi efetuado um estudo climatológico dos nevoeiros na Região Alentejo, verificando-se sobretudo a ocorrência de nevoeiros de radiação no inverno e de advecção nas restantes estações do ano. Contudo, também ocorrem com alguma frequência nevoeiros orográficos, nomeadamente devido ao bloqueio das serras existentes na região. No inverno os nevoeiros ocorrem principalmente, em situações de bloqueio anticiclónico na Península Ibérica que favorecem o acentuado arrefecimento noturno, especialmente nas regiões do interior. Nas restantes estações do ano ocorrem principalmente, nevoeiros de advecção nas regiões do litoral, associados a circulação anticiclónica com grande influência oceânica. Sendo de referir que a dinâmica associada à circulação anticiclónica estável origina também a ocorrência de nevoeiros orográficos nas vertentes das serras, bloqueando por vezes o transporte e evolução do nevoeiro para no interior da região do Alentejo.

Na Base Aérea de Beja constata-se que a ocorrência anual do número de dias com nevoeiro tem sido aparentemente regular ao longo dos últimos anos, verificando-se que o nevoeiro ocorre sobretudo com um escoamento de Oeste e Noroeste (cerca de 45 %), ou seja com grande influência oceânica. O escoamento de Leste (mais de 15 %) tem também alguma importância, podendo corresponder a uma influência direta da Bacia Hidrográfica do Guadiana, sendo de realçar que estas situações estão associadas sobretudo a noites frias de

inverno. Os dados da Base Aérea de Beja referentes a nevoeiro foram analisados com vista a perceber o impacto que o Empreendimento de Alqueva pode ter tido neste local. Os dados revelaram um aumento do número médio de dias com nevoeiro nos meses de inverno (dezembro e janeiro - cerca de mais 4 dias). Mais do que um aumento no número de dias com nevoeiro, verifica-se um aumento na duração dos períodos com nevoeiro nesse local, sobretudo nos meses de inverno e particularmente após a hora do nascer-do-sol, indicando que a albufeira de Alqueva poderá ter impacto no atraso da dissipação do nevoeiro, contribuindo com um aumento da quantidade de vapor de água disponível na atmosfera.

Com vista a obter parâmetros de superfície para o modelo Meso-NH foram utilizadas diversas bases de dados globais, fundamentais nas interações superfície-atmosfera e importantes para a formação e evolução dos nevoeiros. O facto de se observar frequentemente que a estrutura do nevoeiro é irregular deve-se em grande parte às heterogeneidades horizontais do solo e da vegetação. Nos modelos atmosféricos, as trocas com a superfície são parametrizadas por esquemas de transferência solo-vegetação-atmosfera, que necessitam da correta localização de máscaras terra-água, características do solo e vegetação para o cálculo dos fluxos de momento, calor e humidade à superfície. Assim, foram utilizadas bases de dados globais com uma resolução  $\sim 1$  km da orografia, cobertura da superfície e concentrações de argila e areia no solo.

A base de dados ECOCLIMAP, desenvolvida pela MÉTÉO FRANCE, fornece os parâmetros de superfície necessários aos modelos de transferência Solo-Vegetação-Atmosfera. Há porém que mencionar que, apesar da sua revisão bastante recente, a base de dados ECOCLIMAP está desatualizada, verificando-se que para a Região do Alentejo a área ocupada pela albufeira da Barragem do Alqueva, bem como outros lagos interiores criados posteriormente à edição do ECOCLIMAP original ainda não estão representados. Houve assim a necessidade de introduzir algumas alterações nos parâmetros de superfície existentes, com vista a representar melhor a realidade atual, bem como estimar o impacto da albufeira do Alqueva na região no que se refere aos eventos de nevoeiro estudados. A base de dados GTOPO30 fornece a orografia ao modelo Meso-NH. Com as alterações introduzidas na base de dados ECOCLIMAP, houve também necessidade de se alterar a orografia na área de ocupação do Alqueva devido à sua grande dimensão, tendo para isso sido “alagada” a área definida pela albufeira à cota de 152 m em relação ao NMM.

Para fornecer condições fronteira inferiores mais realistas estão disponíveis no modelo Meso-NH, esquemas de superfície que melhoram as simulações numéricas da atmosfera nos níveis baixos. Estes esquemas estão assentes numa plataforma de modelos acoplados de superfície, designado por SURFEX, que tem na sua composição vários outros modelos físicos de superfície natural continental, áreas urbanas, lagos e oceano. O FLake é um modelo de lago de água doce capaz de prever a estrutura vertical da temperatura da água e condições de mistura em lagos e foi utilizado neste trabalho com vista a corrigir a temperatura da superfície de Alqueva.

Devido ao nevoeiro ser fortemente influenciado pela superfície, foram testadas diferentes grelhas verticais com vista a averiguar qual a melhor configuração para as

simulações de nevoeiros na região, tendo-se determinado que o modelo a adotar teria como características essenciais: o primeiro nível do modelo a 5 m, sem nenhum esquema de convecção e a temperatura da água do “lago” de Alqueva alterada de acordo com as temperaturas obtidas por satélite nas simulações de inverno, sendo para isso ativando o modelo FLake.

Nas simulações numéricas realizadas neste trabalho foi utilizado um modelo configurado com dois domínios horizontais através da técnica de *grid nesting* com interação nos dois sentidos. O domínio maior (D1) com uma grelha com 150x150 pontos e uma resolução espacial de 3 km e um domínio menor (D2) com uma grelha com 120x120 pontos e uma resolução espacial de 1 km sobre a região que compreende a albufeira da Barragem do Alqueva e a Base Aérea de Beja.

Foram selecionados como casos de estudo para realização das simulações e posterior análise os eventos dos dias 08 e 23 de dezembro de 2012, 05 de fevereiro e 16 e 18 de Julho de 2013. Estes casos foram escolhidos por demonstrarem diferentes padrões meteorológicos à escala regional e por terem tido períodos de ocorrência relativamente prolongados na Base Aérea Nº 11 em Beja, sobre a qual foram efetuadas comparações mais detalhadas.

Os casos escolhidos para a realização deste trabalho revelaram diferentes resultados consoante as diferentes influências originadas pelos diversos fatores existentes na região. Nos casos de inverno, os nevoeiros ocorreram sobretudo devido ao arrefecimento noturno que levou a que rapidamente a temperatura do ponto de orvalho fosse atingida, favorecendo dessa forma a formação do nevoeiro. Nos casos de verão verificou-se que, por advecção, o ar proveniente de zonas oceânicas ao entrar em contacto com regiões ligeiramente mais frias, ou obrigado a subir uma elevação, arrefeceu adiabaticamente, saturando e originando a formação de nevoeiro, que nestes casos se tornou mais evidente, serem do tipo de advecção e pontualmente orográficos.

Da análise dos resultados das simulações realizadas tendo como base as Análises do ECMWF, verificou-se uma boa semelhança entre os padrões de nebulosidade obtidos nas simulações e a sua observação por satélite, nomeadamente nos casos de inverno. Nos casos de verão verificou-se uma subestimação apreciável na representação da nebulosidade nas regiões do Norte do Alentejo, provavelmente relacionada com a definição dos limites do modelo, que não permite que o modelo represente corretamente o transporte de ar húmido e a nebulosidade proveniente de Norte.

O escoamento horizontal à superfície condiciona a forma como o nevoeiro adquiriu a sua forma ao longo das simulações, sendo de referir que a influência orográfica está presente nos casos apresentados confirmando a enorme influência exercida pelas Serras do Mendro e Portel que, bloqueiam o ar húmido proveniente do Oceano Atlântico, impedindo o nevoeiro de chegar à zona da albufeira do Alqueva.

Os perfis verticais das temperaturas do ar e ponto de orvalho documentam bem a formação e evolução do nevoeiro na Base Aérea de Beja, verificando-se a existência de perfis típicos de nevoeiro de radiação nos casos de inverno e de nevoeiro de advecção nos casos

de verão, ambos com inversões térmicas bem definidas no topo do nevoeiro. Da comparação entre os dados observados na Base Aérea de Beja e os dados simulados com base nas análises do ECMWF, verificou-se uma semelhança satisfatória para todos os elementos analisados, nomeadamente nos casos de inverno. Nos casos de verão verificou-se uma subestimação na representação do nevoeiro.

Acerca da influência produzida pela albufeira da Barragem do Alqueva nos casos de nevoeiro em estudo, há a mencionar que apenas nos casos de inverno tal se confirmou, verificando-se uma diversidade de influências originadas, muito por influência do escoamento à superfície sobre a albufeira, confirmando que, dependendo da direção e intensidade do vento, diferentes efeitos podem-se tornar dominantes, fazendo com que diferentes padrões de ocupação do nevoeiro tenham sido obtidos nas simulações com e sem Alqueva. A duração do nevoeiro sobre a albufeira teve uma menor duração nas simulações com Alqueva nos casos de dezembro de 2012, sugerindo que a sua presença inibiu a formação do nevoeiro. Na situação de 05 de fevereiro de 2013 verificou-se todavia um ligeiro aumento da duração do nevoeiro sobre a albufeira do Alqueva, possivelmente devido ao escoamento ter sido de menor intensidade nesse caso e ainda, por terem sido atingidas temperaturas mais baixas. Nos casos de verão não se verificaram diferenças apreciáveis nas simulações com e sem Alqueva.

Da análise dos resultados das simulações realizadas neste trabalho tendo como base as Previsões do ECMWF, verificou-se igualmente uma aceitável representação da ocupação do nevoeiro ao longo das simulações, em especial nos casos de dezembro de 2012, tendo-se verificado nos restantes casos algumas diferenças significativas. Desta forma, conclui-se que os parâmetros de grande escala obtidos pelos modelos numéricos de previsão do tempo globais degradam-se ligeiramente ao longo das simulações devido às suas baixas resoluções, fazendo com que fenómenos de escala menor, como os nevoeiros, sejam mal representados por modelos de mesoscala que utilizem como condições iniciais e fronteira, resultados de previsões como as do ECMWF. Porém, apesar das diferenças em relação às observações por satélite e às simulações realizadas com as análises do ECMWF, o fenómeno do nevoeiro continuou a ser representado na região em todos os casos em estudo neste trabalho.

Conclui-se assim, que o modelo Meso-NH representou bem os eventos de nevoeiro selecionados, nomeadamente tendo como condições iniciais e forçamentos laterais, assentes nas análises operacionais do ECMWF, verificando-se uma boa aproximação entre as situações observadas e a sua modelação para os cinco eventos selecionados. Contudo, verificou-se a subestimação na representação das nuvens baixas após a dissipação do nevoeiro, sobretudo nos casos de verão.

Com base no estudo aqui apresentado pode-se concluir que a construção da Barragem de Alqueva pode ter originado um impacto direto na formação do nevoeiro, sobretudo na região do lago e sua vizinhança, não sendo a sua influência definida de forma

simples, como se pode comprovar da análise dos eventos aqui expostos, onde dependendo das situações, a sua influência tanto pode ser positiva como negativa, no que se refere à área ocupação e ao tempo de duração do nevoeiro.

Há a referir que com a construção do empreendimento da Barragem do Alqueva, houve também um desenvolvimento regional que alterou a ocupação do solo até aí existente. Será assim necessário rever toda a base de dados ECOCLIMAP para a Região, nomeadamente a sua cobertura vegetal, com vista à otimização da Modelação Numérica da Atmosfera onde as Interações Solo-Atmosfera são fundamentais.

O modelo Meso-NH revelou-se de extrema importância, pois permitiu descrever estes eventos de forma satisfatória, possibilitando assim, a identificação de efeitos orográficos e da cobertura da superfície na análise e previsão da formação e evolução do nevoeiro na região Alentejo.

Deste modo, deve ser equacionada a possibilidade da utilização de simulações numéricas idênticas às apresentadas neste trabalho na previsão meteorológica operacional de nevoeiros, bem como no âmbito da segurança aeronáutica, na prevenção e apoio à investigação de acidentes.

### **5.1 – Sugestões para Trabalhos Futuros**

Para a elaboração de trabalhos futuros propõe-se assim algumas sugestões:

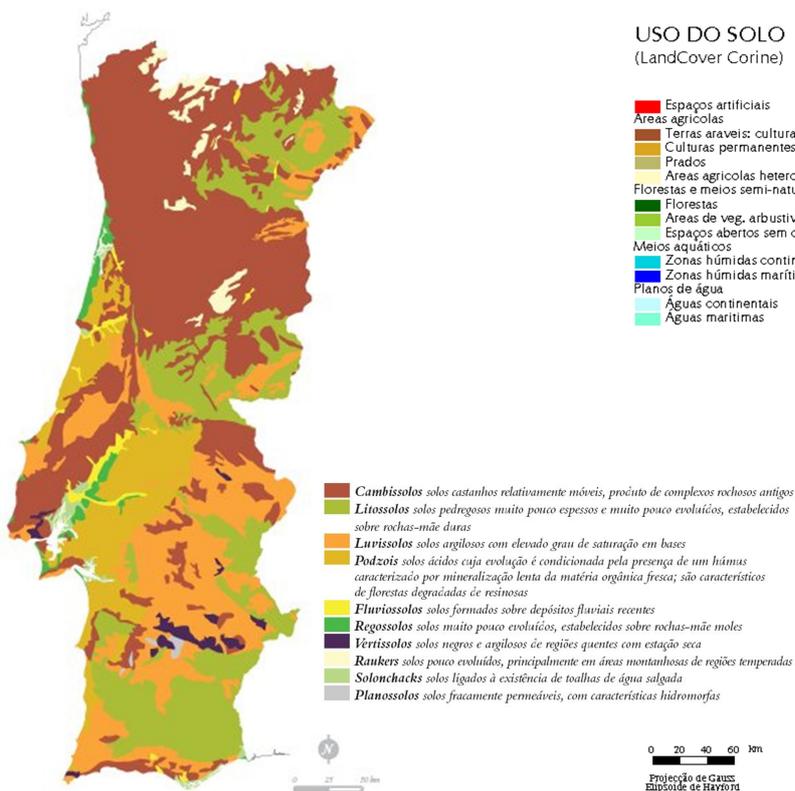
- Realização de novas simulações com eventos de nevoeiro de curta duração para otimização do modelo aqui apresentado;
- Realização de estudos de eventos de escala menor, com vista à análise de simulações numéricas de resolução mais elevada, nomeadamente com grelhas verticais junto à superfície inferiores a 1 m;
- Efetuar estudos noutras regiões utilizando os esquemas de parametrização aqui apresentados;
- Averiguar outros esquemas de parametrização, efetuando os testes de sensibilidade adequados;
- Avaliar o desempenho do modelo aqui apresentado na representação de outros fenómenos, como por exemplo fenómenos de brisa de mar e de lago;
- Comparação do desempenho do modelo aqui apresentado com outros modelos de investigação existentes;
- Revisão de toda a base de dados ECOCLIMAP para a Região Alentejo, nomeadamente, a cobertura vegetal, devido às alterações que têm sido introduzidas nos tipos de culturas da região.

Página intencionalmente em branco

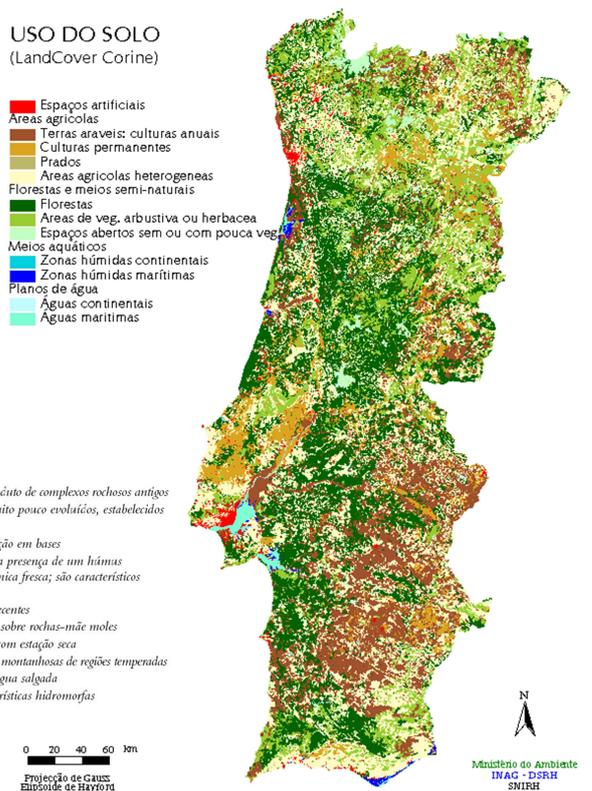
## **ANEXOS**

Página intencionalmente em branco

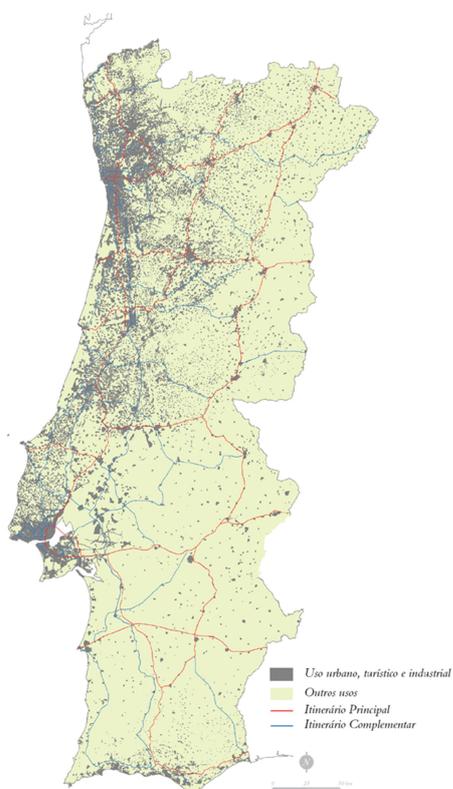
## ANEXO 1.A – Mapas de Solo, Ocupação e População



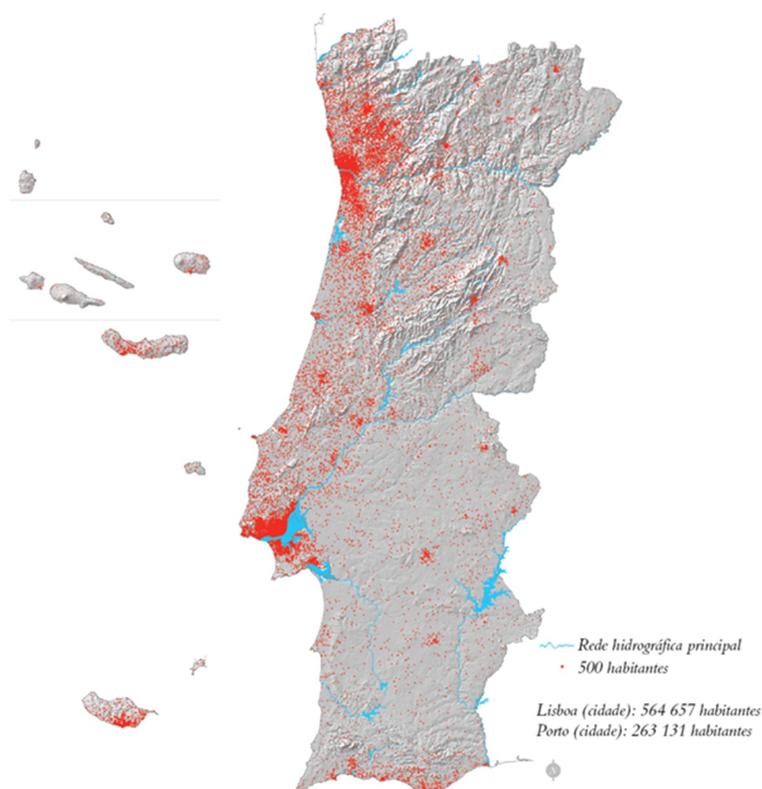
**Figura A.1 - Tipos de solo em Portugal Continental (2001).** Fonte: [www.igeo.pt](http://www.igeo.pt)



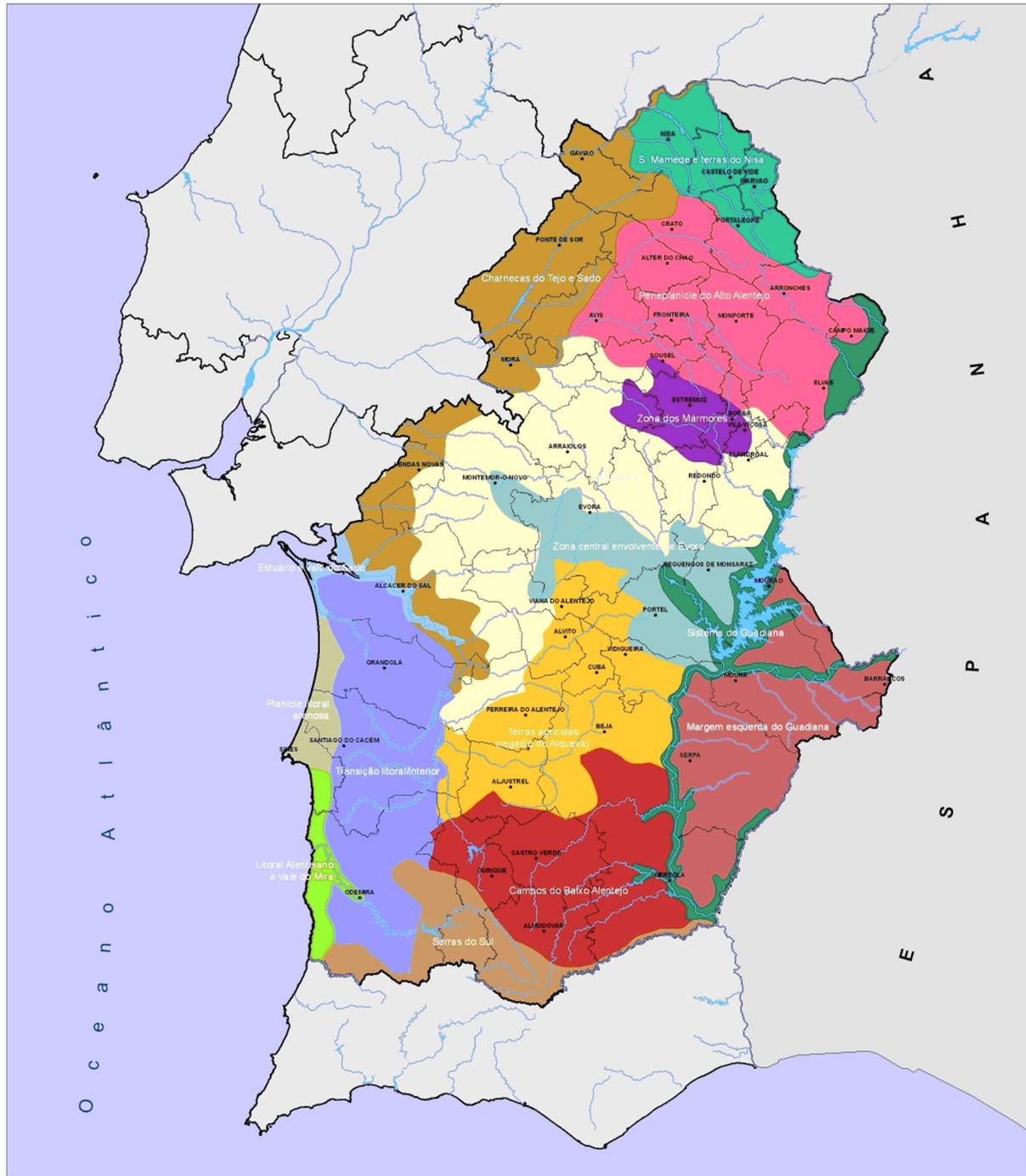
**Figura A.2 - Uso do solo em Portugal Continental (2000)**



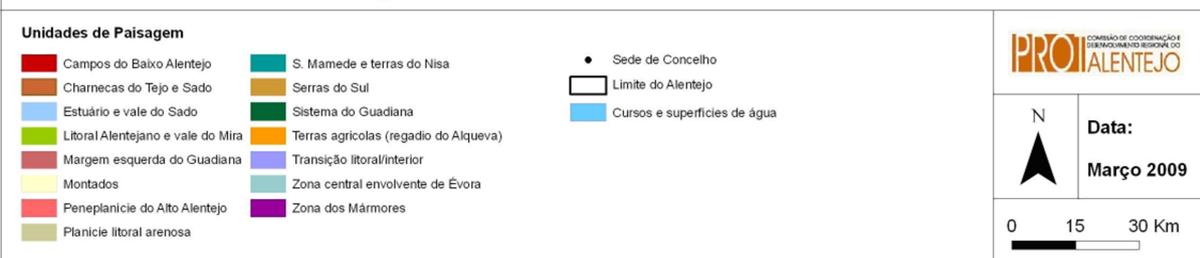
**Figura A.3 - Espaços Artificiais em Portugal (2004)** Fonte: [www.igeo.pt](http://www.igeo.pt)



**Figura A.4 - Densidade Populacional em Portugal (2001)** Fonte: [www.igeo.pt](http://www.igeo.pt)



**Sub-sistema Unidades de Paisagem**



**Figura A.5 - Mapa das unidades de paisagem do Alentejo**  
 url: [www.gpp.pt/ambiente/PROT/Alentejo/](http://www.gpp.pt/ambiente/PROT/Alentejo/)

## ANEXO 1.B – Mapas Climáticos para a Península Ibérica.

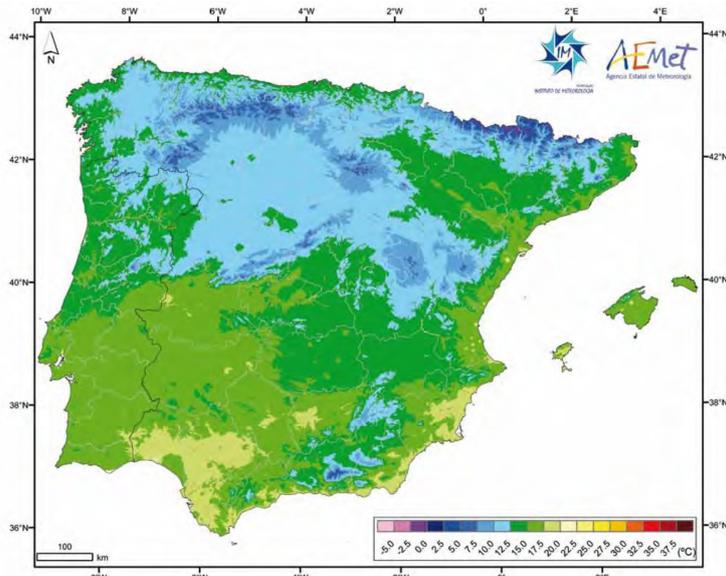


Figura A.6 - Média da temperatura média anual (www.ipma.pt)

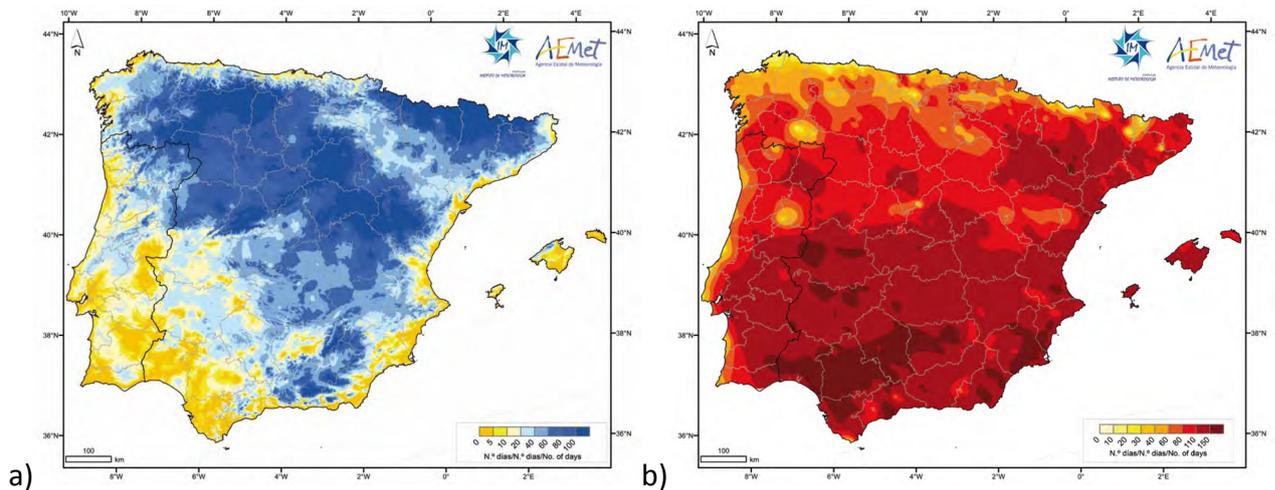


Figura A.7 - Número médio de dias com temperatura a) mínima  $\leq 0$  °C anual; b) máxima  $\geq 25$  °C Anual (www.ipma.pt)

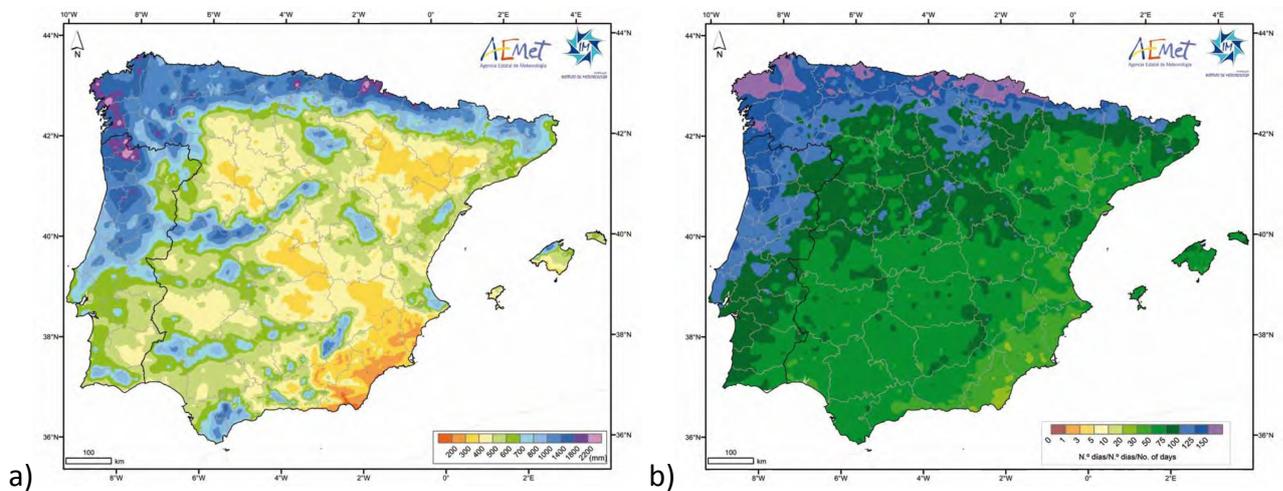


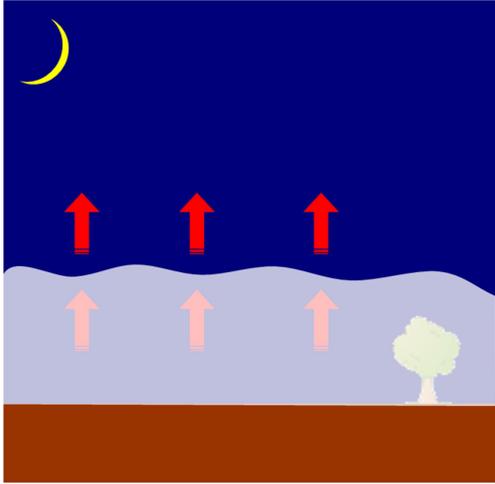
Figura A.8 - a) Média da precipitação total na Península Ibérica (1971-2000). b) Número médio de dias com precipitação  $\geq 0,1$  mm na Península Ibérica (1971-2000) (www.ipma.pt).

Página intencionalmente em branco

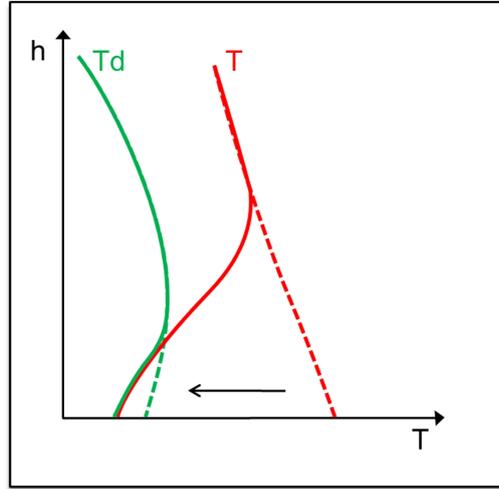
## ANEXO 2.A – Tipos de Nevoeiro (esquemas)

### Nevoeiros por Arrefecimento

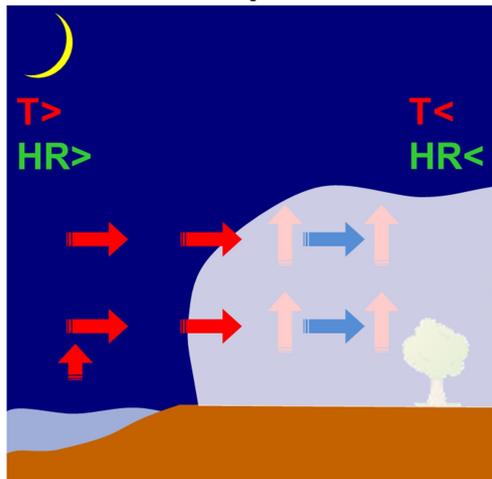
#### Nevoeiro de Radiação



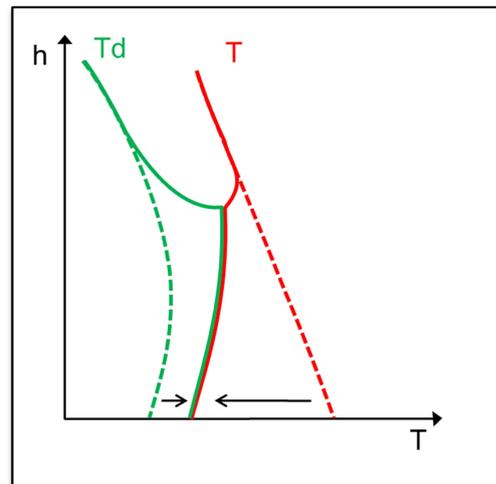
(Policarpo, 2009)



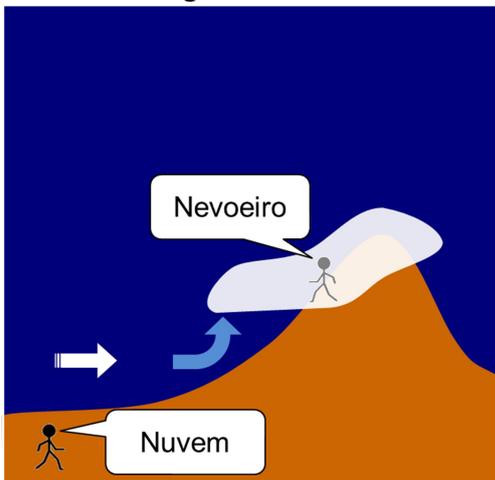
#### Nevoeiro de Advecção



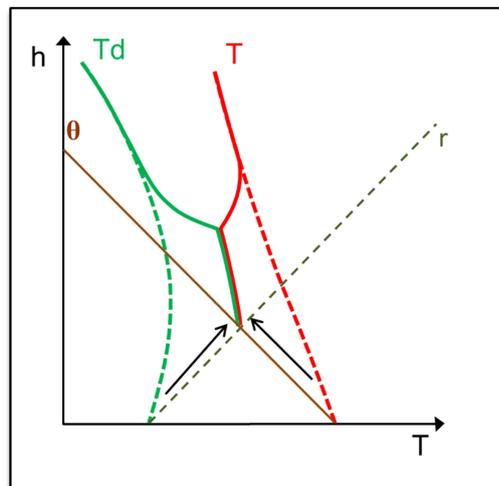
(Policarpo, 2009)



#### Nevoeiro Orográfico

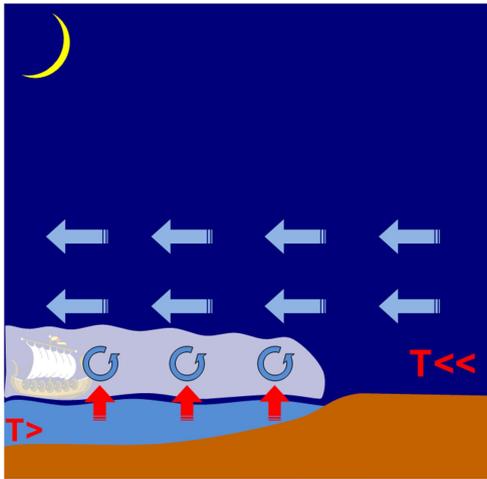


(Policarpo, 2009)

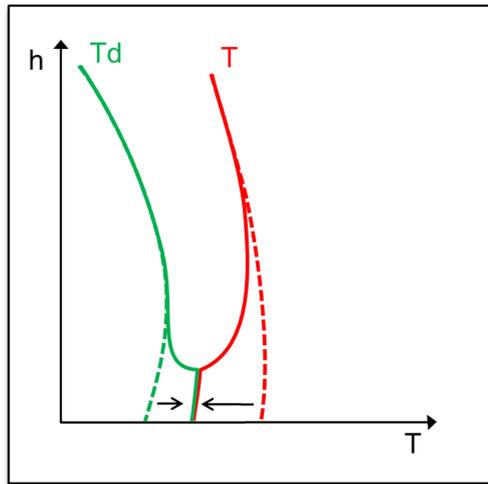


**Nevoeiros por evaporação**

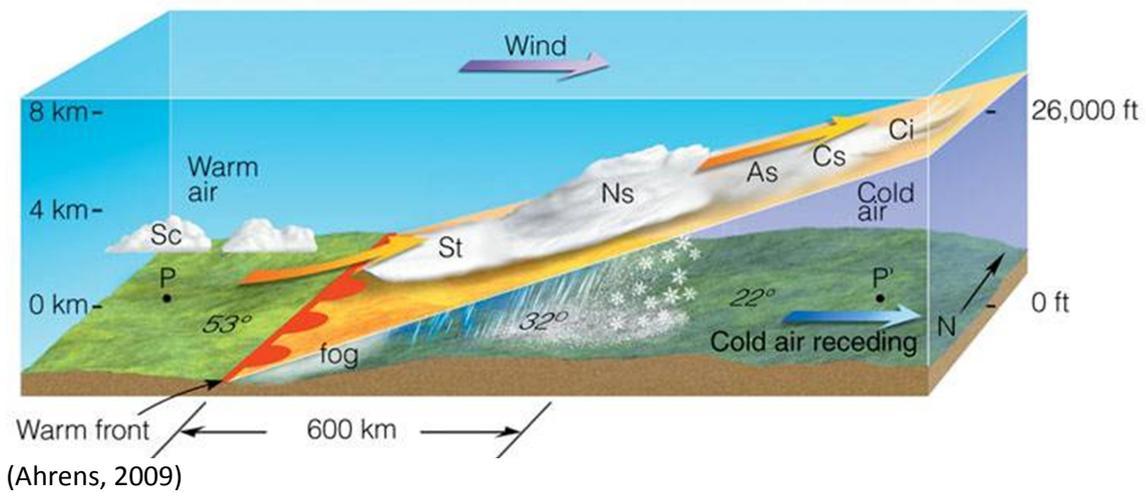
**Nevoeiro de vapor**



(Policarpo, 2009)



**Nevoeiro Frontal (de Precipitação)**



(Ahrens, 2009)

## ANEXO 3.A – Códigos METAR dos dias de nevoeiro em estudo

**Tabela A.1** Comunicados das observações regulares do Aeródromo de Beja - Base Aérea do dia 08/12/2012.

---

METAR	LPBJ	072100Z	03004KT	9999	BKN030	13/12	Q1019=
METAR	LPBJ	072200Z	02005KT	9999	BKN030	12/11	Q1020=
METAR	LPBJ	072300Z	VRB02KT	9999	FEW030	11/11	Q1020=
METAR	LPBJ	080000Z	09001KT	9999	BKN028	11/10	Q1021=
METAR	LPBJ	080100Z	31006KT	3000	BCFG SCT002	BKN025 10/10	Q1021=
METAR	LPBJ	080200Z	01006KT	2500	BCFG SCT002	BKN025 10/10	Q1020=
METAR	LPBJ	080300Z	02005KT	1500	BCFG SCT002	09/09	Q1021=
METAR	LPBJ	080400Z	VRB01KT	0700	FG SCT002	08/08	Q1021=
METAR	LPBJ	080500Z	06002KT	4000	BCFG SCT002	09/08	Q1021=
METAR	LPBJ	080600Z	VRB01KT	1800	0700S BCFG	FEW002 08/08	Q1021=
METAR	LPBJ	080700Z	07003KT	0500	FG FEW002	07/07	Q1022=
METAR	LPBJ	080800Z	09005KT	0100	FG FEW002	08/08	Q1022=
METAR	LPBJ	080900Z	11005KT	0100	FG SCT002	08/08	Q1023=
METAR	LPBJ	081000Z	08006KT	0300	FG SCT002	08/08	Q1024=
METAR	LPBJ	081100Z	10006KT	6000	BCFG BKN002	09/09	Q1024=
METAR	LPBJ	081200Z	05005KT	020V100	9999 BKN004	09/09	Q1024=
METAR	LPBJ	081300Z	03005KT	9999	BKN010	11/10	Q1023=
METAR	LPBJ	081400Z	05007KT	020V090	9999 FEW015	13/11	Q1023=
METAR	LPBJ	081500Z	06005KT	010V100	9999 FEW015	13/11	Q1023=

---

**Tabela A.2** Comunicados das observações regulares do Aeródromo Beja - Base Aérea do dia 23/12/2012.

---

METAR	LPBJ	222100Z	10004KT	CAVOK	11/10	Q1025=
METAR	LPBJ	222200Z	11004KT	CAVOK	10/10	Q1025=
METAR	LPBJ	222300Z	10004KT	CAVOK	10/10	Q1024=
METAR	LPBJ	230000Z	10005KT	CAVOK	11/10	Q1025=
METAR	LPBJ	230100Z	10005KT	8000	NSC 10/10	Q1024=
METAR	LPBJ	230200Z	11003KT	6000	BCFG NSC 10/09	Q1024=
METAR	LPBJ	230300Z	11005KT	2000	BCFG NSC 09/09	Q1024=
METAR	LPBJ	230400Z	12005KT	0900	FG FEW002 09/08	Q1023=
METAR	LPBJ	230500Z	10004KT	0800	FG FEW002 08/08	Q1023=
METAR	LPBJ	230600Z	09002KT	0500	FG FEW002 07/07	Q1023=
METAR	LPBJ	230700Z	10006KT	0500	FG FEW002 07/07	Q1023=
METAR	LPBJ	230800Z	11005KT	0200	FG FEW002 07/07	Q1023=
METAR	LPBJ	230900Z	09006KT	0200	FG FEW002 07/07	Q1023=
METAR	LPBJ	231000Z	12007KT	0200	FG FEW002 09/08	Q1023=
METAR	LPBJ	231100Z	10006KT	1800	BCFG FEW002 11/11	Q1023=
METAR	LPBJ	231200Z	12008KT	9999	FEW002 13/13	Q1022=
METAR	LPBJ	231300Z	13008KT	CAVOK	16/14	Q1021=
METAR	LPBJ	231400Z	16012KT	CAVOK	17/13	Q1020=
METAR	LPBJ	231500Z	15012KT	CAVOK	17/12	Q1020=

---

**Tabela A.3** Comunicados das observações regulares do Aeródromo de Beja - Base Aérea do dia 05/02/2013.

---

METAR LPBJ	050000Z	VRB01KT	CAVOK	08/04	Q1029=
METAR LPBJ	050100Z	24004KT	CAVOK	07/03	Q1029=
METAR LPBJ	050200Z	30009KT	CAVOK	07/04	Q1028=
METAR LPBJ	050300Z	31006KT	CAVOK	06/04	Q1028=
METAR LPBJ	050400Z	32005KT	CAVOK	06/05	Q1028=
METAR LPBJ	050500Z	29006KT	9999	FEW002 05/05	Q1028=
METAR LPBJ	050600Z	31007KT	7000	BCFG FEW002 06/05	Q1028=
METAR LPBJ	050700Z	32005KT	290V360	1500 PRFG FEW001 07/07	Q1028=
METAR LPBJ	050800Z	31004KT	0200	FG FEW001 06/06	Q1028=
METAR LPBJ	050900Z	29003KT	0200	FG SCT001 07/07	Q1028=
METAR LPBJ	051000Z	29004KT	3000	BCFG BKN002 07/07	Q1028=
METAR LPBJ	051100Z	28005KT	1000	BCFG BKN002 08/08	Q1029=
METAR LPBJ	051200Z	31008KT	4000	BR BKN004 08/08	Q1029=
METAR LPBJ	051300Z	32010KT	9999	BKN015 11/09	Q1028=
METAR LPBJ	051400Z	31009KT	9999	FEW020 13/10	Q1027=
METAR LPBJ	051500Z	31009KT	9999	SCT035 15/10	Q1027=

---

**Tabela A.4** Comunicados das observações regulares do Aeródromo de Beja - Base Aérea do dia 16/07/2013.

---

METAR LPBJ	152100Z	31011KT	CAVOK	22/16	Q1019=
METAR LPBJ	152200Z	28008KT	CAVOK	20/16	Q1020=
METAR LPBJ	152300Z	28009KT	CAVOK	18/16	Q1020=
METAR LPBJ	160000Z	28005KT	CAVOK	17/15	Q1020=
METAR LPBJ	160100Z	28005KT	CAVOK	17/15	Q1020=
METAR LPBJ	160200Z	29007KT	6000	BKN004 16/15	Q1019=
METAR LPBJ	160300Z	29007KT	3000	BR BKN004 16/16	Q1019=
METAR LPBJ	160400Z	31004KT	270V340	2000 BR BKN004 16/15	Q1019=
METAR LPBJ	160500Z	29004KT	250V340	1200 0200W BCFG SCT001 BKN004 16/15	Q1020=
METAR LPBJ	160600Z	29005KT	260V320	0300 FG OVC001 16/16	Q1020=
METAR LPBJ	160700Z	30005KT	260V340	0400 FG OVC001 16/16	Q1020=
METAR LPBJ	160800Z	29003KT	250V340	4000 1000NE BCFG FEW006 BKN010 16/16	Q1020=
METAR LPBJ	160900Z	33004KT	280V020	CAVOK 19/16	Q1020=
METAR LPBJ	161000Z	28004KT	230V030	CAVOK 23/15	Q1021=
METAR LPBJ	161100Z	28004KT	200V330	CAVOK 26/15	Q1020=
METAR LPBJ	161200Z	28004KT	220V360	CAVOK 29/12	Q1020=

---

**Tabela A.5** Comunicados das observações regulares do Aeródromo de Beja - Base Aérea do dia 18/07/2013.

---

METAR LPBJ	172100Z	28007KT	CAVOK	24/08	Q1019=
METAR LPBJ	172200Z	28007KT	CAVOK	22/09	Q1020=
METAR LPBJ	172300Z	27007KT	CAVOK	20/14	Q1020=
METAR LPBJ	180000Z	27006KT	CAVOK	18/15	Q1020=
METAR LPBJ	180100Z	29005KT	9999	FEW006 17/14	Q1019=
METAR LPBJ	180200Z	30006KT	9999	FEW006 16/14	Q1019=
METAR LPBJ	180300Z	27007KT	0600	FG SCT006 16/16	Q1018=
METAR LPBJ	180400Z	29005KT	0500	FG SCT002 16/16	Q1018=
METAR LPBJ	180500Z	28004KT	0400	FG SCT002 16/16	Q1018=
METAR LPBJ	180600Z	30006KT	0200	FG SCT002 16/16	Q1018=
METAR LPBJ	180700Z	26005KT	230V290	0200 FG VV/// 15/15	Q1019=
METAR LPBJ	180800Z	28006KT	0700	FG VV/// 16/16	Q1019=
METAR LPBJ	180900Z	30005KT	260V330	1800 BR OVC002 17/16	Q1019=
METAR LPBJ	181000Z	32006KT	280V360	8000 SCT008 18/17	Q1019=
METAR LPBJ	181100Z	31004KT	250V010	CAVOK 22/17	Q1018=
METAR LPBJ	181200Z	VRB05KT	CAVOK	25/16	Q1018=

---

**Tabela A.6** Comunicados das observações regulares do Aeródromo da Base Aérea de Talavera la Real - Badajoz do dia 08/12/2012.

---

METAR LEBZ 072100Z NIL=
METAR LEBZ 072200Z NIL=
METAR LEBZ 072300Z NIL=
METAR LEBZ 080000Z NIL=
METAR LEBZ 080100Z NIL=
METAR LEBZ 080200Z NIL=
METAR LEBZ 080300Z NIL=
METAR LEBZ 080400Z NIL=
METAR LEBZ 080500Z 0000KT 9999 BKN010 10/10 Q1021=
METAR LEBZ 080600Z 0000KT 9999 SCT010 SCT015 09/09 Q1022=
METAR LEBZ 080700Z 3200KT 0100 FG VV001 08/08 Q1022=
METAR LEBZ 080800Z 0000KT 0200 FG VV002 08/08 Q1022=
METAR LEBZ 080900Z 0000KT 0300 FG VV002 08/08 Q1023=
METAR LEBZ 081000Z 0000KT 2500 BR FEW004 SCT015 09/09 Q1024=
METAR LEBZ 081100Z 0000KT 9999 BKN020 10/10 Q1024=
METAR LEBZ 081200Z VRB01KT 9999 BKN022 11/11 Q1024=
METAR LEBZ 081300Z 0000KT 9999 BKN023 12/10 Q1024=
METAR LEBZ 081400Z VRB02KT 9999 BKN023 13/10 Q1023=
METAR LEBZ 081500Z 3600KT 320V020 9999 BKN025 13/10 Q1023=

---

**Tabela A.7** Comunicados das observações regulares do Aeródromo da Base Aérea de Talavera la Real - Badajoz do dia 23/12/2012.

---

METAR LEBZ 222100Z NIL=
METAR LEBZ 222200Z NIL=
METAR LEBZ 222300Z NIL=
METAR LEBZ 230000Z NIL=
METAR LEBZ 230100Z NIL=
METAR LEBZ 230200Z NIL=
METAR LEBZ 230300Z NIL=
METAR LEBZ 230400Z NIL=
METAR LEBZ 230500Z 0000KT 0800 FG VV001 07/06 Q1024=
METAR LEBZ 230600Z 0000KT 0100 FG VV001 07/07 Q1024=
METAR LEBZ 230700Z 1000KT 080V140 0150 FG VV001 08/08 Q1024=
METAR LEBZ 230800Z VRB02KT 0150 FG VV001 07/07 Q1024=
METAR LEBZ 230900Z 1000KT 0200 FG VV001 08/08 Q1024=
METAR LEBZ 231000Z 0000KT 0200 FG VV001 09/09 Q1024=
METAR LEBZ 231100Z 0900KT 0300 FG VV001 10/10 Q1024=
METAR LEBZ 231200Z VRB02KT 9999 FEW002 13/12 Q1023=
METAR LEBZ 231300Z 0000KT CAVOK 16/14 Q1022=
METAR LEBZ 231400Z VRB02KT CAVOK 17/13 Q1021=
METAR LEBZ 231500Z VRB01KT CAVOK 18/12 Q1021=

---

**Tabela A.8** Comunicados das observações regulares do Aeródromo da Base Aérea de Talavera la Real - Badajoz do dia 05/02/2013.

---

METAR	LEBZ	050000Z	NIL=
METAR	LEBZ	050100Z	NIL=
METAR	LEBZ	050200Z	NIL=
METAR	LEBZ	050300Z	NIL=
METAR	LEBZ	050400Z	NIL=
METAR	LEBZ	050500Z	00000KT CAVOK 04/03 Q1027=
METAR	LEBZ	050600Z	27001KT 0500 FG VV001 04/04 Q1027=
METAR	LEBZ	050700Z	VRB01KT 0300 FG VV001 05/05 Q1027=
METAR	LEBZ	050800Z	25003KT 0300 FG VV001 05/05 Q1028=
METAR	LEBZ	050900Z	26004KT 0300 FG VV001 06/06 Q1028=
METAR	LEBZ	051000Z	28003KT 0800 FG VV002 07/07 Q1028=
METAR	LEBZ	051100Z	NIL=
METAR	LEBZ	051200Z	29004KT 250V330 CAVOK 10/10 Q1028=
METAR	LEBZ	051300Z	29006KT 260V320 CAVOK 13/09 Q1027=
METAR	LEBZ	051400Z	27008KT 240V300 CAVOK 15/09 Q1026=
METAR	LEBZ	051500Z	28010KT 230V320 CAVOK 16/10 Q1025=

---

**Tabela A.9** Comunicados das observações regulares do Aeródromo da Base Aérea de Talavera la Real - Badajoz do dia 16/07/2013.

---

METAR	LEBZ	152100Z	NIL=
METAR	LEBZ	152200Z	NIL=
METAR	LEBZ	152300Z	NIL=
METAR	LEBZ	160000Z	NIL=
METAR	LEBZ	160100Z	NIL=
METAR	LEBZ	160200Z	NIL=
METAR	LEBZ	160300Z	NIL=
METAR	LEBZ	160400Z	26007KT CAVOK 19/15 Q1018=
METAR	LEBZ	160500Z	25005KT CAVOK 19/15 Q1019=
METAR	LEBZ	160600Z	27003KT CAVOK 18/15 Q1019=
METAR	LEBZ	160700Z	30003KT 270V330 CAVOK 20/16 Q1020=
METAR	LEBZ	160800Z	VRB02KT CAVOK 22/16 Q1020=
METAR	LEBZ	160900Z	VRB02KT CAVOK 24/17 Q1020=
METAR	LEBZ	161000Z	28004KT 220V340 CAVOK 27/15 Q1020=
METAR	LEBZ	161100Z	31004KT CAVOK 29/14 Q1019=
METAR	LEBZ	161200Z	33007KT 290V030 CAVOK 31/15 Q1019=

---

**Tabela A.10** Comunicados das observações regulares do Aeródromo da Base Aérea de Talavera La Real - Badajoz do dia 18/07/2013.

---

METAR	LEBZ	172100Z	NIL=
METAR	LEBZ	172200Z	NIL=
METAR	LEBZ	172300Z	NIL=
METAR	LEBZ	180000Z	NIL=
METAR	LEBZ	180100Z	NIL=
METAR	LEBZ	180200Z	NIL=
METAR	LEBZ	180300Z	NIL=
METAR	LEBZ	180400Z	29003KT CAVOK 18/16 Q1017=
METAR	LEBZ	180500Z	30003KT 8000 NSC 17/16 Q1018=
METAR	LEBZ	180600Z	VRB01KT 8000 NSC 18/17 Q1018=
METAR	LEBZ	180700Z	00000KT CAVOK 19/17 Q1018=
METAR	LEBZ	180800Z	VRB01KT CAVOK 22/18 Q1018=
METAR	LEBZ	180900Z	02002KT CAVOK 24/18 Q1018=
METAR	LEBZ	181000Z	VRB02KT CAVOK 27/17 Q1018=
METAR	LEBZ	181100Z	08003KT CAVOK 29/17 Q1018=
METAR	LEBZ	181200Z	02003KT 310V090 CAVOK 31/17 Q1017=

---

## ANEXO 3.B – Características Espectrais dos Canais do SEVIRI

**Tabela A.11** Características dos canais do SEVIRI em termos de comprimento de onda e as suas principais áreas de aplicação.

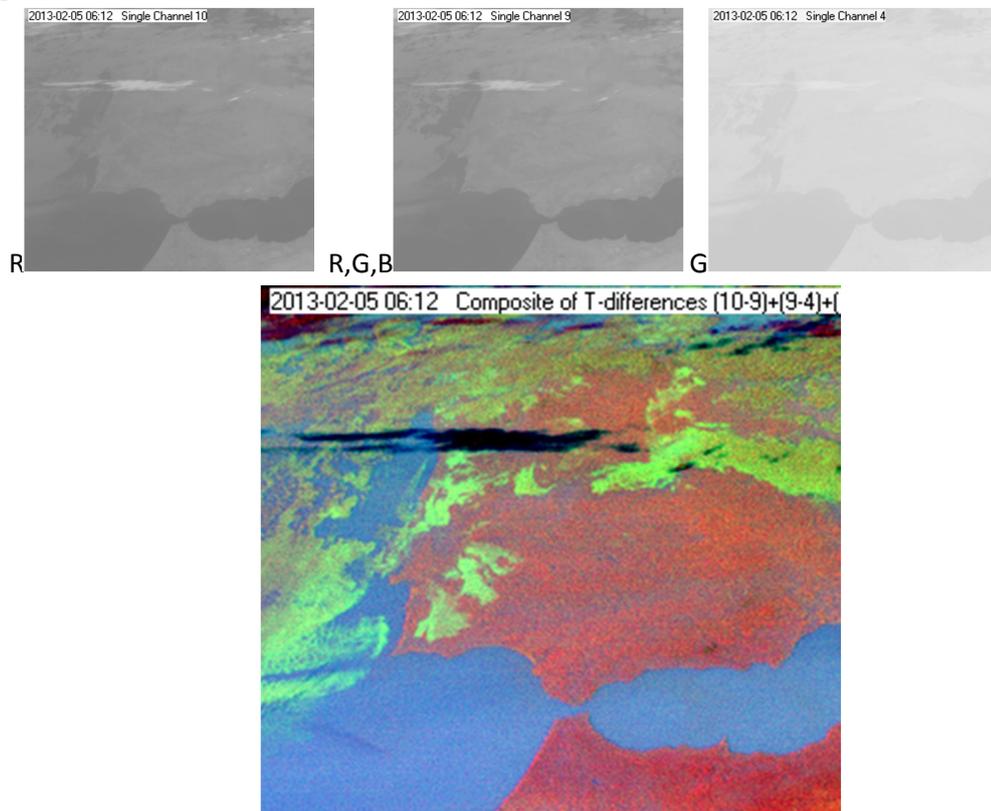
Canal No.	Spectral Band ( $\mu\text{m}$ )	Characteristics of Spectral Band ( $\mu\text{m}$ )			Resolution at Equator ( $0^\circ\text{W};0^\circ\text{N}$ )	Main observational application
		$\lambda_{\text{cen}}$	$\lambda_{\text{min}}$	$\lambda_{\text{max}}$		
1	VIS0.6	0.635	0.56	0.71	3 km	Surface, clouds, wind fields
2	VIS0.8	0.81	0.74	0.88	3 km	Surface, clouds, wind fields
3	NIR1.6	1.64	1.50	1.78	3 km	Surface, cloud phase
4	IR3.9	3.90	3.48	4.36	3 km	Surface, clouds, wind fields
5	WV6.2	6.25	5.35	7.15	3 km	Water vapor, high level clouds, atmospheric instability
6	WV7.3	7.35	6.85	7.85	3 km	Water vapor, atmospheric instability
7	IR8.7	8.70	8.30	9.1	3 km	Surface, clouds, atmospheric instability
8	IR9.7	9.66	9.38	9.94	3 km	Ozone
9	IR10.8	10.80	9.80	11.80	3 km	Surface, clouds, wind fields, atmospheric instability
10	IR12.0	12.00	11.00	13.00	3 km	Surface, clouds, atmospheric instability
11	IR13.4	13.40	12.40	14.40	3 km	Cirrus cloud height, atmospheric instability
12	HRV	Broadband (about 0.4 – 1.1 $\mu\text{m}$ )			1 km	Surface, clouds

EUMETRAIN (url: <http://eumetrain.org/>)

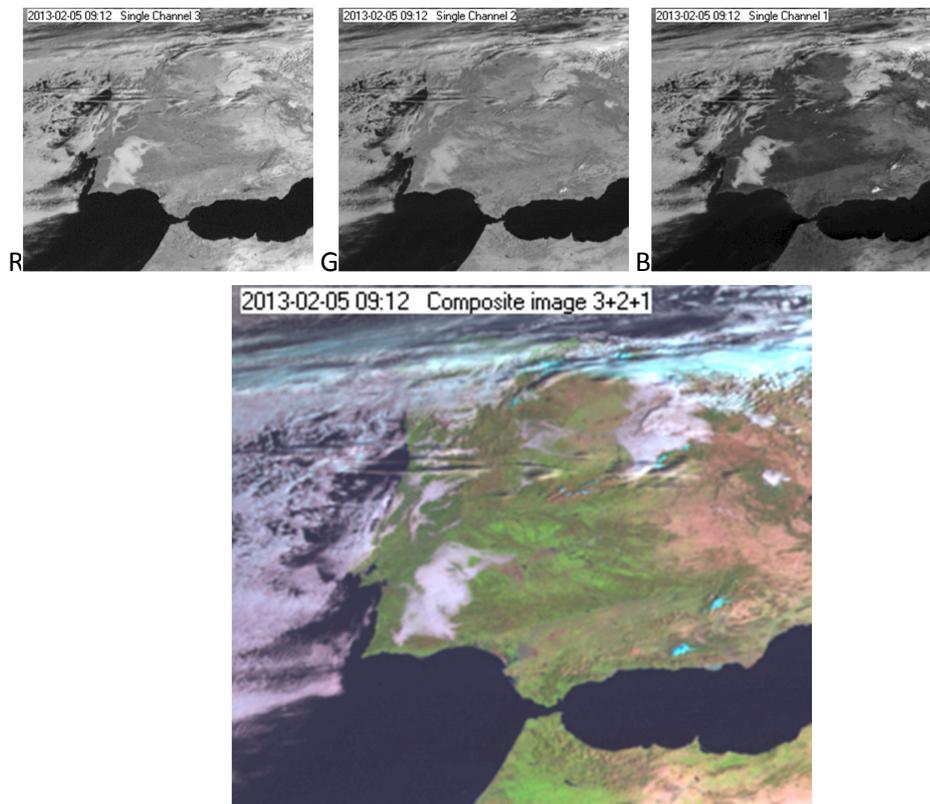
Página intencionalmente em branco

## ANEXO 3.C – Composições RGB e Esquema de Interpretação

### FOG (Night) RGB



### NATURAL RGB



FOG (Night) RGB

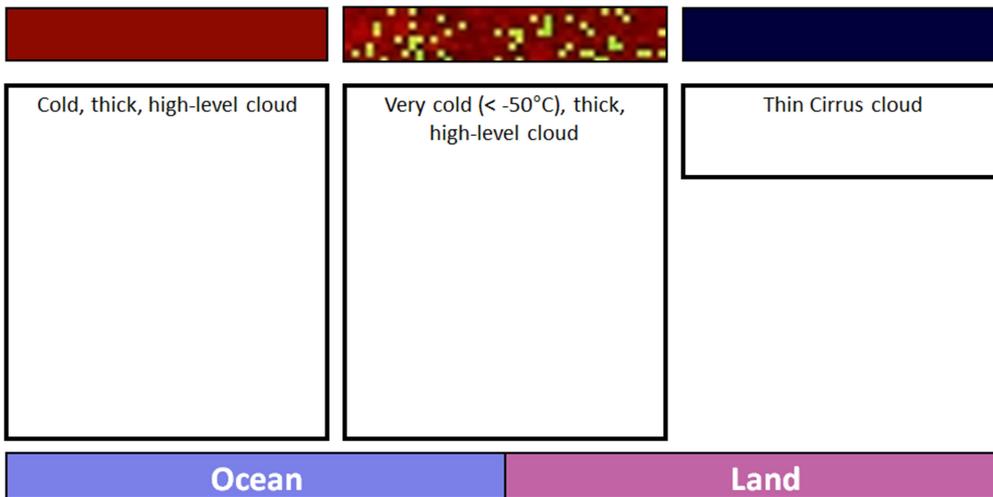


Figura A.9 - Interpretação das cores do *FOG-Night RGB* para nuvens altas

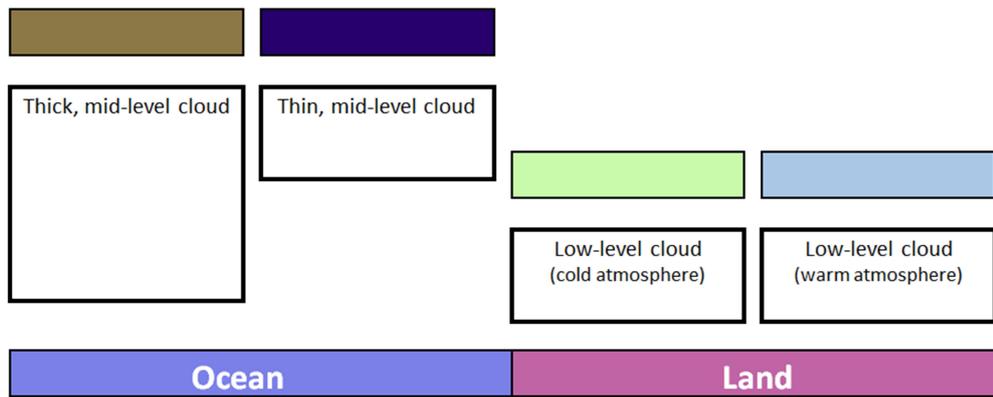


Figura A.10 - Interpretação das cores do *FOG-Night RGB* para nuvens médias e baixas

NATURAL RGB

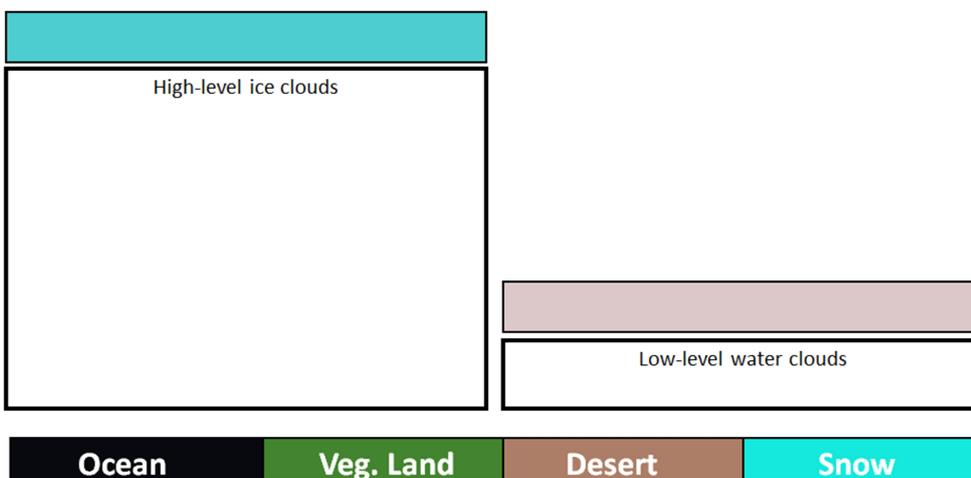


Figura A.11 - Interpretação das cores do *NATURAL RGB*  
 url: [www.eumetrain.org/IntGuide/](http://www.eumetrain.org/IntGuide/)

## ANEXO 3.D – Utilização da Aplicação BEAM\_VISAT

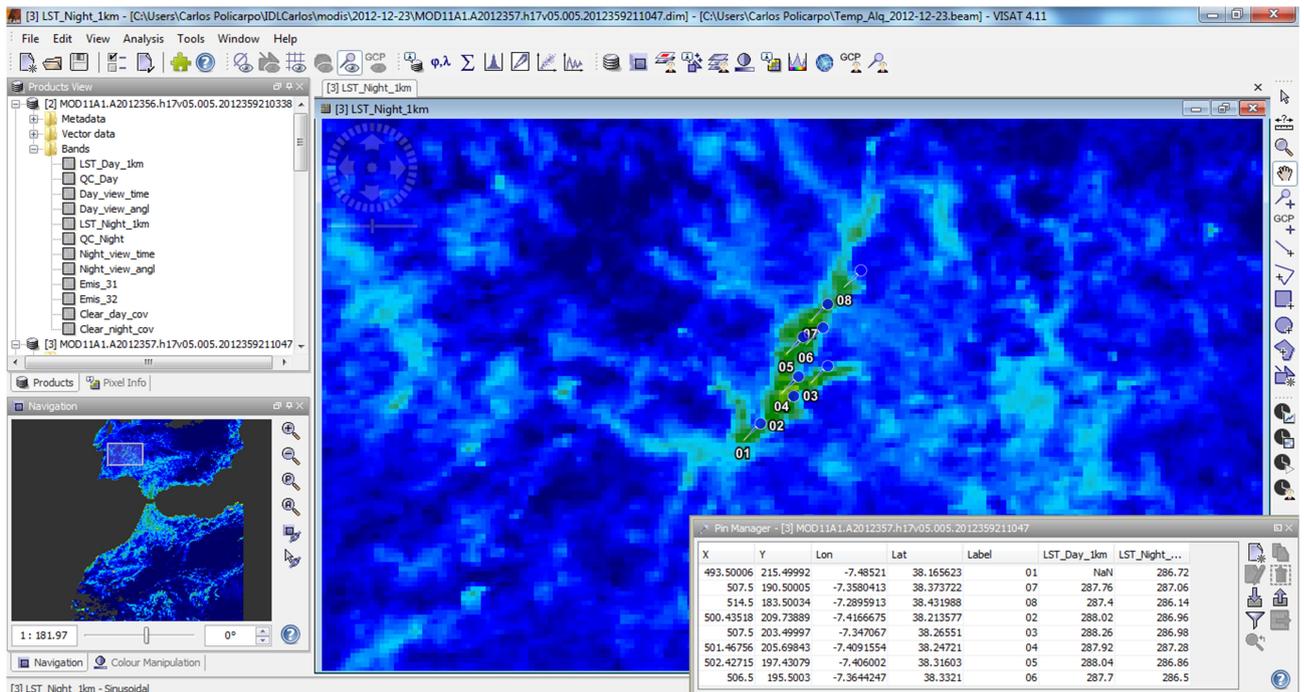


Figura A.12 - Análise de dados do MOD11 – Land Surface Temperature (MODIS)

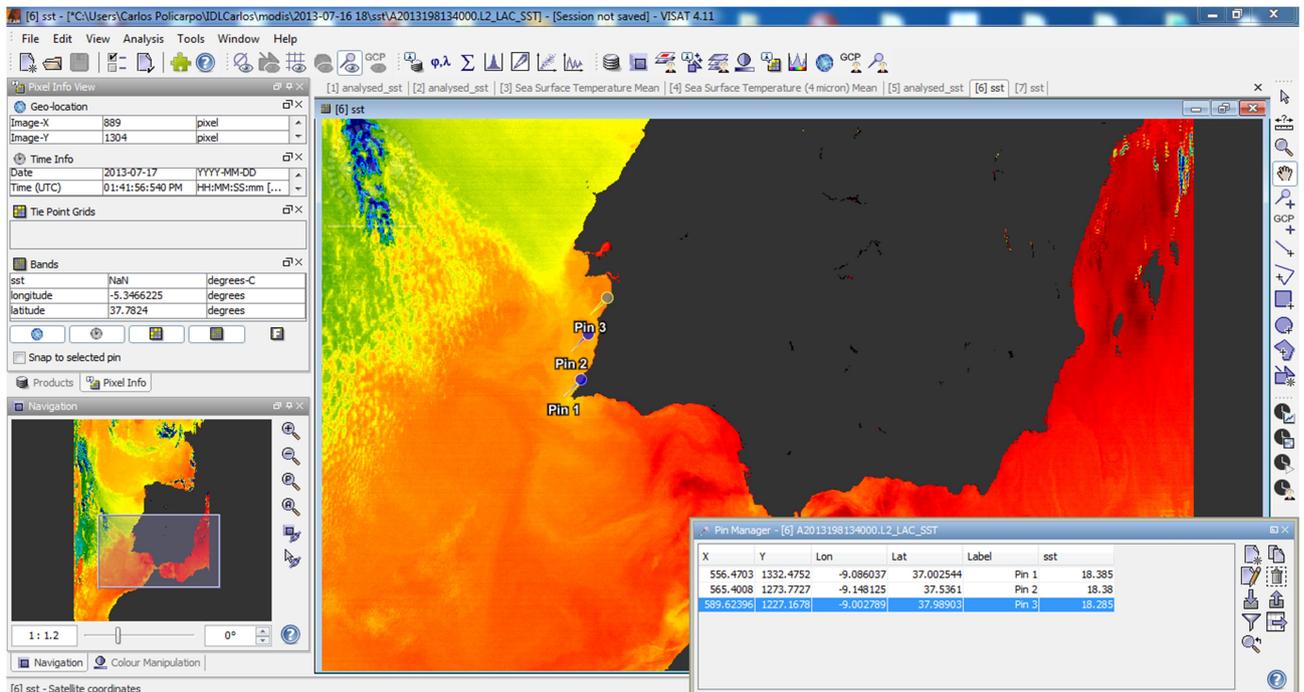


Figura A.13 - Análise de dados do MOD28 – Sea Surface Temperature (MODIS)

Página intencionalmente em branco

## ANEXO 3.E – Alteração da base de dados ECOCLIMAP

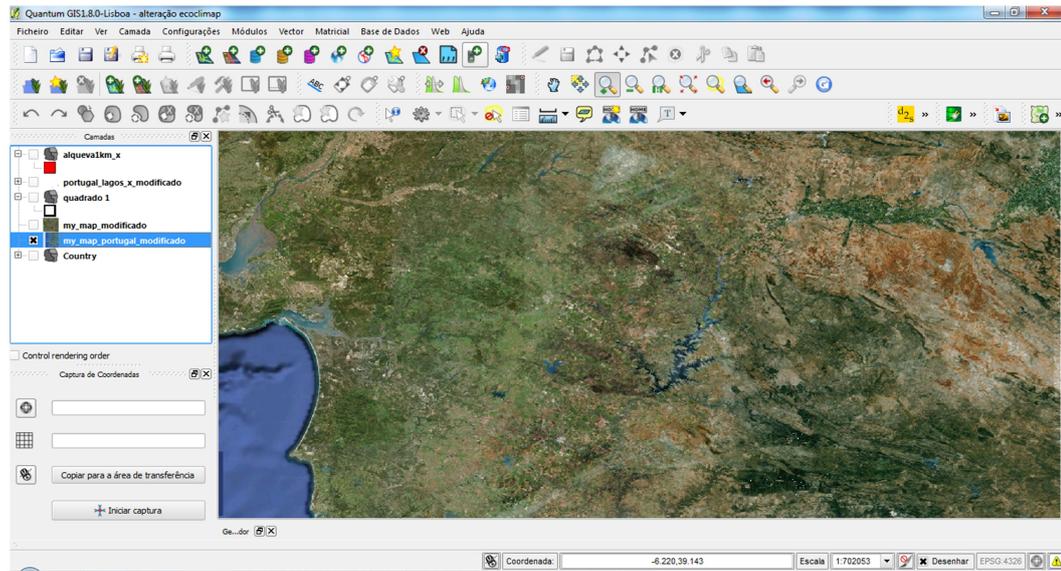


Figura A.14 - Imagem da Região (url: [www.google.com/earth/](http://www.google.com/earth/)) na Aplicação Quantum GIS.

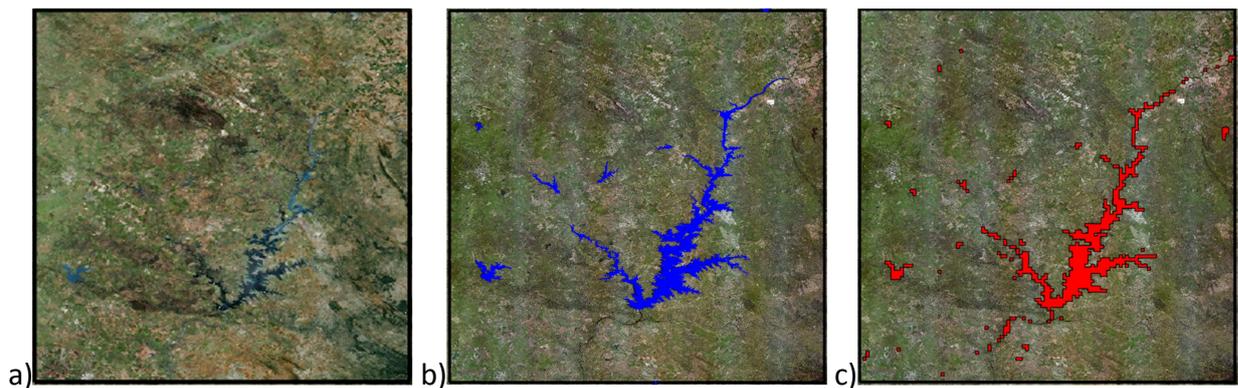


Figura A.15 - Visualização da quadrícula 38.0°N, 7.0°W; 39.0°N, 8.0°W a) imagem de satélite ([www.google.com/earth/](http://www.google.com/earth/)); b) imagem com a "shapefile" das albufeiras (APA - <http://snirh.pt/>) a azul; b) Imagem a inserir no ficheiro ECOCLIMAP a vermelho.

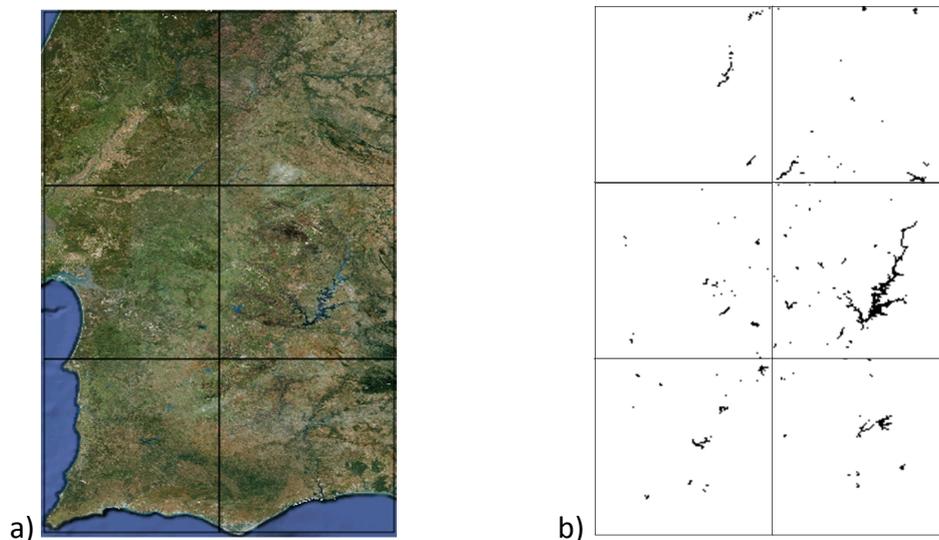


Figura A.16 - a) Visualização da área em que a Base de Dados foi alterada; b) visualização de todos os ficheiros a inserir no ficheiro ECOCLIMAP.

## Programa em linguagem IDL para alteração do Ficheiro ECOCLIMAP

```

DEVICE, RETAIN=2, DECOMPOSED=0
CD, 'D:\MESONH\ECOCLIMAP\'
OPENR, 1, 'ECOCLIMAP_v2.0.dir', /SWAP_ENDIAN

ECO=uintarr(43200, 21600)
READU, 1, ECO
CLOSE, 1

;inserir dados de Alqueva no ECOCLIMAP
READ_PNG, 'alqueva_39-9.png', image_1, /order

FOR i=0, 119 do begin
  FOR j=0, 119 do begin
    IF (image_1[[i], [j]] LT 1) THEN BEGIN
      ECO[[20520+i], [6000+j]]=2u
    ENDIF
  ENDFOR
ENDFOR

;inserir dados de Alqueva no ECOCLIMAP
READ_PNG, 'alqueva_39-8.png', image_1, /order

FOR i=0, 119 do begin
  FOR j=0, 119 do begin
    IF (image_1[[i], [j]] LT 1) THEN BEGIN
      ECO[[20640+i], [6000+j]]=2u
    ENDIF
  ENDFOR
ENDFOR

;inserir dados de Alqueva no ECOCLIMAP
READ_PNG, 'alqueva_38-9.png', image_1, /order

FOR i=0, 119 do begin
  FOR j=0, 119 do begin
    IF (image_1[[i], [j]] LT 1) THEN BEGIN
      ECO[[20520+i], [6120+j]]=2u
    ENDIF
  ENDFOR
ENDFOR

;inserir dados de Alqueva no ECOCLIMAP
READ_PNG, 'alqueva_38-8.png', image_2, /order

FOR i=0, 119 do begin
  FOR j=0, 119 do begin
    IF (image_2[[i], [j]] LT 1) THEN BEGIN
      ECO[[20640+i], [6120+j]]=2u
    ENDIF
  ENDFOR
ENDFOR

;inserir dados de Alqueva no ECOCLIMAP
READ_PNG, 'alqueva_37-9.png', image_3, /order

FOR i=0, 119 do begin
  FOR j=0, 119 do begin
    IF (image_3[[i], [j]] LT 1) THEN BEGIN
      ECO[[20520+i], [6240+j]]=2u
    ENDIF
  ENDFOR
ENDFOR

;inserir dados de Alqueva no ECOCLIMAP
READ_PNG, 'alqueva_37-8.png', image_4, /order

FOR i=0, 119 do begin
  FOR j=0, 119 do begin
    IF (image_4[[i], [j]] LT 1) THEN BEGIN
      ECO[[20640+i], [6240+j]]=2u
    ENDIF
  ENDFOR
ENDFOR

;escrever novo ficheiro ECOCLIMAP
OPENW, 2,
'ECOCLIMAP_v2.0.Alq.dir', /SWAP_ENDIAN
WRITEU, 2, ECO
CLOSE, 2

END

```

## ANEXO 3.F – Exemplo de Aplicação do Modelo FLake

Localização do lago: Lat: 38° 30" N; Long: 7° 30" W. Turbidez: transparência de 1m.  
Profundidade do lago: 30 m

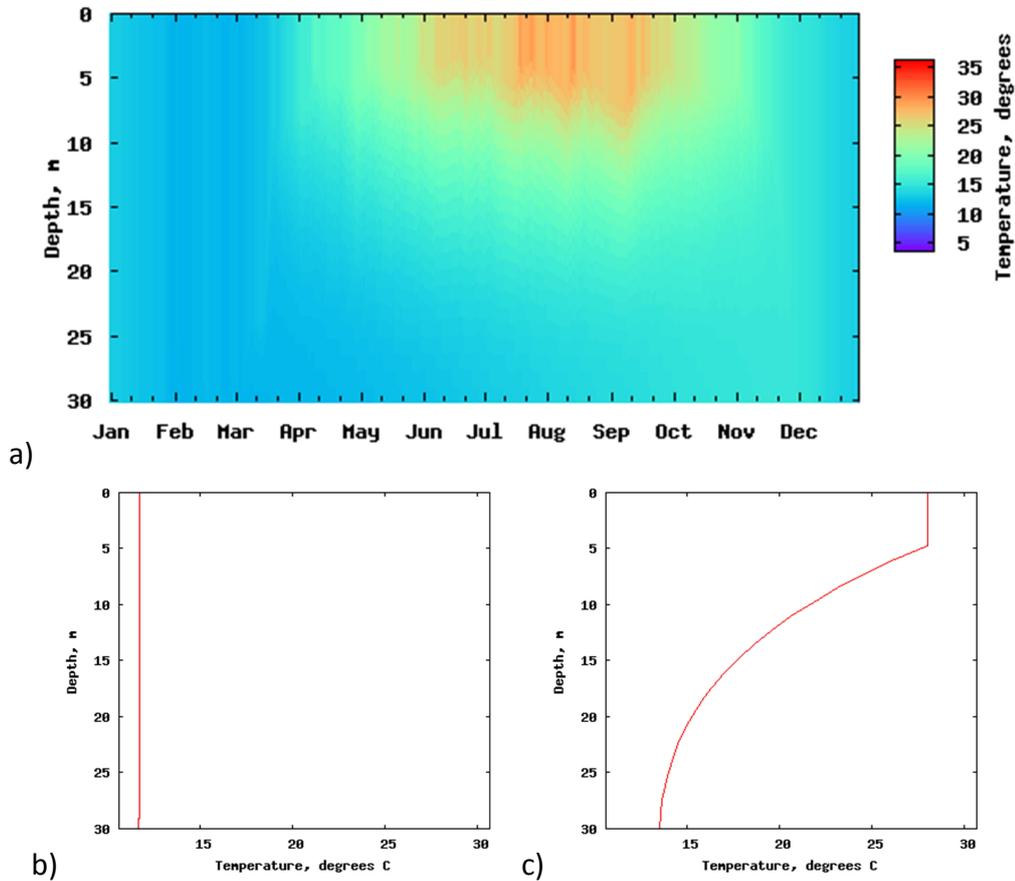


Figura A.17 - Perfil térmico no lago ao longo do ano. b) para o dia 1FEV e c) para o dia 1AGO.

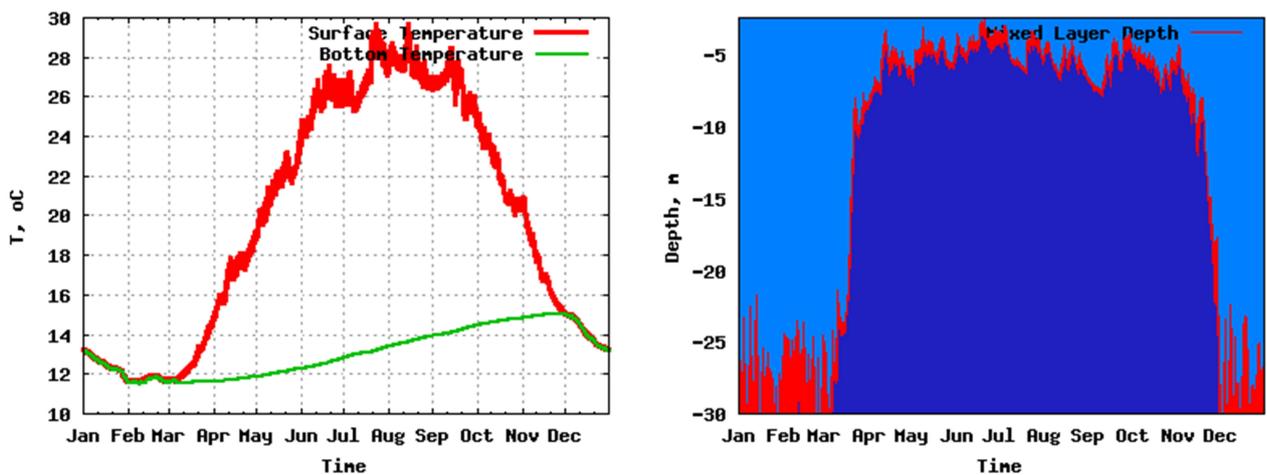


Figura A.18 - Temperatura da superfície e do fundo do lago e espessura da camada de mistura ao longo do ano. url: [www.flake.igb-berlin.de](http://www.flake.igb-berlin.de)

Página intencionalmente em branco

## ANEXO 3.G – Processos de Microfísica do Modelo-MH

Tabela A.12 Processos representados pelos esquemas ICE3 e ICE4 do modelo Meso-NH.

Symbol	Mechanism	Sink	Source	Process
V-HEN-I	$Rv \Rightarrow Ri$	$Rv$	$Ri$	Heterogeneous nucleation
C-HON-I	$Rc \Rightarrow Ri$	$Rc$	$Ri$	Homogeneous nucleation
R-HON-G	$Rr \Rightarrow Rg$	$Rr$	$Rg$	Homogeneous nucleation
C-BER-I	$Rc \Rightarrow Ri$	$Rc$	$Ri$	Bergeron-Findeisen effect
V-DEP-I	$Rv + Ri \Rightarrow Ri$	$Rv$	$Ri$	Deposition (Sublimation)
V-DEP-S <sup>d</sup>	$Rv + Rs \Rightarrow Rs$	$Rv$	$Rs$	Deposition (Sublimation)
V-DEP-G <sup>d</sup>	$Rv + Rg \Rightarrow Rg$	$Rv$	$Rg$	Deposition (Sublimation)
V-CND-C	$Rv \Rightarrow Rc$	$Rv$	$Rc$	Condensation (Evaporation)
C-AUT-R <sup>g</sup>	$Rc + Rc \Rightarrow Rr$	$Rc$	$Rr$	Autoconversion of cloud droplets
I-AUT-S <sup>c</sup>	$Ri + Ri \Rightarrow Rs$	$Ri$	$Rs$	Autoconversion of pristine ice
I-AGG-S <sup>c</sup>	$Ri + Rs \Rightarrow Rs$	$Ri$	$Rs$	Aggregation of pristine ice
R-CFR-(I)G	$Ri + Rr \Rightarrow Rg$	$Rr$	$Rg$	Raindrop contact freezing
I-CFR-(R)G	$Ri + Rr \Rightarrow Rg$	$Ri$	$Rg$	Raindrop contact freezing
C-RIM-S <sup>b</sup>	$Rc + Rs \Rightarrow Rs$	$Rc$	$Rs$	Light riming of aggregates
C-RIM-(S)G <sup>b</sup>	$Rc + Rs \Rightarrow Rg$	$Rc$	$Rg$	Heavy riming of aggregates
S-RIM-(C)G	$Rc + Rs \Rightarrow Rg$	$Rs$	$Rg$	Heavy riming of aggregates
C-ACC-R <sup>f</sup>	$Rc + Rr \Rightarrow Rr$	$Rc$	$Rr$	Accretion of rain and cloud droplets
R-ACC-(S)G <sup>e</sup>	$Rr + Rs \Rightarrow Rg$	$Rr$	$Rg$	Accretion of rain and aggregates
S-ACC-(R)G	$Rr + Rs \Rightarrow Rs$	$Rs$	$Rg$	Accretion of rain and aggregates
C-DRY-G <sup>a</sup>	$Rc + Rg \Rightarrow Rg$	$Rc$	$Rg$	Dry growth of graupel
R-DRY-G <sup>a</sup>	$Rr + Rg \Rightarrow Rg$	$Rr$	$Rg$	Dry growth of graupel
I-DRY-G <sup>a</sup>	$Ri + Rg \Rightarrow Rg$	$Ri$	$Rg$	Dry growth of graupel
S-DRY-G	$Rs + Rg \Rightarrow Rg$	$Rs$	$Rg$	Dry growth of graupel
C-SHD-(G)R	$Rc + Rg \Rightarrow Rr$	$Rc$	$Rr$	Water shedding
C-WET-G	$Rc + Rg \Rightarrow Rg$	$Rc$	$Rg$	Wet growth of graupel
R-WET-G	$Rr + Rg \Rightarrow Rg$	$Rr$	$Rg$	Wet growth of graupel
I-WET-G	$Ri + Rg \Rightarrow Rg$	$Ri$	$Rg$	Wet growth of graupel
S-WET-G	$Rs + Rg \Rightarrow Rg$	$Rs$	$Rg$	Wet growth of graupel
S-WET-(G)H	$Rs + Rg \Rightarrow Rh$	$Rs$	$Rh$	Hail formation
G-WET-(S)H	$Rs + Rg \Rightarrow Rh$	$Rg$	$Rh$	Hail formation
C-WET-H	$Rc + Rh \Rightarrow Rh$	$Rc$	$Rh$	Wet growth of hail
R-WET-H	$Rr + Rh \Rightarrow Rh$	$Rr$	$Rh$	Wet growth of hail
I-WET-H	$Ri + Rh \Rightarrow Rh$	$Ri$	$Rh$	Wet growth of hail
S-WET-H	$Rs + Rh \Rightarrow Rh$	$Rs$	$Rh$	Wet growth of hail
G-WET-H	$Rs + Rg \Rightarrow Rh$	$Rs$	$Rh$	Wet growth of hail
I-MLT-C	$Ri \Rightarrow Rc$	$Ri$	$Rc$	Melting of pristine ice
G-MLT-R <sup>i</sup>	$Rg \Rightarrow Rr$	$Rg$	$Rr$	Melting of graupel
H-MLT-R <sup>i</sup>	$Rh \Rightarrow Rr$	$Rh$	$Rr$	Melting of hail
S-CVM-G	$Rs \Rightarrow Rg$	$Rs$	$Rg$	Conversion melting
R-EVA-V <sup>h</sup>	$Rr \Rightarrow Rv$	$Rr$	$Rv$	Rain evaporation

Lista dos processos da microfísica do modelo Meso-NH e os correspondentes sumidouros e fontes. Na simbologia utilizada a primeira letra identifica a espécie sumidouro (V, C, I, R, S, G, ou H para vapor de água, água líquida de nuvem, cristais de gelo, chuva, neve, *graupel*, e granizo respetivamente), as três letras seguintes representam o nome do processo de microfísica e a última letra identifica a espécie fonte. Uma letra opcional é adicionada entre parenteses para identificar espécies reagentes nos três estados, as letras sobrescritas (a, b, etc...) indicam os grupos utilizados na Figura 3.20 (Lascaux et al.,2006).

Página intencionalmente em branco

## ANEXO 3.H – Comparação dos Resultados de Várias Configurações com as Imagens de Satélite

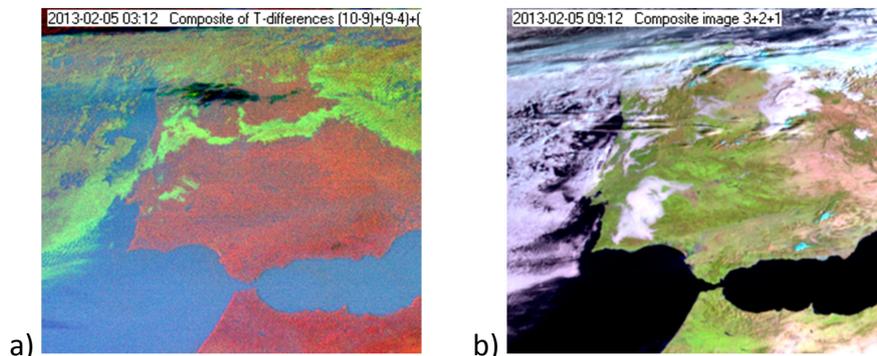


Figura A.19 - Composições RGB: a)FOG RGB 03:12UTC; b)NATURAL RGB 09:12UTC

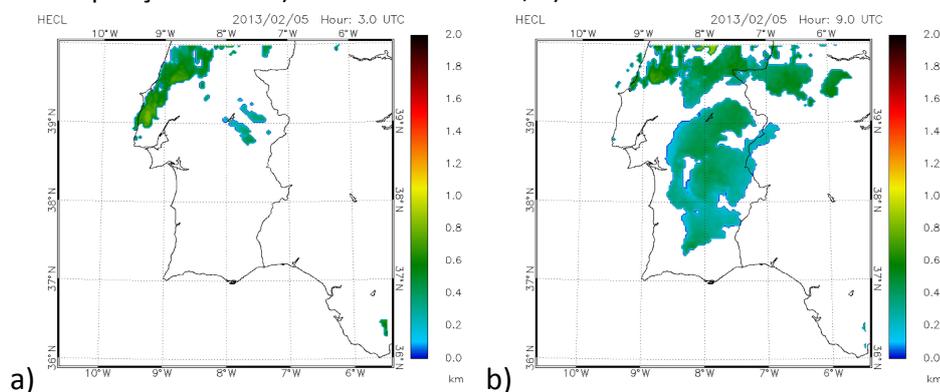


Figura A.20 - Resultados sem *grid-nesting* - 3 km de resolução: a) 03:00UTC; b) 09:00UTC

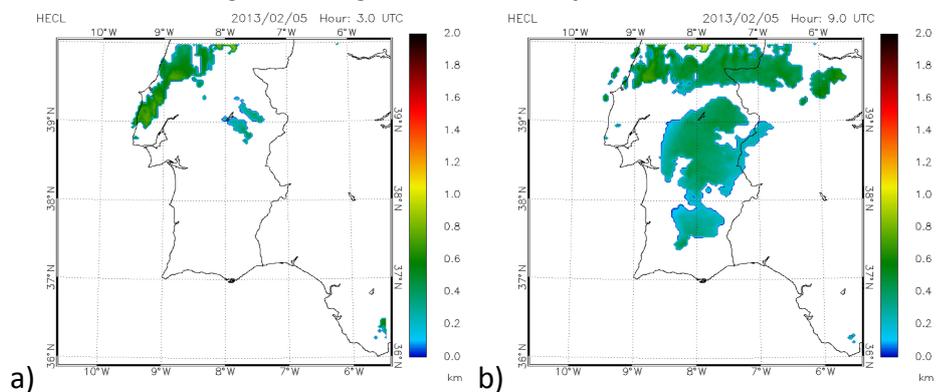


Figura A.21 - Resultados com *grid-nesting* 3:1 (3 km\*; 1 km): a) 03:00UTC; b) 09:00UTC

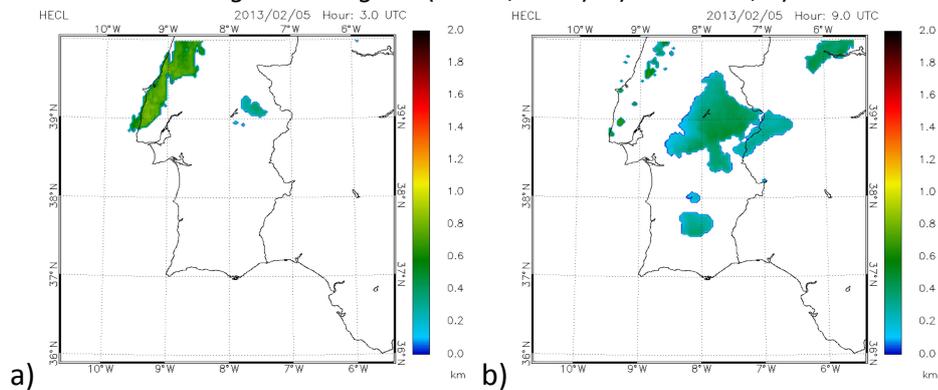


Figura A.22 - Resultados com *grid-nesting* 9:3:1 (9 km; 3 km\*; 1 km): a) 03:00UTC; b) 09:00UTC

\* - domínio apresentado.

Página intencionalmente em branco

## ANEXO 3.1 – Erro Médio e Erro Médio Absoluto entre as Observações e Simulações

ME						
	Alq 10	TW 10	TW 05	TW 02	TW 10_NSC	TW 05_NSC
Temperatura (2 m) [°C]						
Beja-Base Aérea	-0.1	-0.1	-0.1	0.6	-0.2	-0.3
Évora CC	-1.0	-1.1	-0.9	-0.7	-1.2	-0.8
Badajoz-Talavera La Real	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	0.3	-0.1
Humidade Relativa (2m) [%]						
Beja-Base Aérea	-1.2	-1.2	-0.2	-2.6	-0.5	-0.2
Évora CC	9.3	9.6	10.2	7.9	10.3	10.1
Badajoz-Talavera La Real	-2.7	-2.3	-2.4	-2.8	-4.5	-2.6
Velocidade do Vento (10 m) [m/s]						
Beja-Base Aérea	-0.9	-1.0	-1.0	-1.1	-1.0	-1.1
Évora CC	-0.7	-0.9	-1.3	-1.2	-1.0	-1.1
Badajoz-Talavera La Real	-0.1	-0.1	-0.1	0.3	0.0	-0.1
Direção do Vento (10 m) [°]						
Beja-Base Aérea	15.8	17.6	7.1	-2.8	13.4	-11.1
Évora CC	35.3	36.2	26.7	27.0	20.5	24.8
Badajoz-Talavera La Real	0.8	3.9	-7.4	10.3	-5.9	-0.9
Visibilidade Horizontal [m]						
Beja-Base Aérea	1554	1744	676	877	1594	641
Évora CC	1153	1227	1187	1186	1099	1104
Badajoz-Talavera La Real	2813	2800	1796	814	4780	1802
MAE						
Temperatura (2 m) [°C]						
Beja-Base Aérea	1.7	1.6	0.8	0.7	1.5	0.8
Évora CC	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.2
Badajoz-Talavera La Real	0.8	0.8	0.6	0.6	1.0	0.8
Humidade Relativa (2m) [%]						
Beja-Base Aérea	5.9	6.0	4.6	4.7	5.3	4.5
Évora CC	9.3	9.6	10.2	7.9	10.3	10.1
Badajoz-Talavera La Real	5.7	5.7	4.8	5.4	8.0	6.0
Velocidade do Vento (10 m) [m/s]						
Beja-Base Aérea	1.1	1.2	1.3	1.3	1.2	1.2
Évora CC	1.9	1.8	2.0	1.9	2.1	1.8
Badajoz-Talavera La Real	0.9	1.1	1.2	1.0	0.7	0.9
Direção do Vento (10 m) [°]						
Beja-Base Aérea	40.8	40.1	60.3	66.6	43.3	67.8
Évora CC	36.7	38.2	32.0	41.7	22.8	28.5
Badajoz-Talavera La Real	36.5	33.4	47.6	59.3	37.9	71.4
Visibilidade Horizontal [m]						
Beja-Base Aérea	1901	2102	1211	1373	1910	1234
Évora CC	3847	3773	3814	3814	3901	3896
Badajoz-Talavera La Real	2967	2981	1944	1026	4780	1939

Página intencionalmente em branco

## ANEXO 4.1.A – Frequência Mensal de Nevoeiro Segundo a Direção do Vento na Base Aérea de Beja

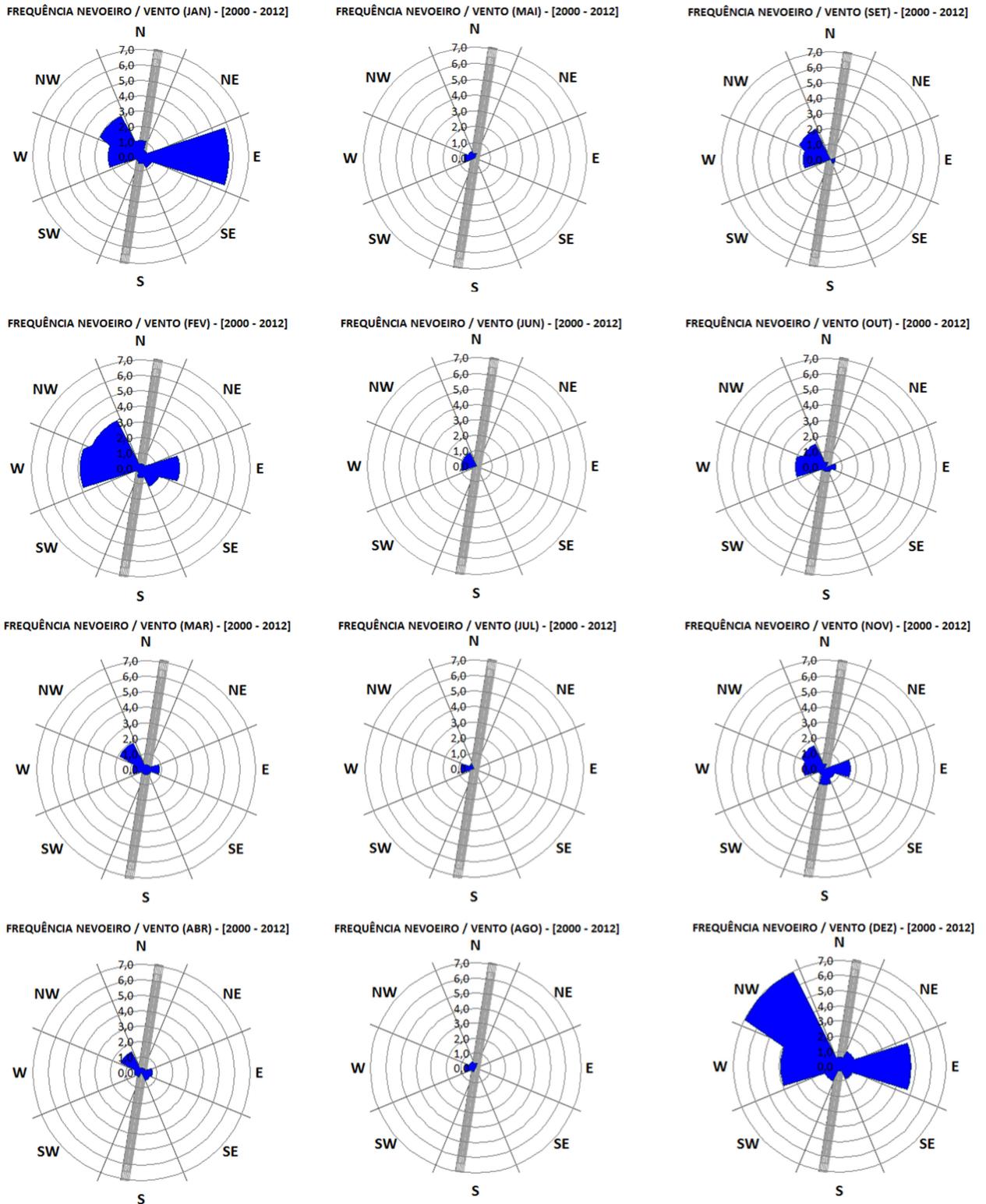
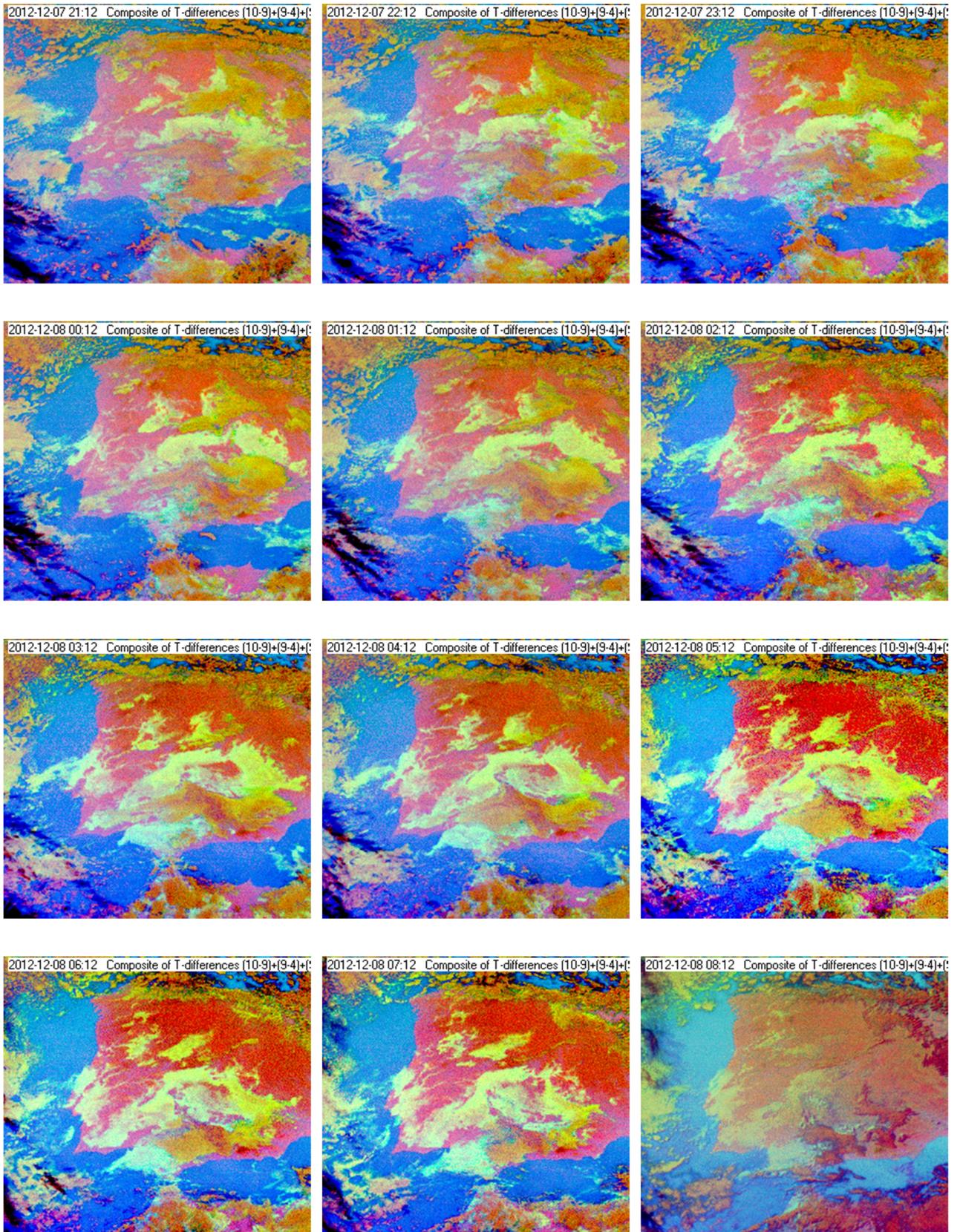
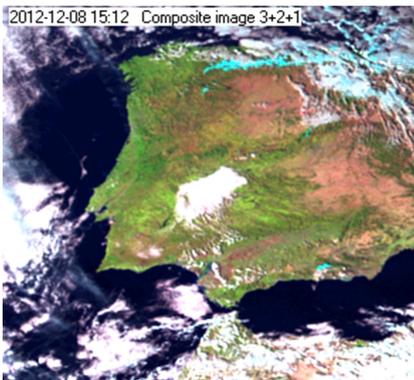
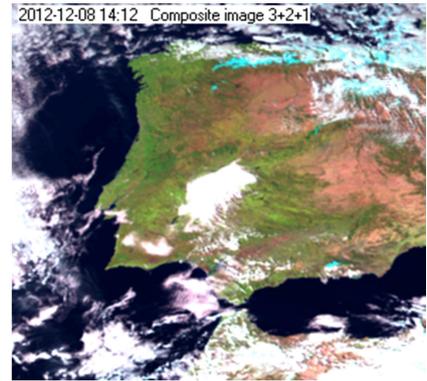
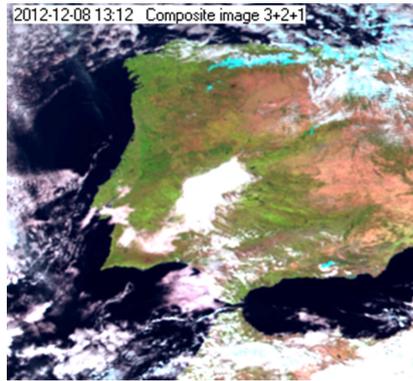
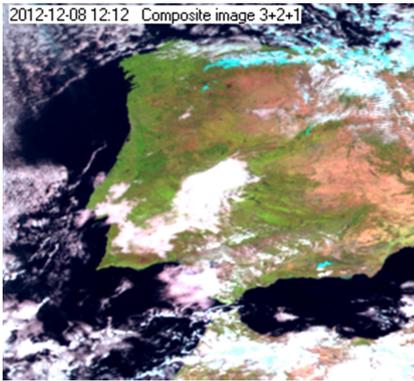
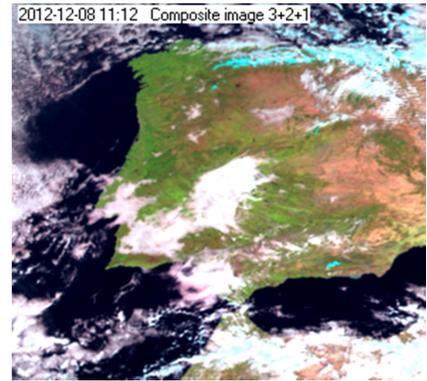
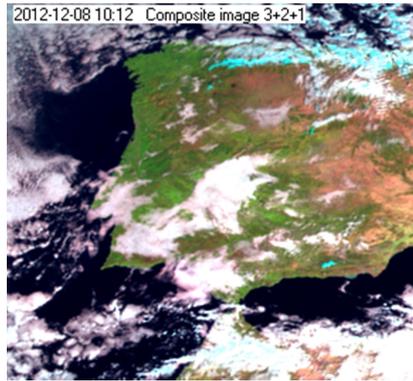
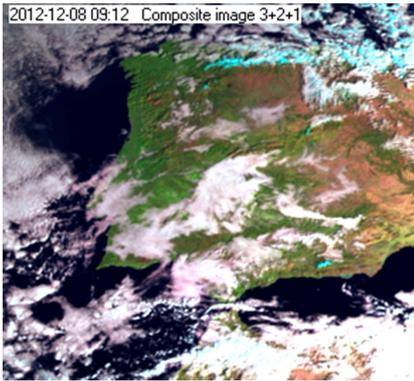


Figura A.1 - Frequência mensal de ocorrência de nevoeiro por direção de vento

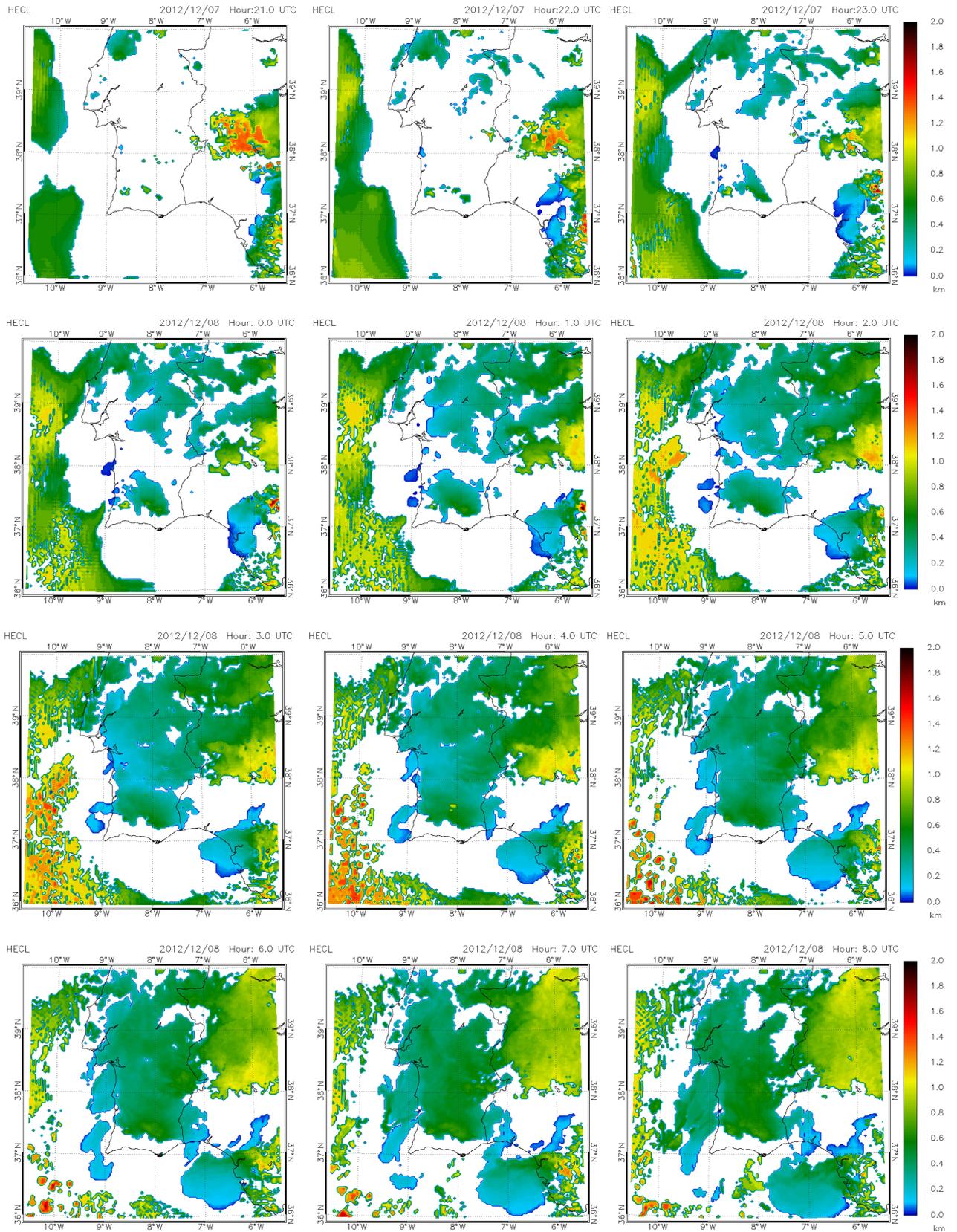
Página intencionalmente em branco

## ANEXO 4.2.A – Sequência de Imagens de Satélite (Caso I)

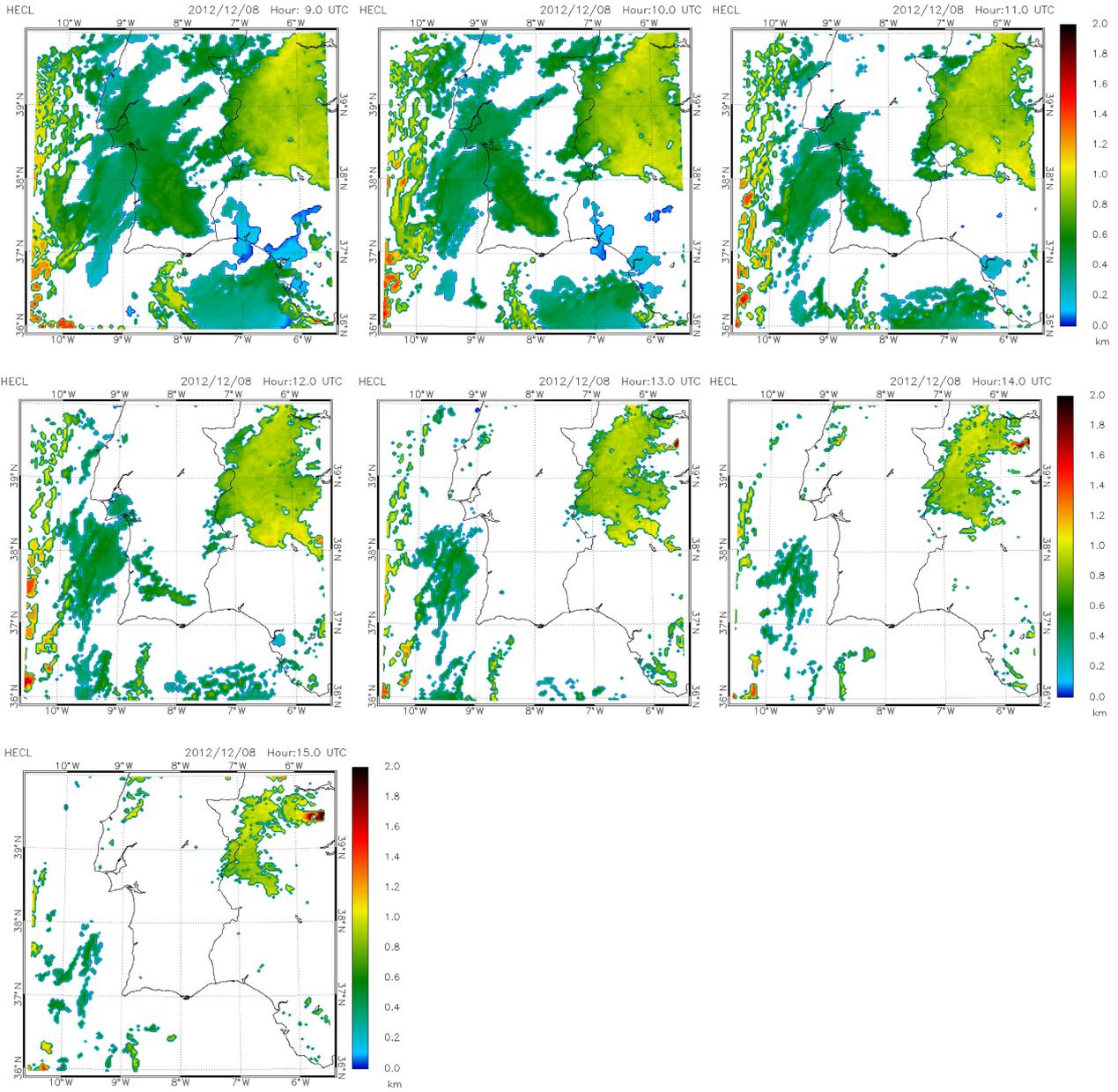




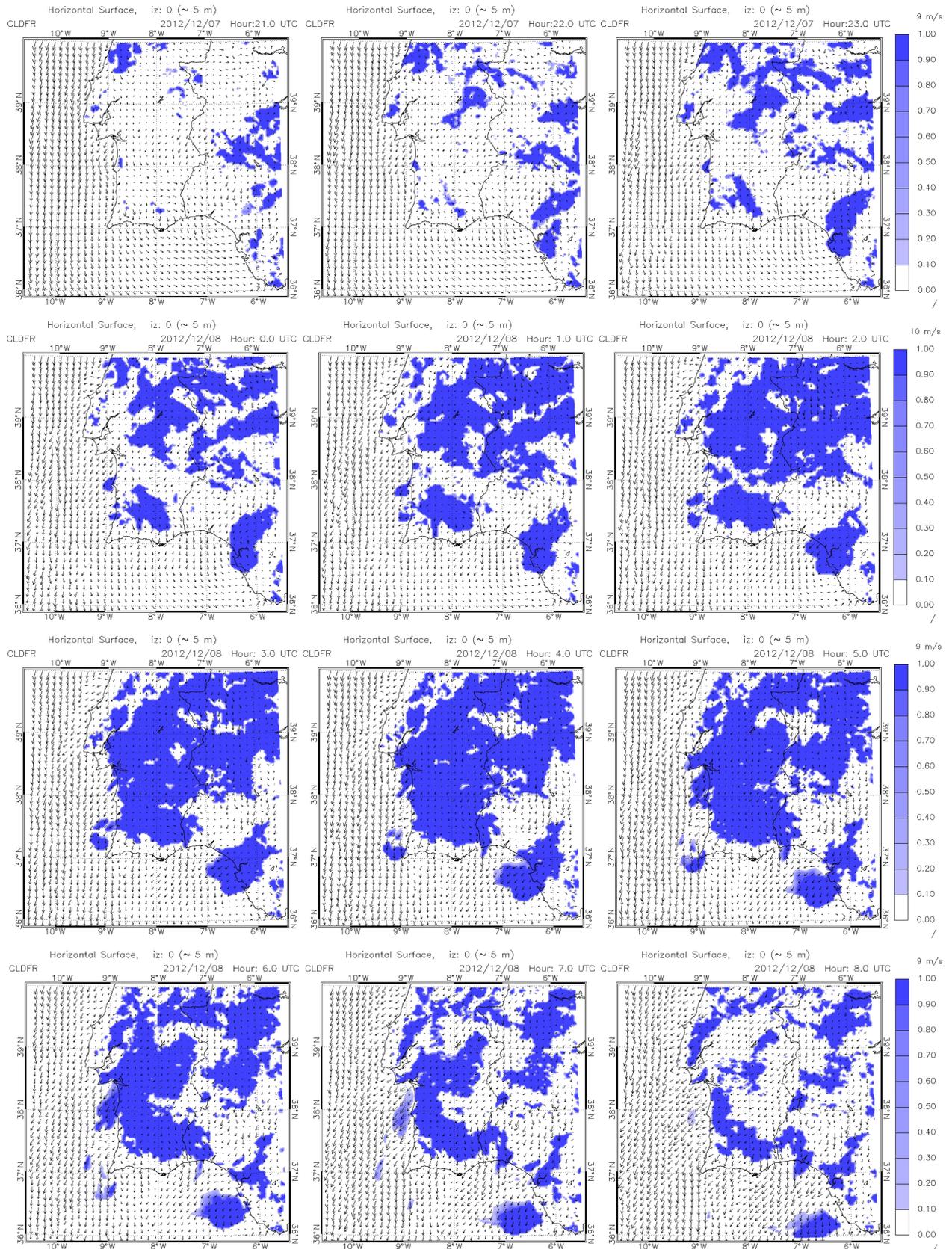
## ANEXO 4.2.B – Altura do Topo das Nuvens – Meso-NH (Caso I)



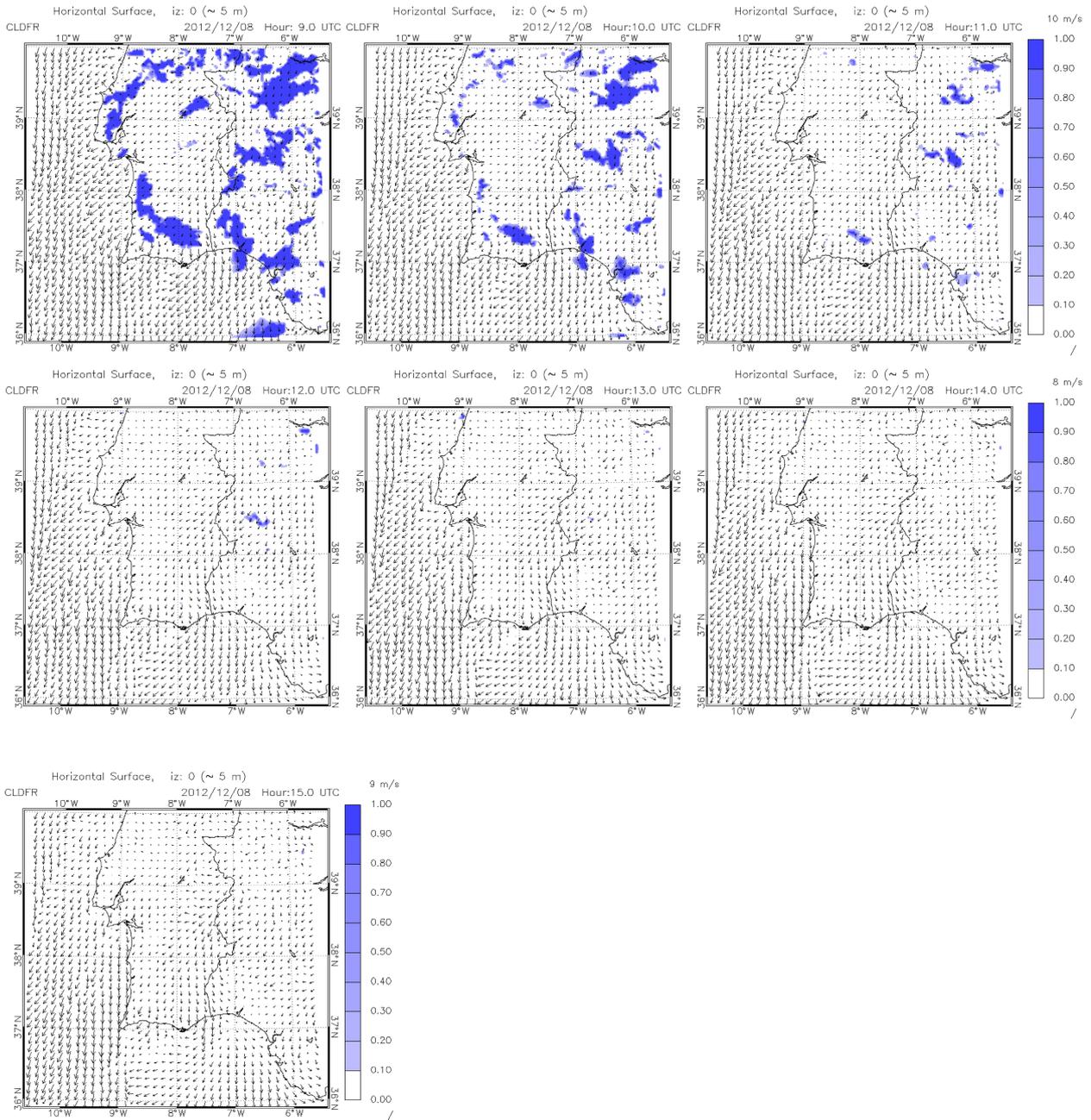
# ANEXO 4.2.B



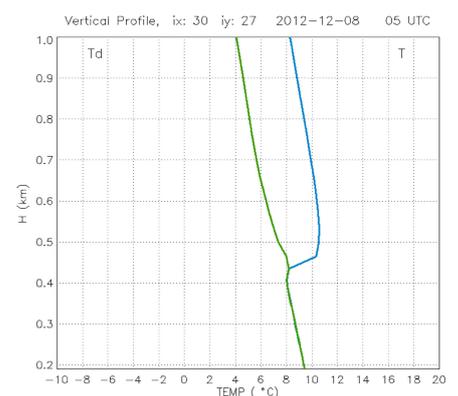
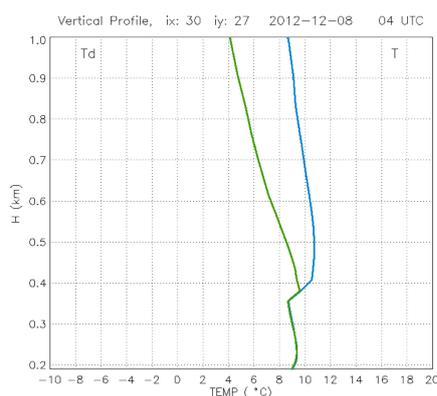
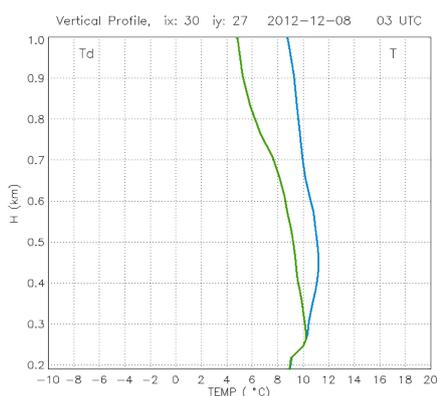
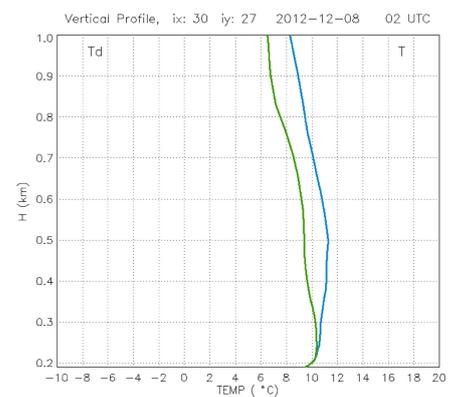
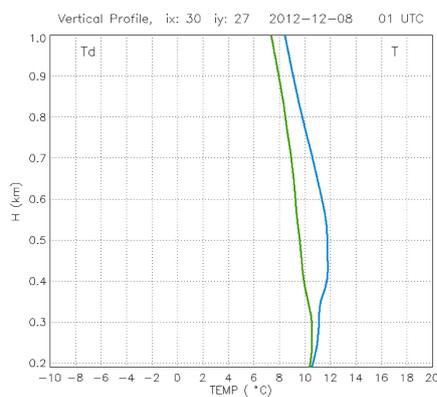
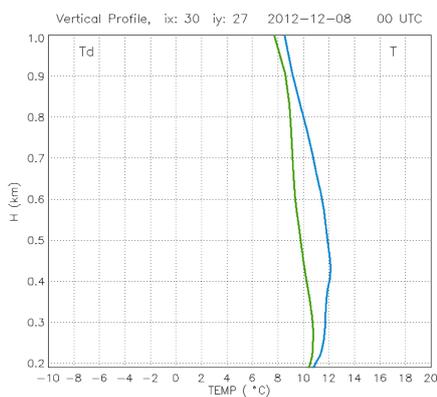
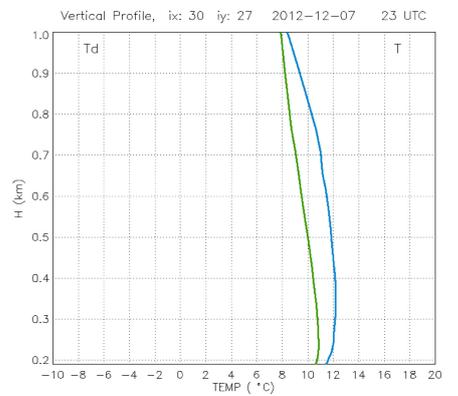
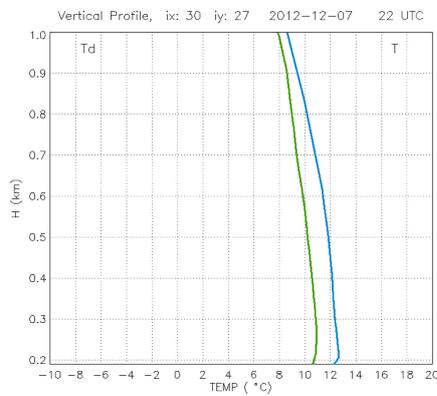
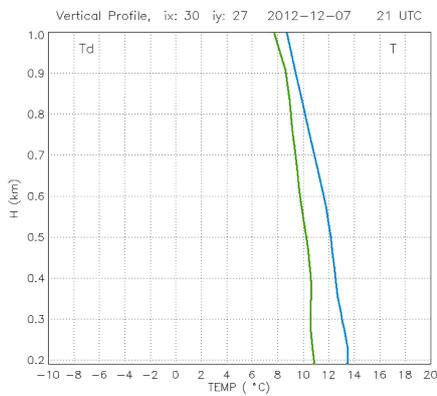
## ANEXO 4.2.C – Fração de Nuvens (Nevoeiro) e Escoamento a 5 m de Altura – Meso-NH (Caso I)



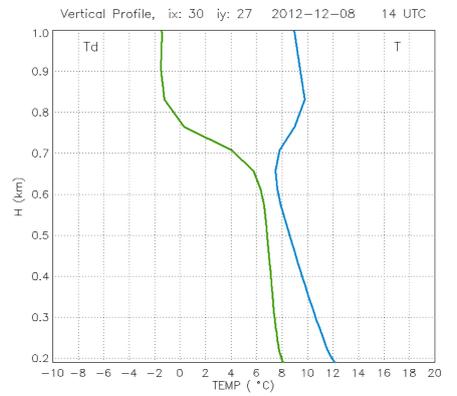
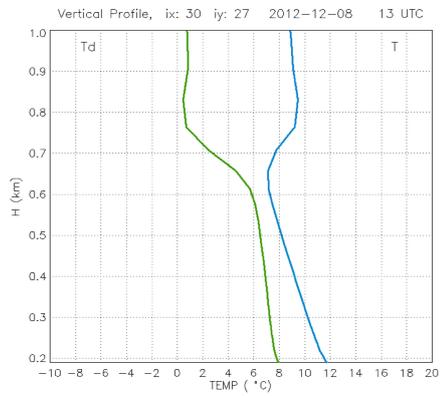
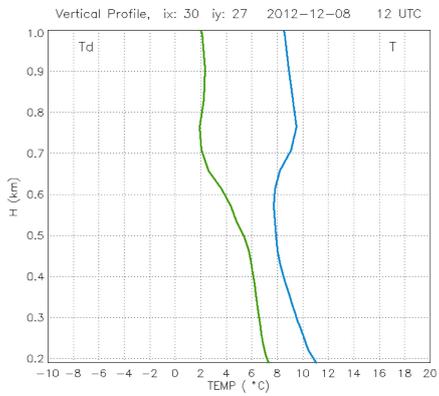
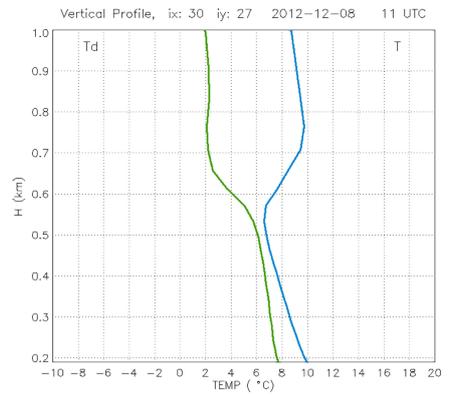
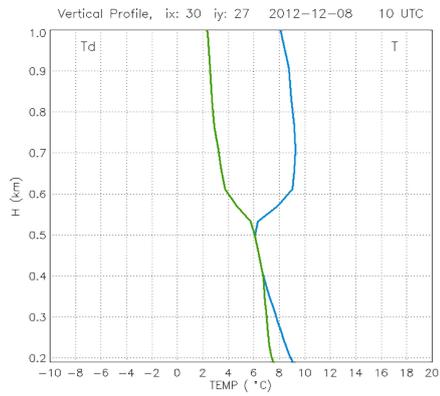
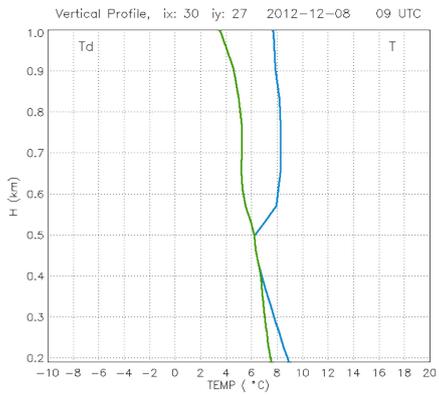
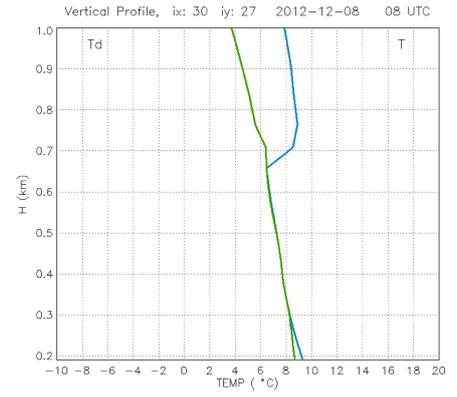
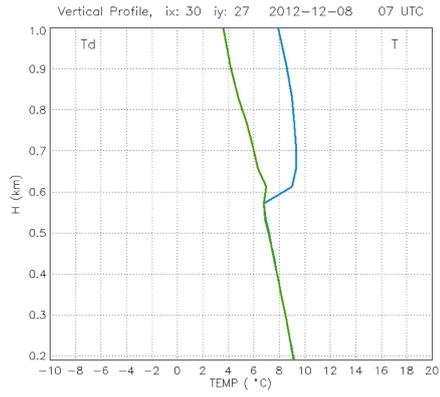
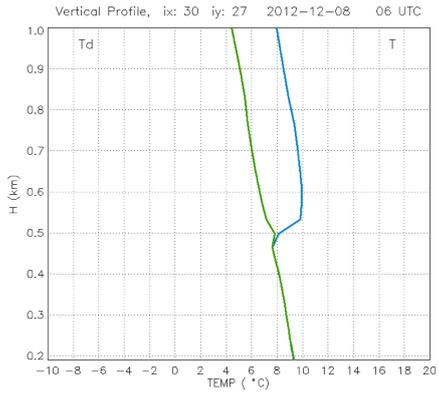
# ANEXO 4.2.C



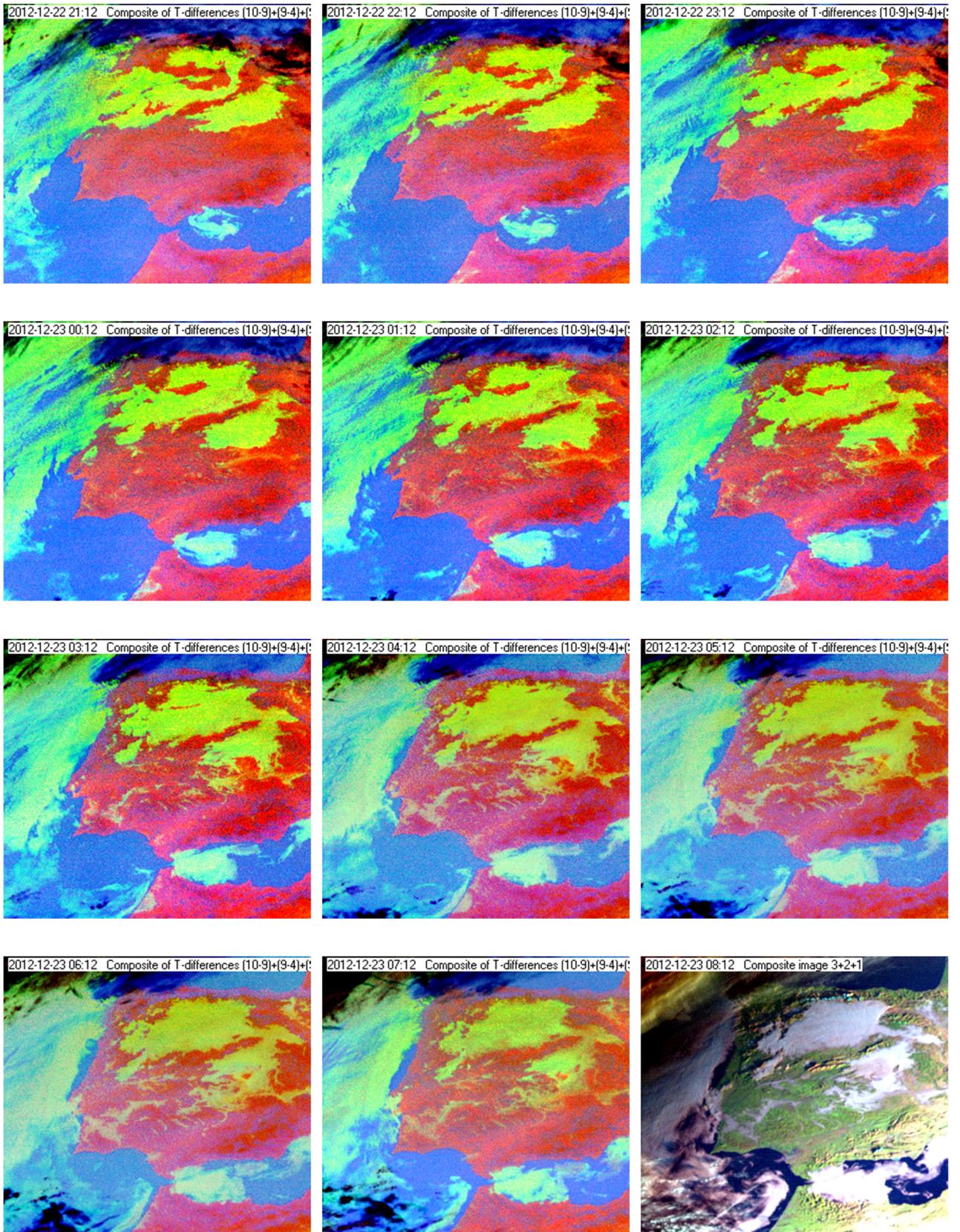
## ANEXO 4.2.D – Perfis Verticais da Temperatura do ar e da Temperatura do Ponto de Orvalho desde a superfície até 1000 m de Altitude para o Ponto de “Beja – Base Aérea” (Caso I).

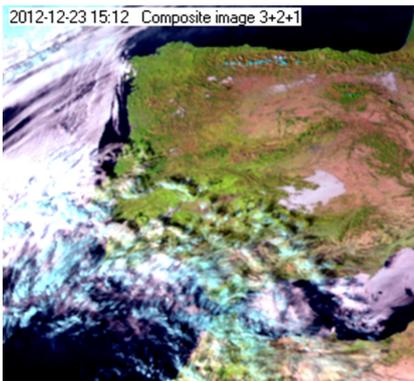
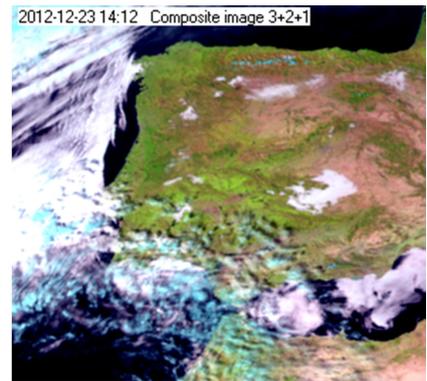
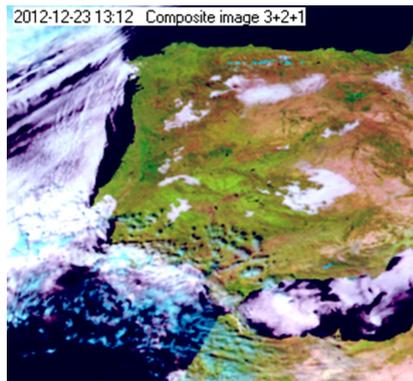
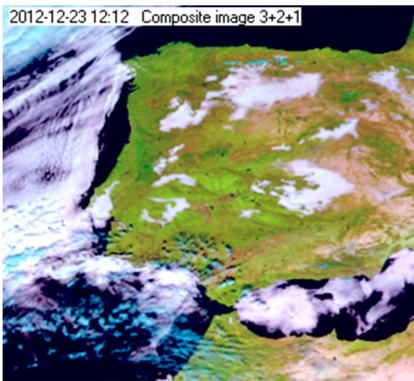
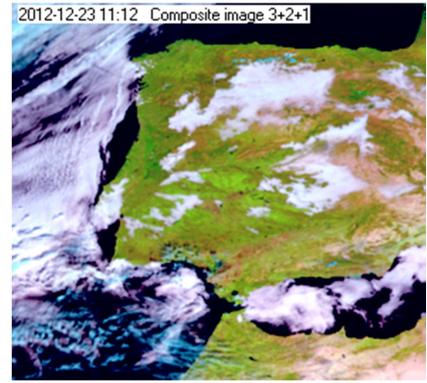
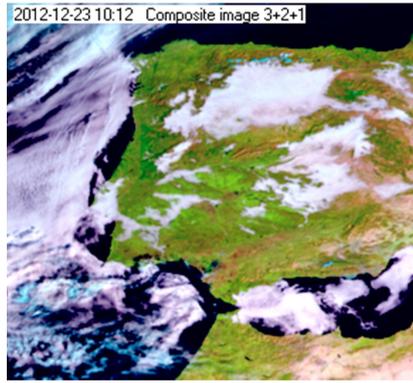
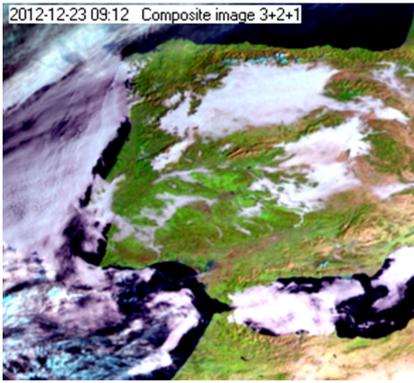


## ANEXO 4.2.D

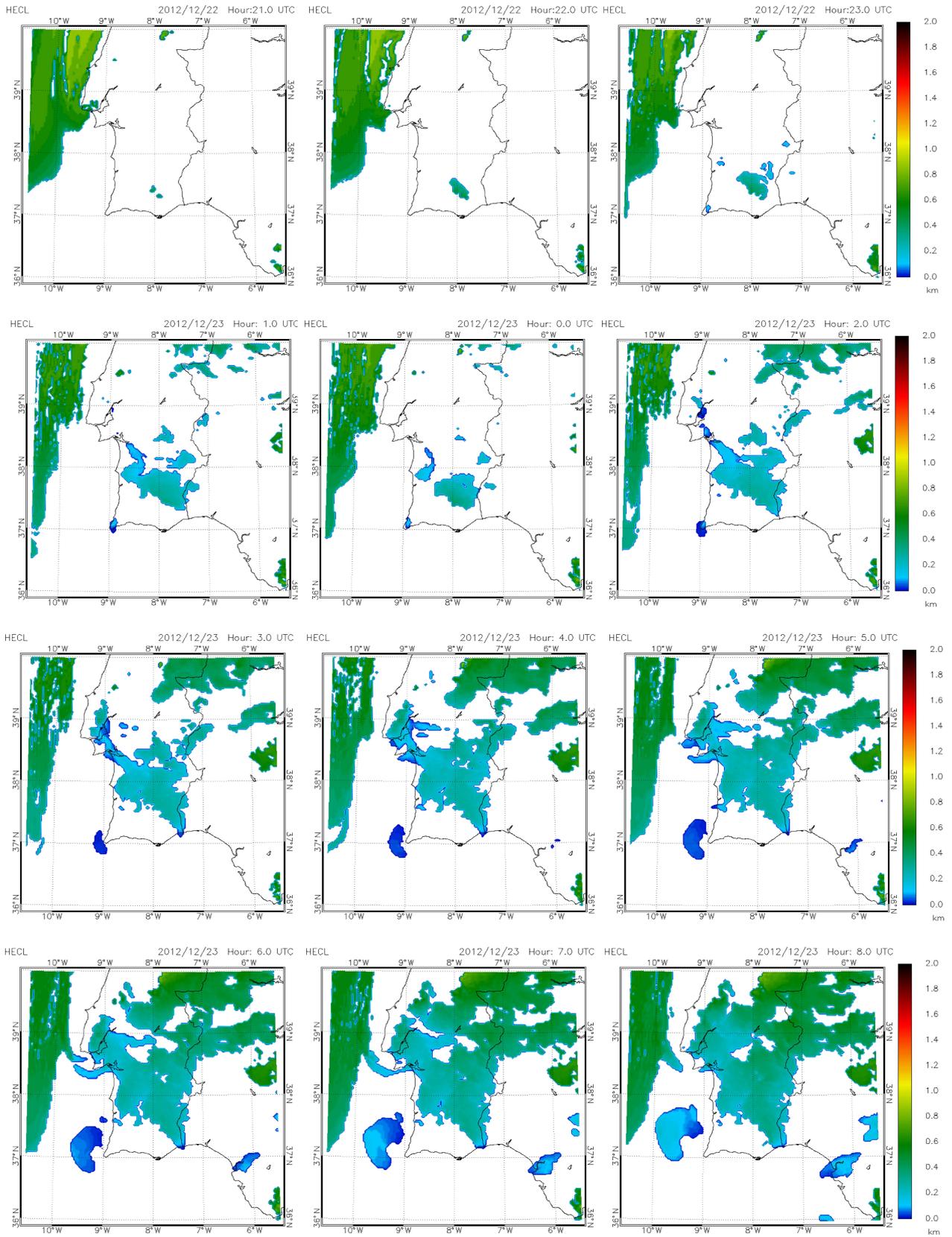


## ANEXO 4.2.E – Sequência de Imagens de Satélite (Caso II)

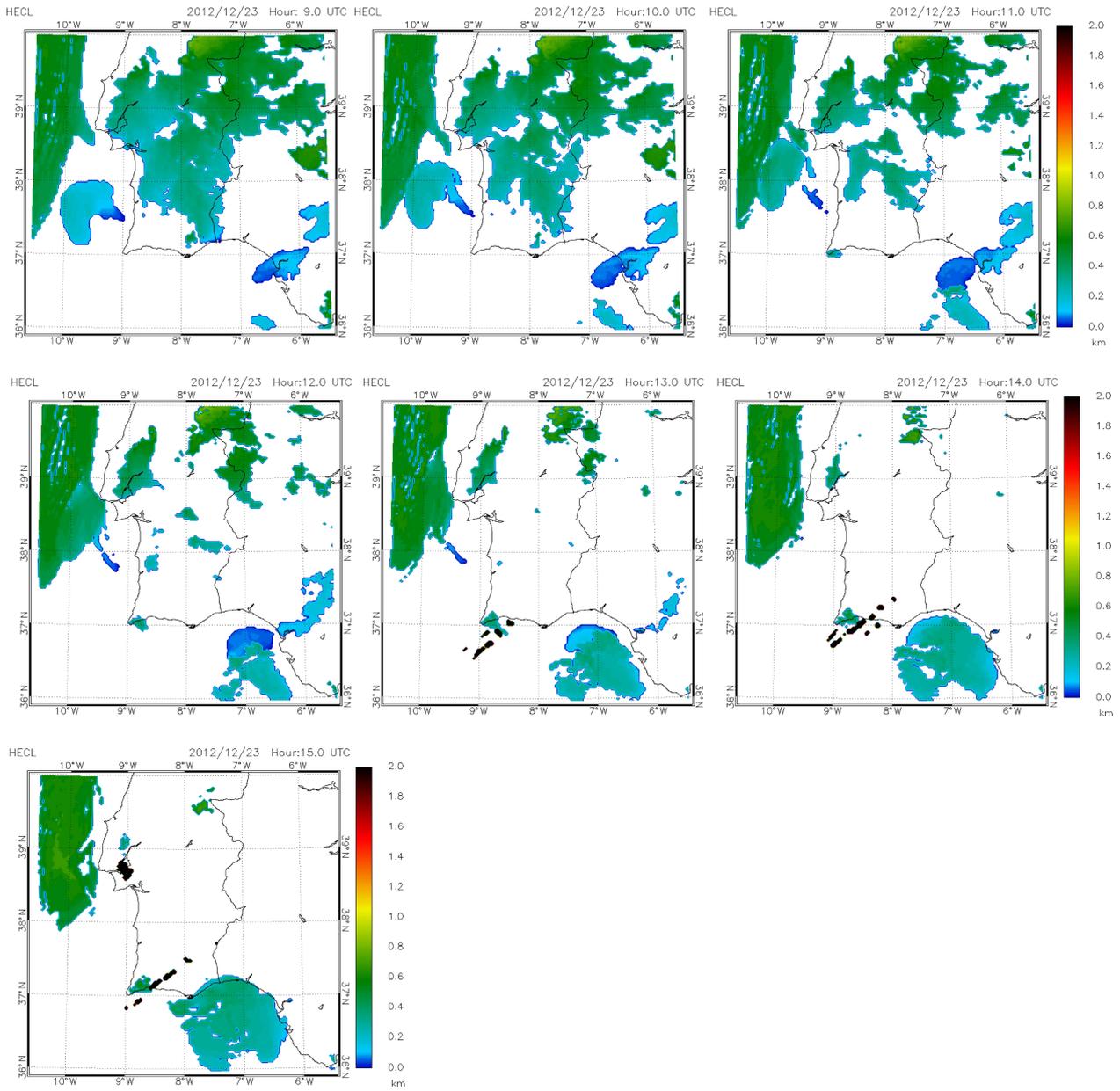




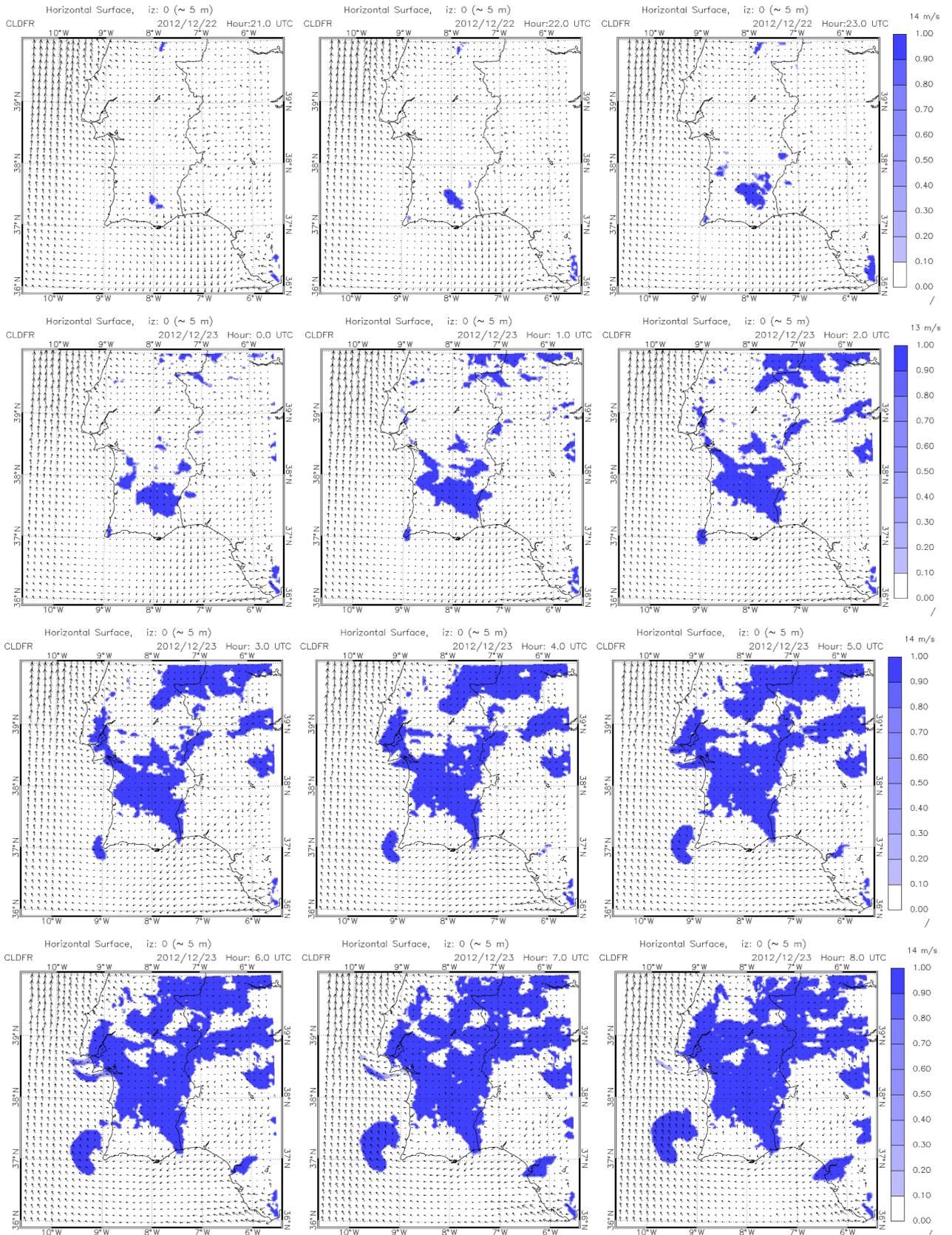
## ANEXO 4.2.F – Altura do Topo das Nuvens – Meso-NH (Caso II)



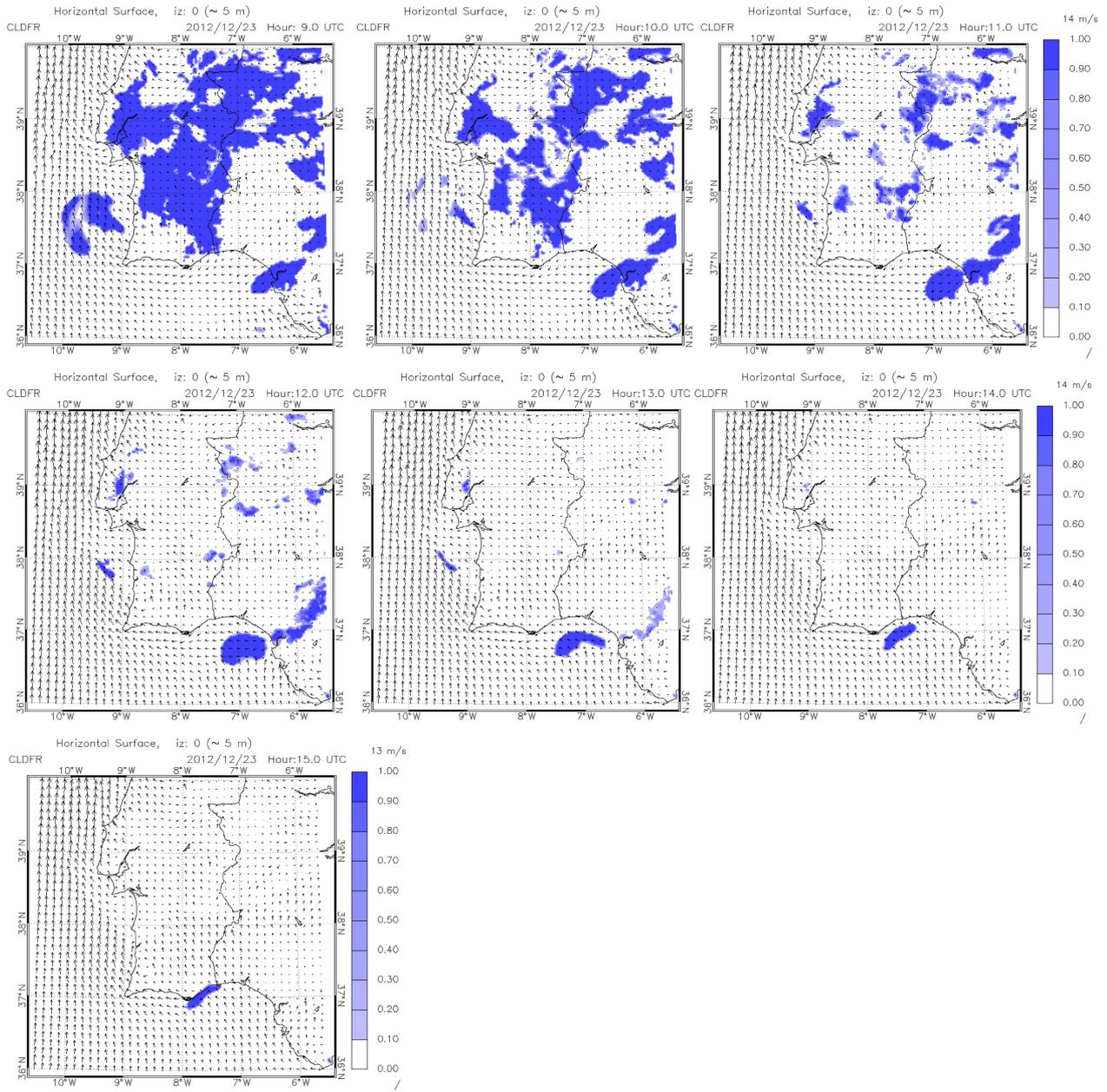
# ANEXO 4.2.F



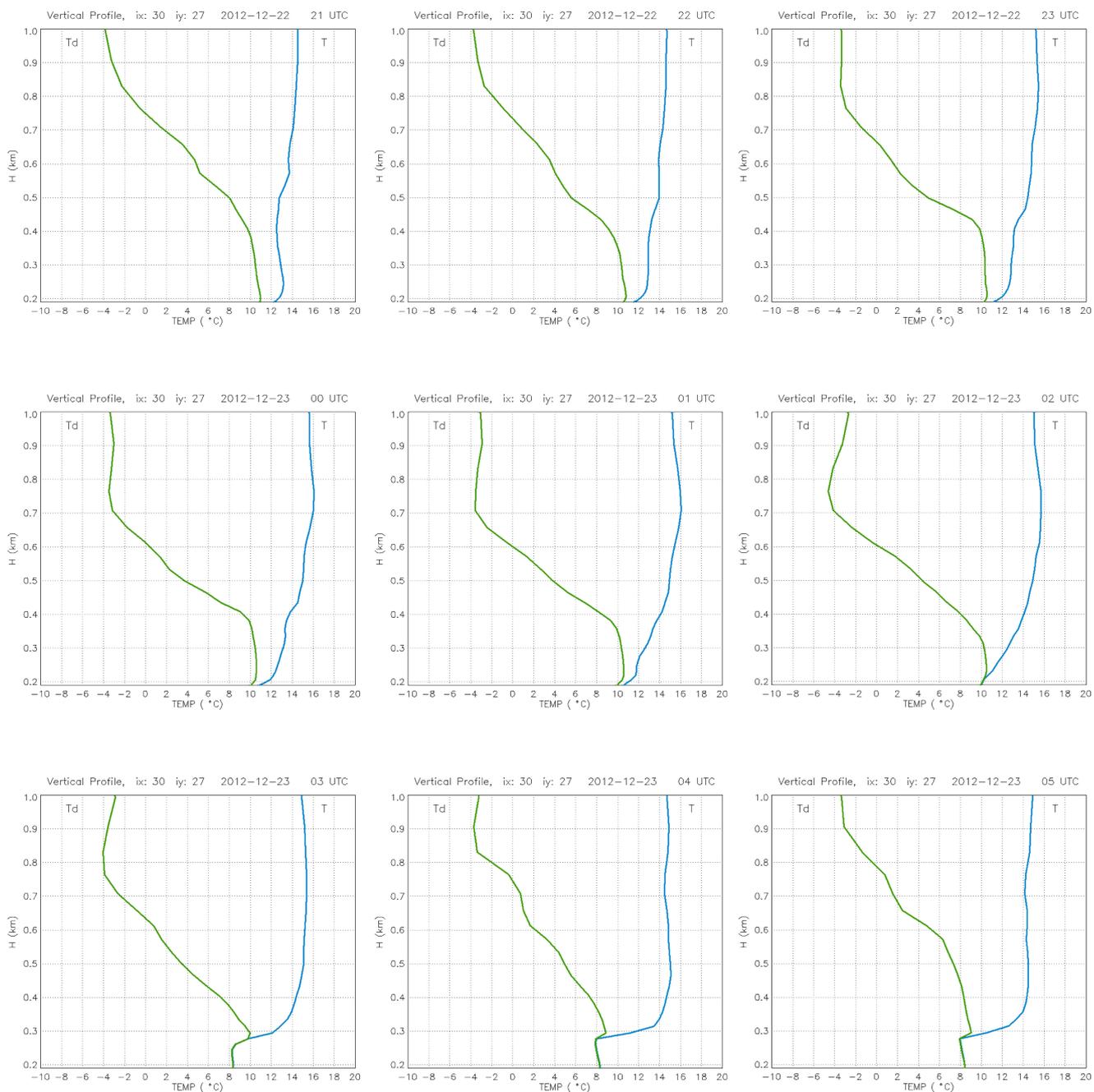
## ANEXO 4.2.G – Fração de Nuvens (Nevoeiro) e Escoamento a 5 m de Altura – Meso-NH (Caso II)



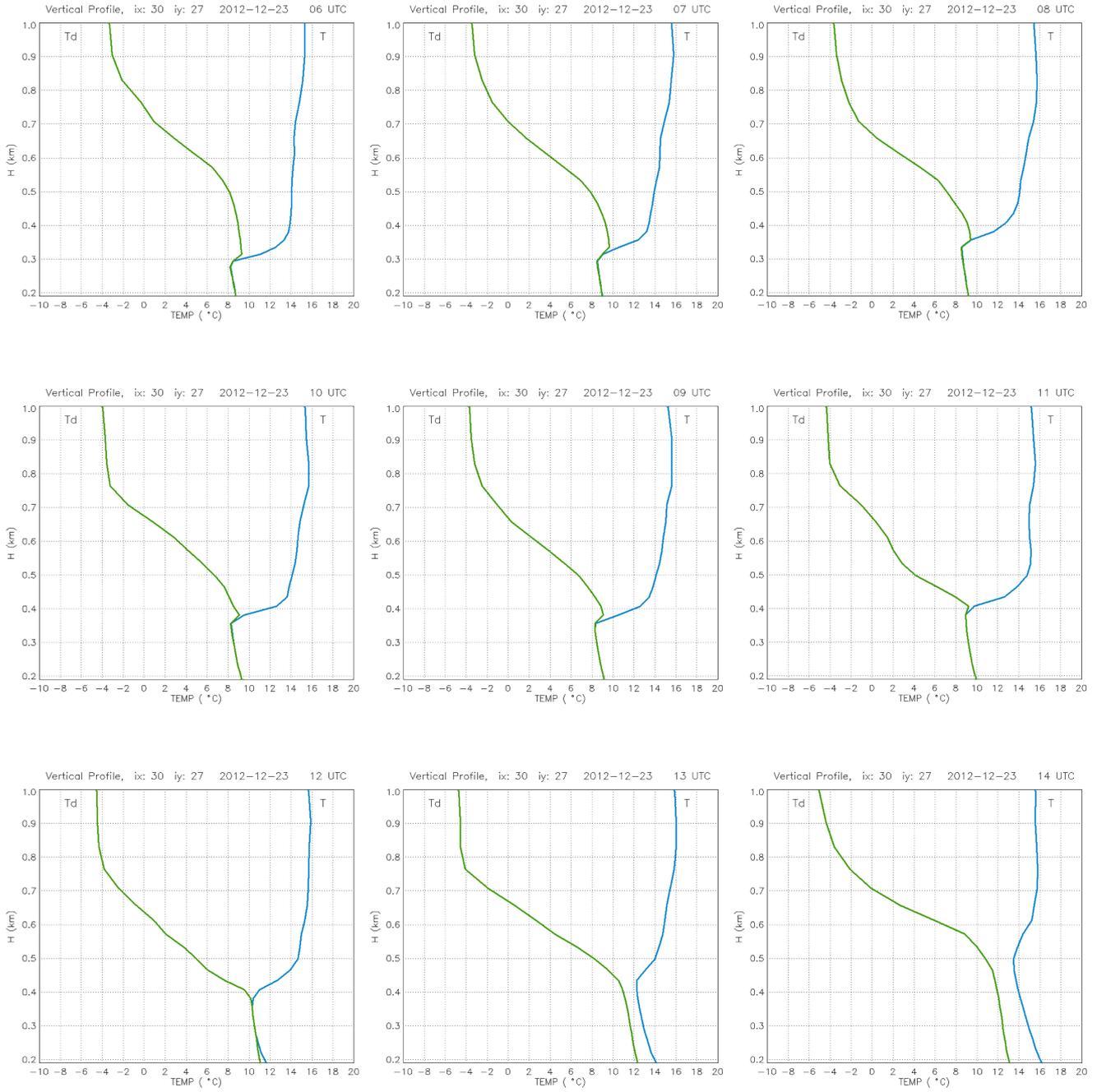
# ANEXO 4.2.G



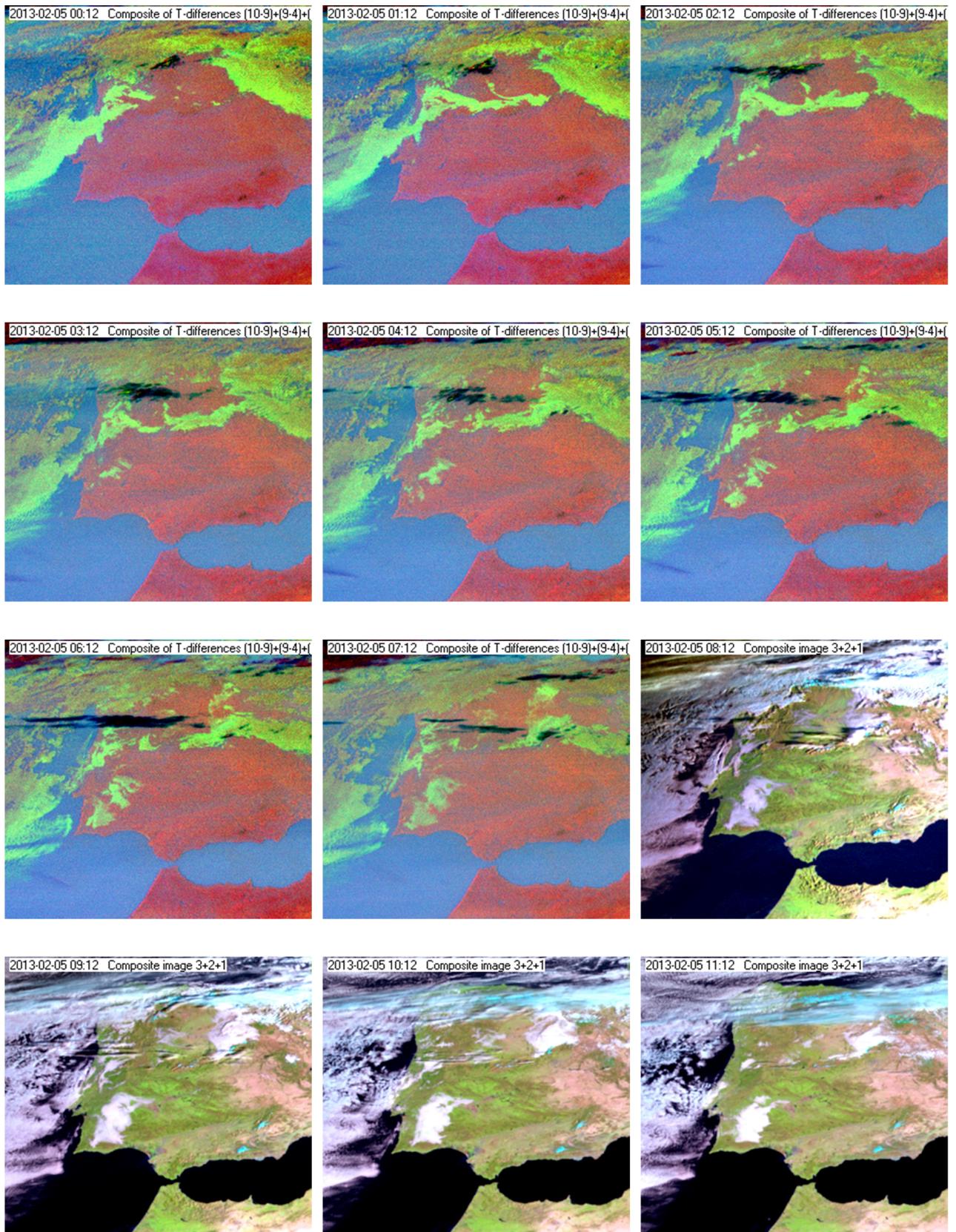
## ANEXO 4.2.H – Perfis Verticais da Temperatura do ar e da Temperatura do Ponto de Orvalho desde a superfície até 1000 m de Altitude para o Ponto de “Beja – Base Aérea” (Caso II).

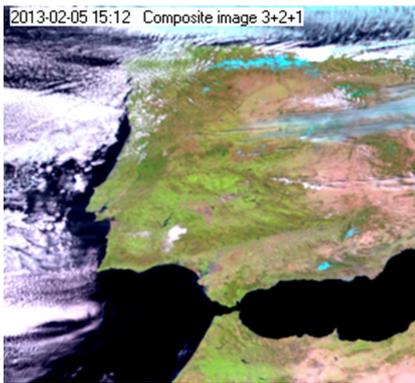
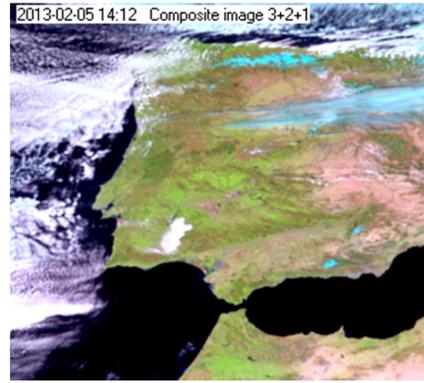
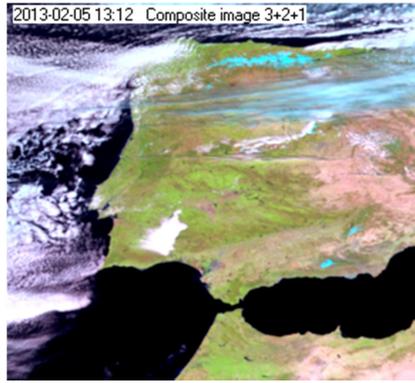
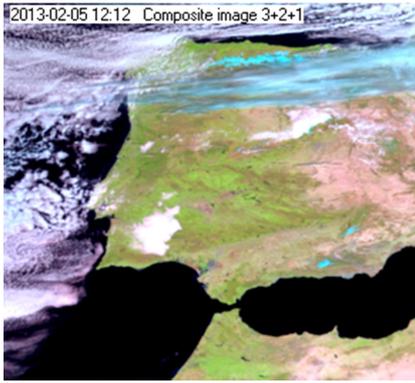


# ANEXO 4.2.H

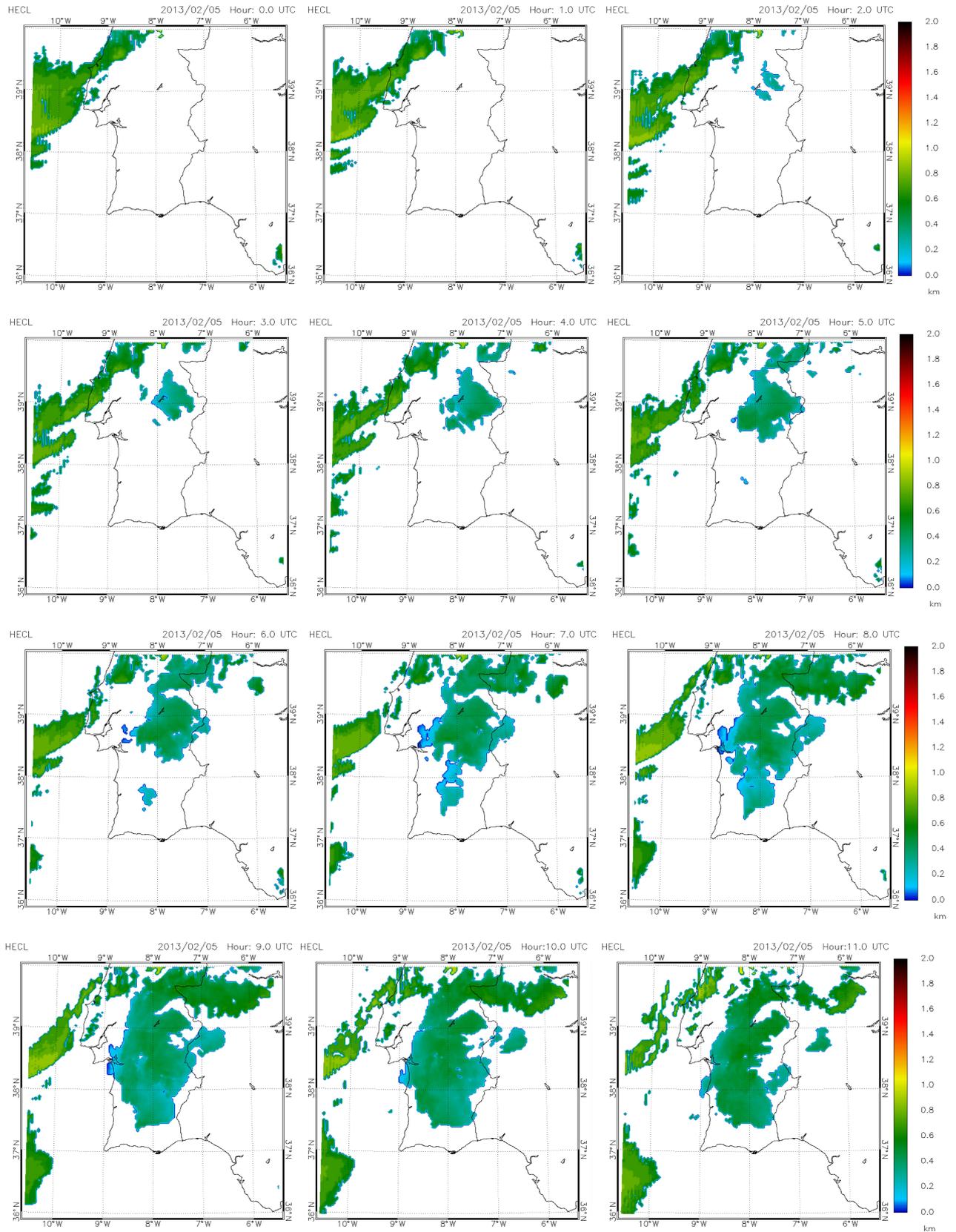


## ANEXO 4.2.I – Sequência de Imagens de Satélite (Caso III)

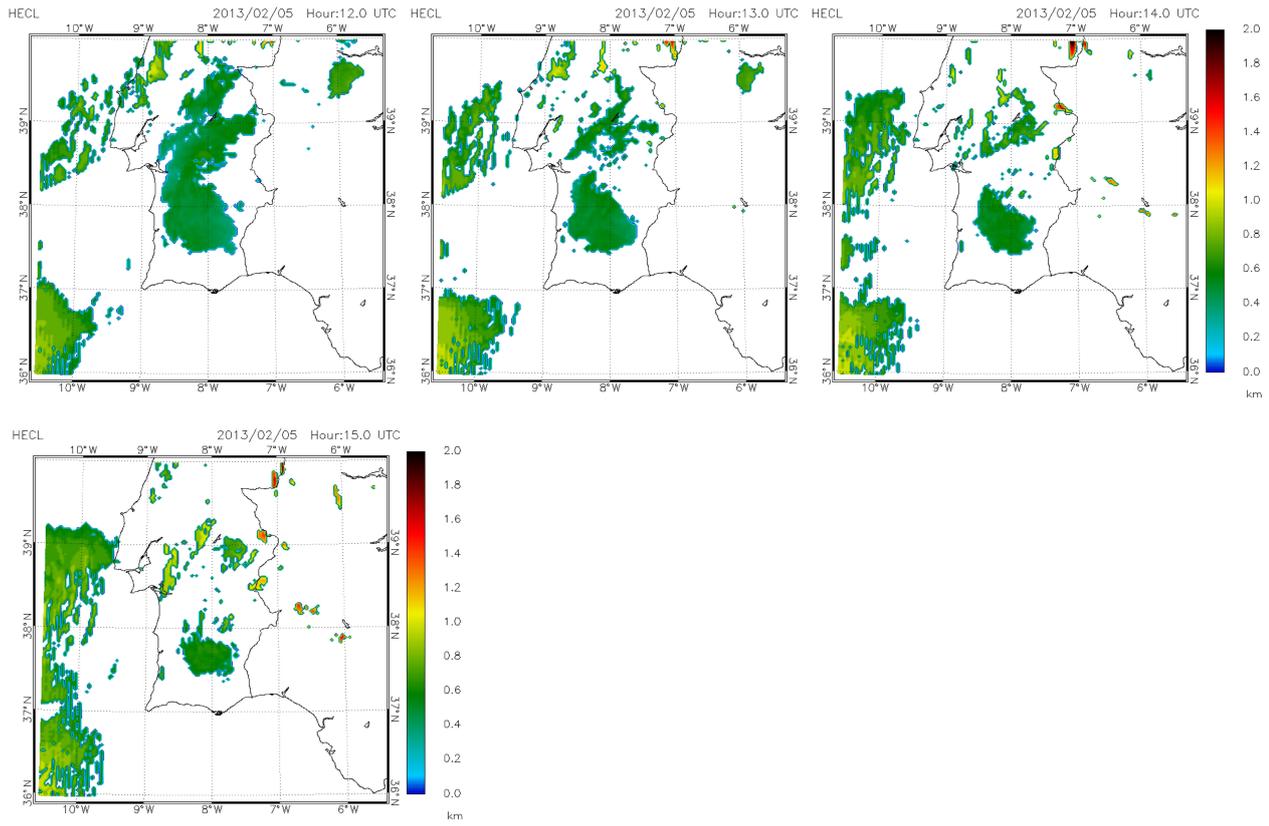




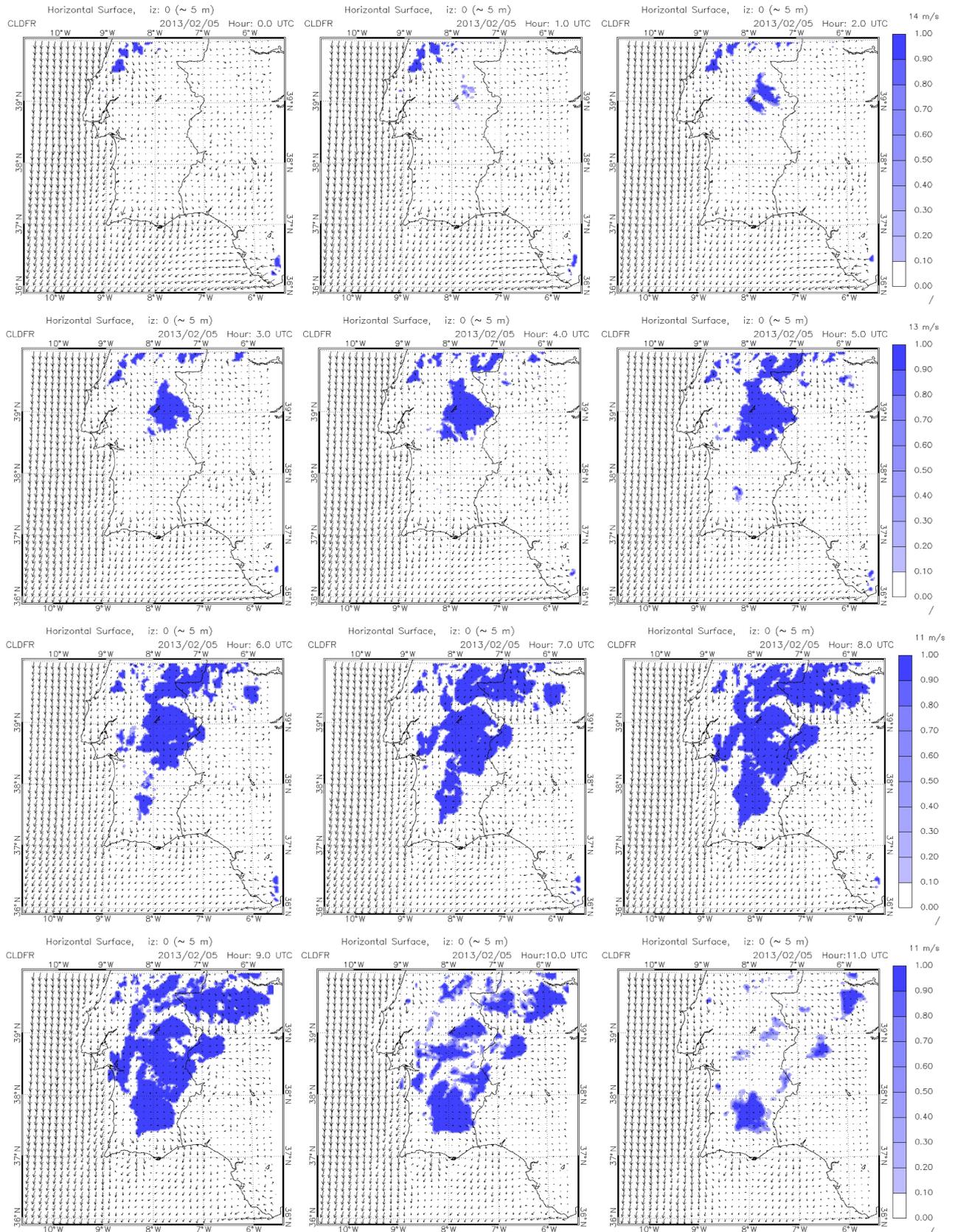
## ANEXO 4.2.J – Altura do Topo das Nuvens – Meso-NH (Caso III)



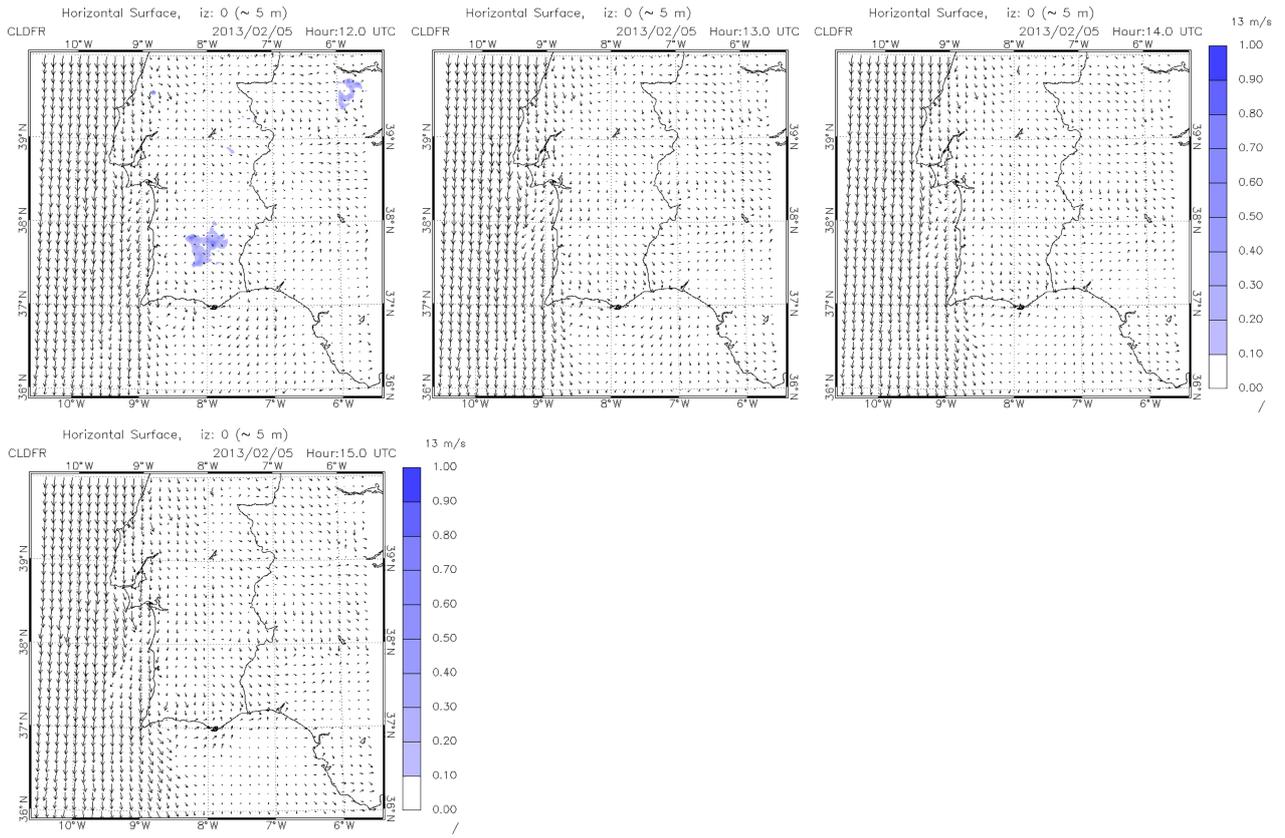
## ANEXO 4.2.J



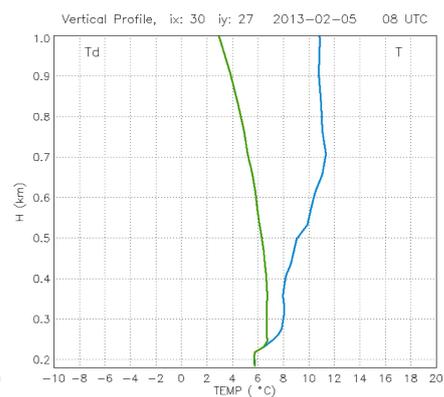
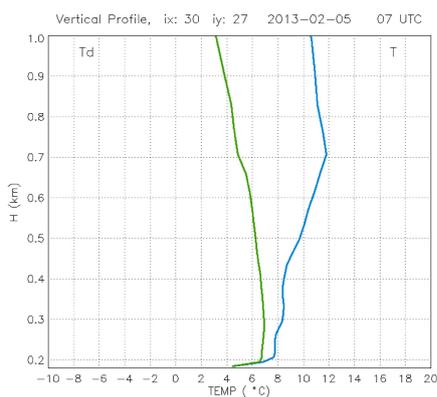
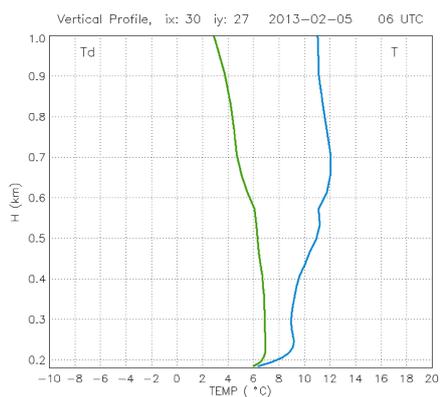
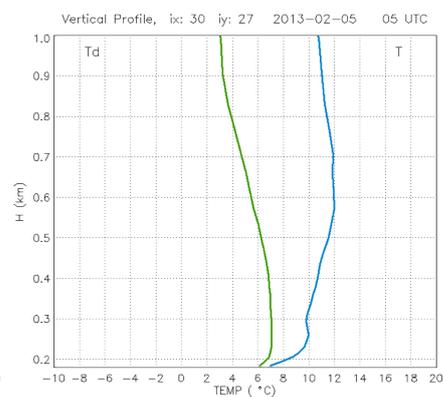
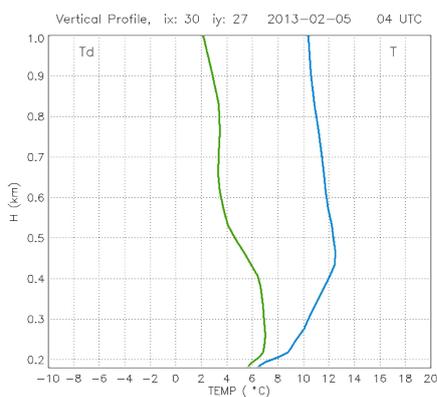
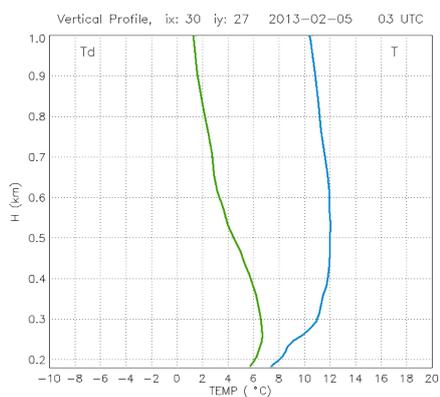
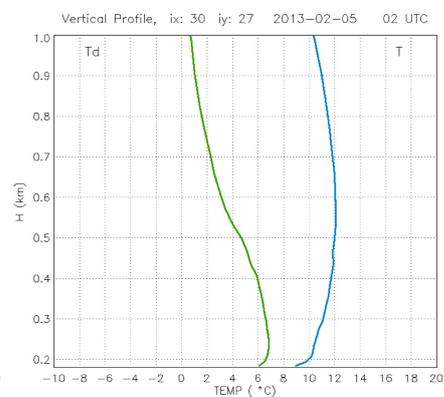
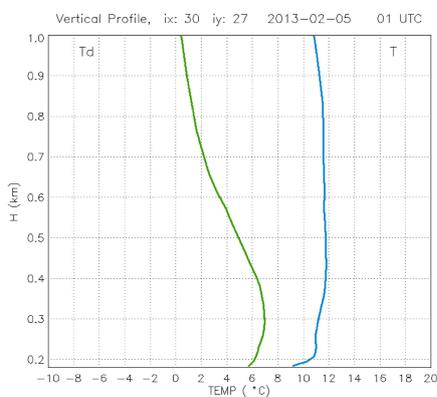
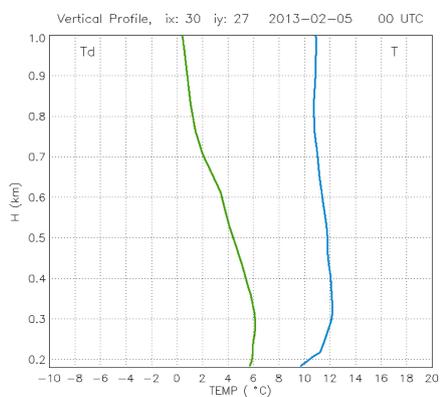
## ANEXO 4.2.K – Fração de Nuvens (Nevoeiro) e Escoamento a 5 m de Altura – Meso-NH (Caso III)



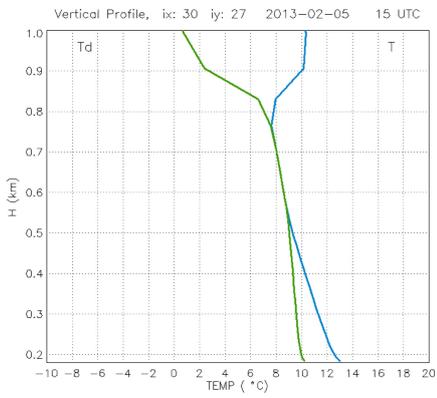
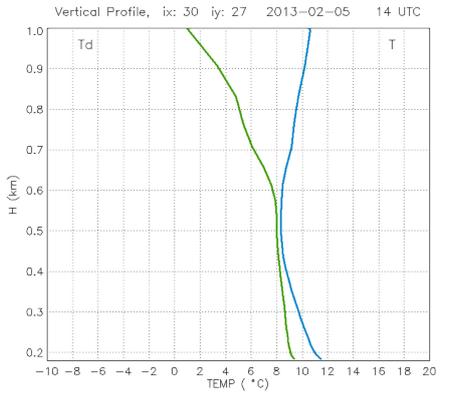
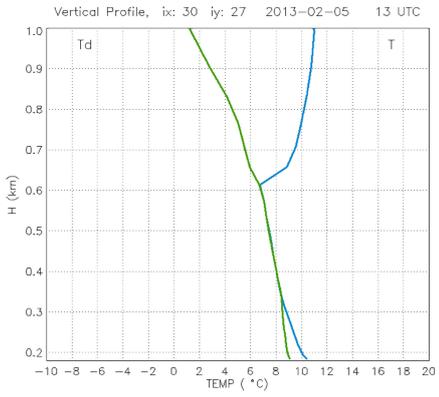
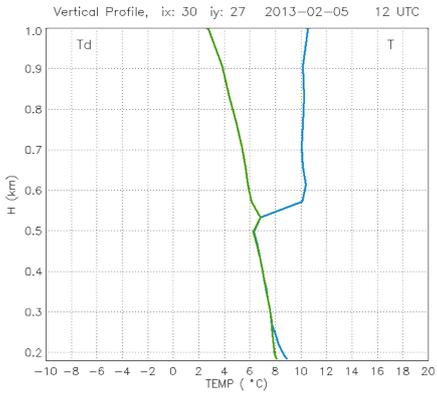
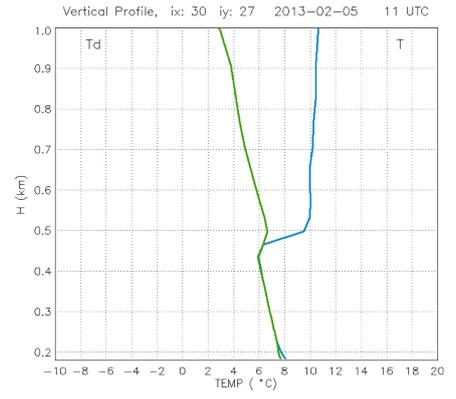
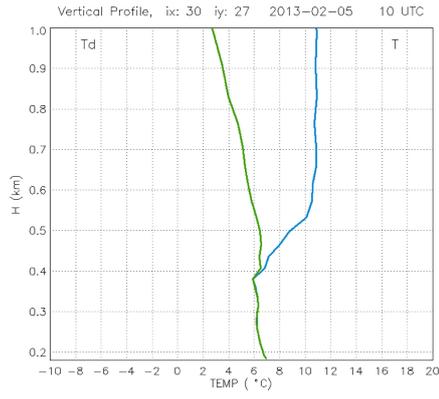
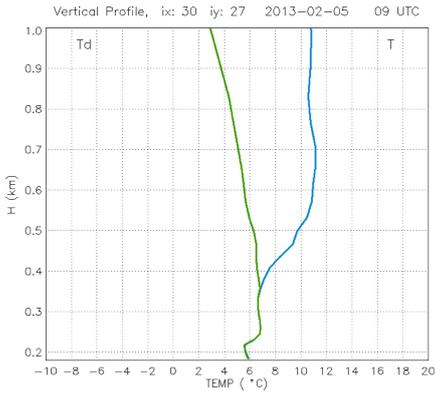
# ANEXO 4.2.K



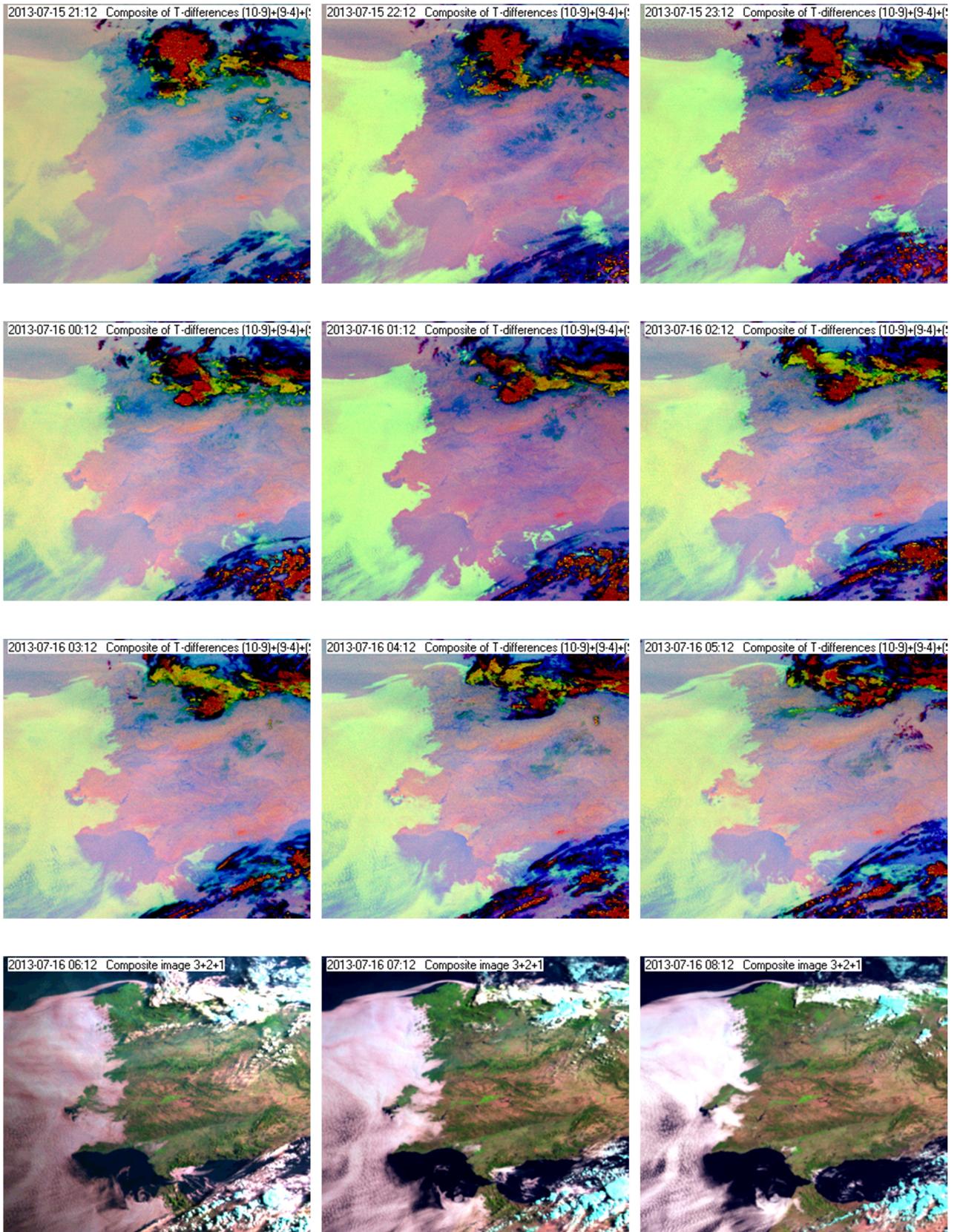
## ANEXO 4.2.L – Perfis Verticais da Temperatura do ar e da Temperatura do Ponto de Orvalho desde a superfície até 1000 m de Altitude para o Ponto de “Beja – Base Aérea” (Caso III).

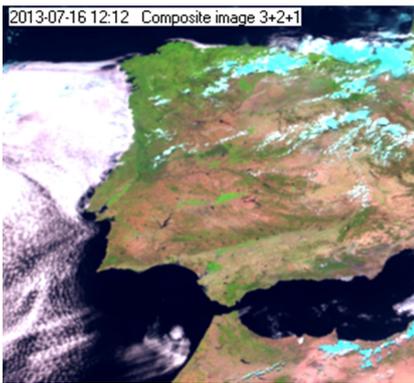
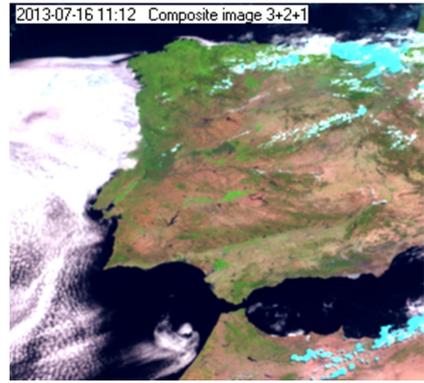


# ANEXO 4.2.L

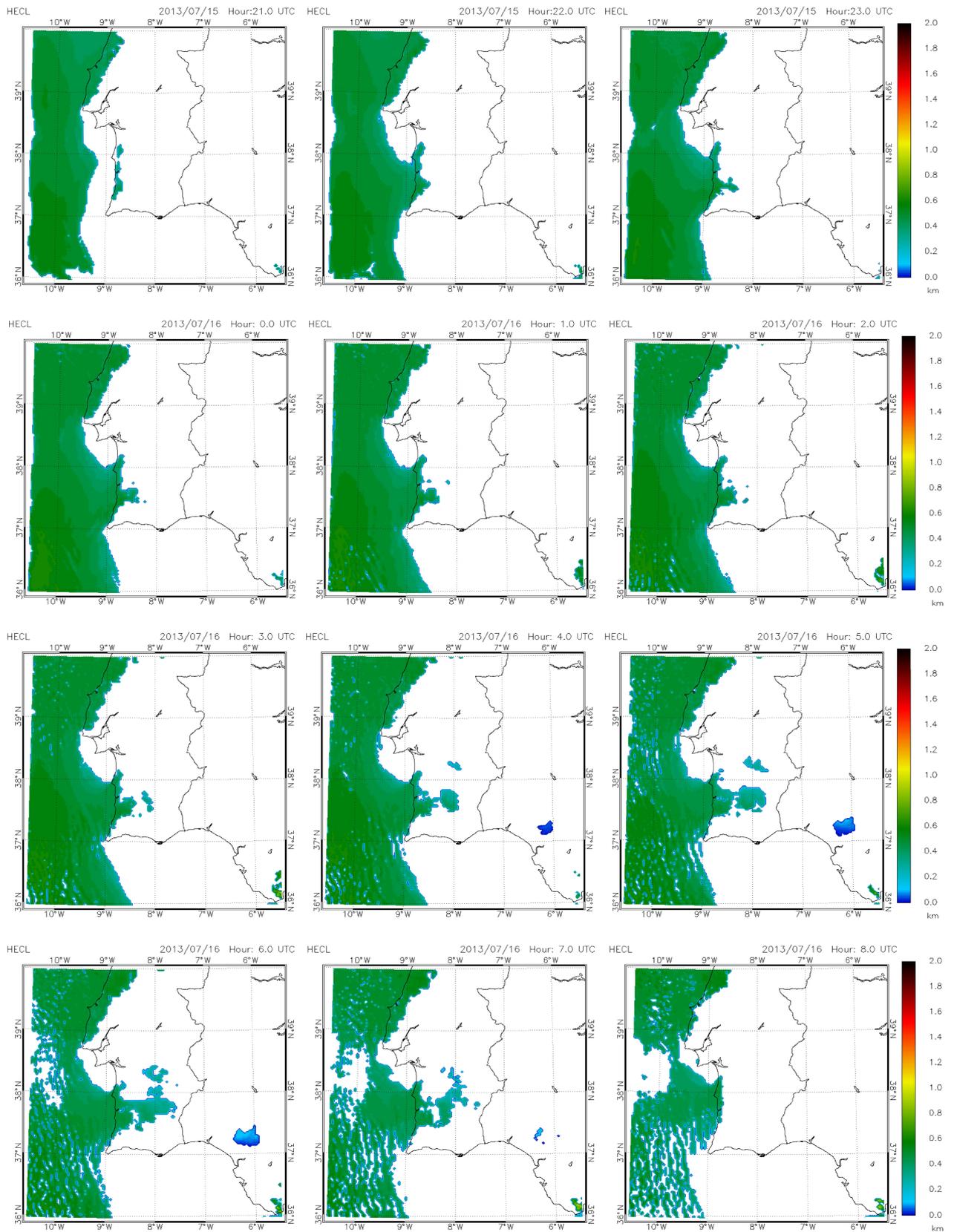


## ANEXO 4.2.M – Sequência de Imagens de Satélite (Caso IV)

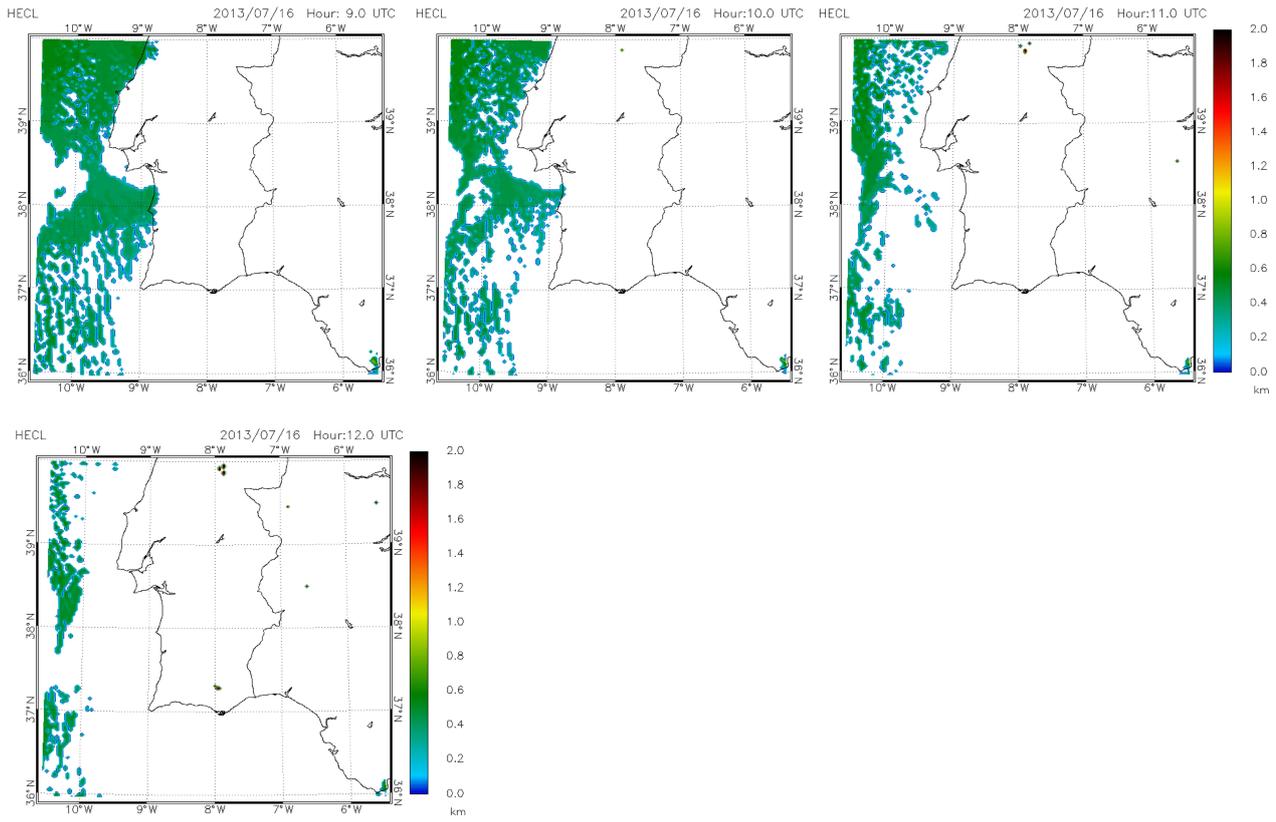




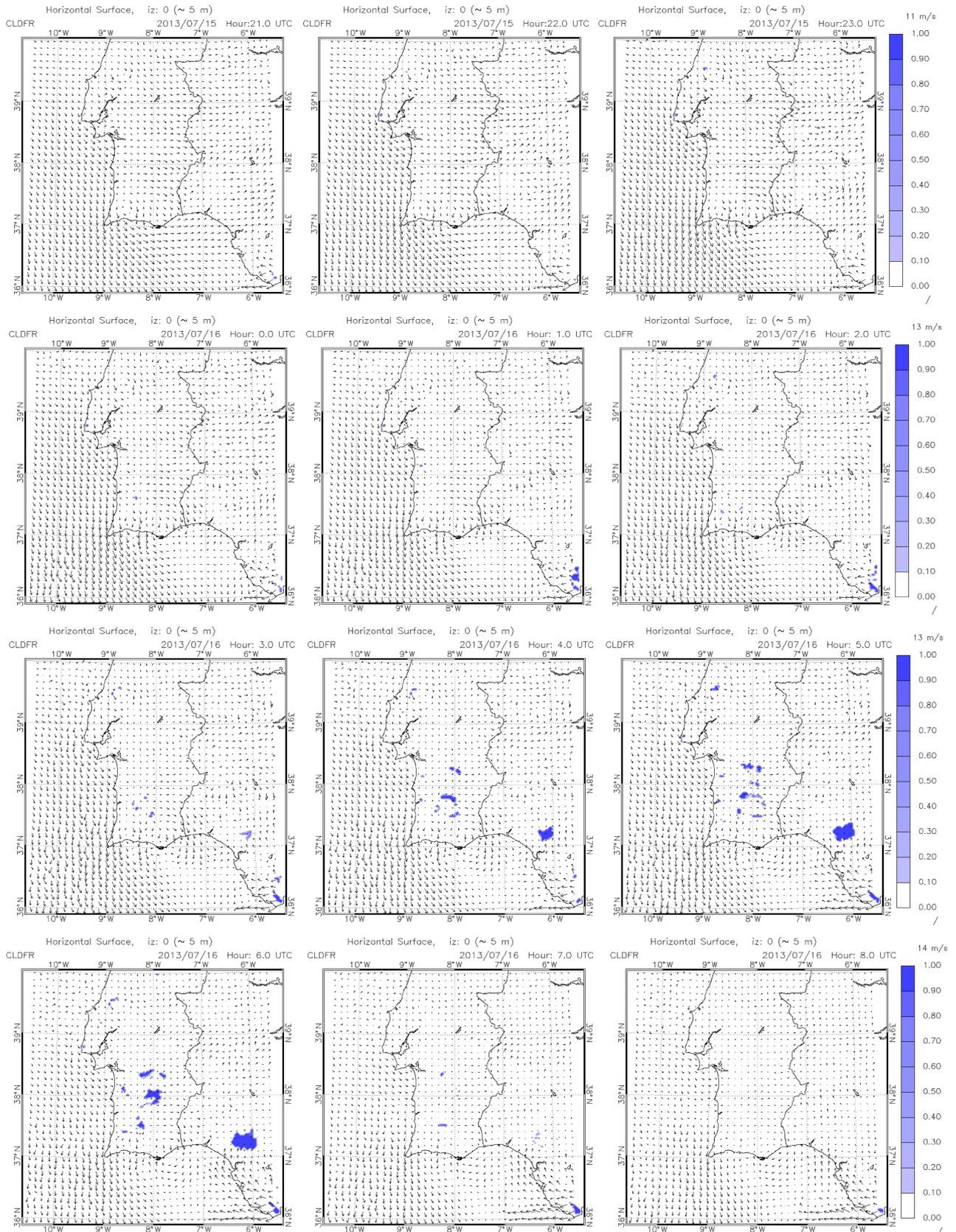
## ANEXO 4.2.N – Altura do Topo das Nuvens – Meso-NH (Caso IV)



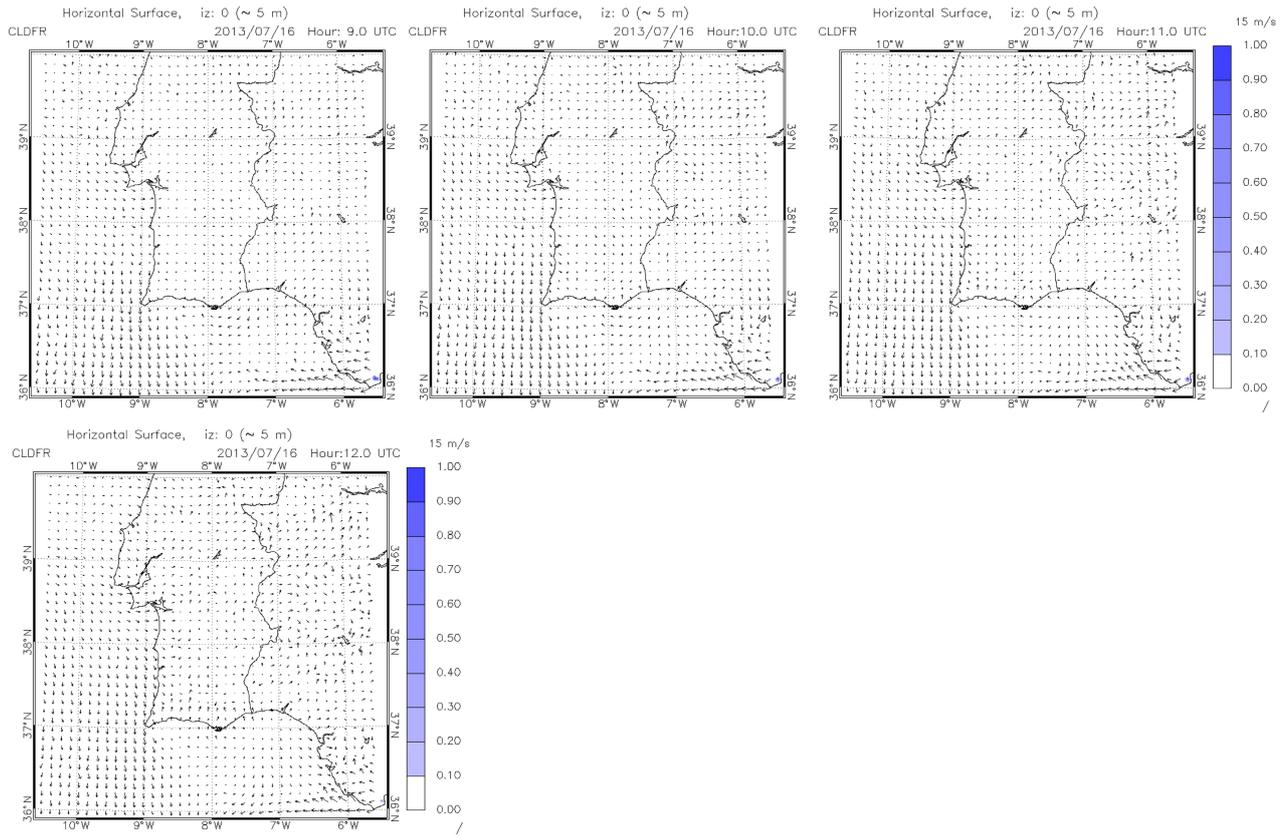
## ANEXO 4.2.N



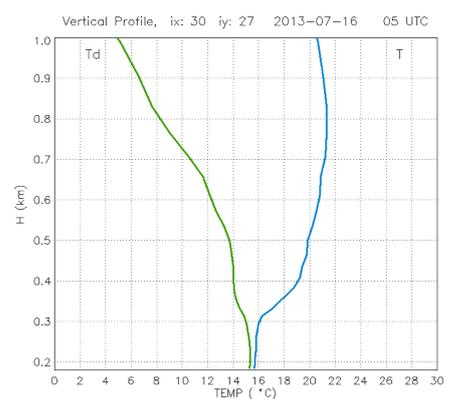
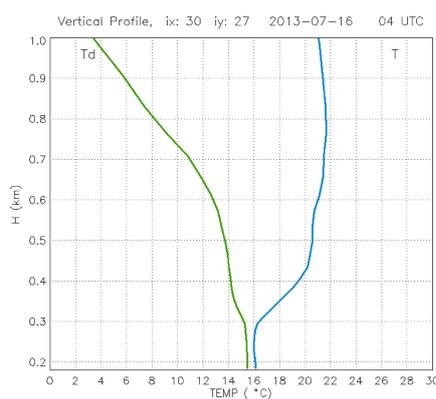
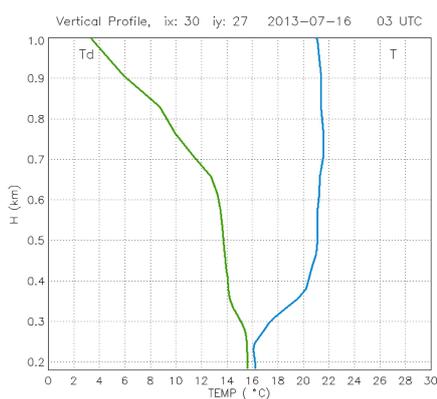
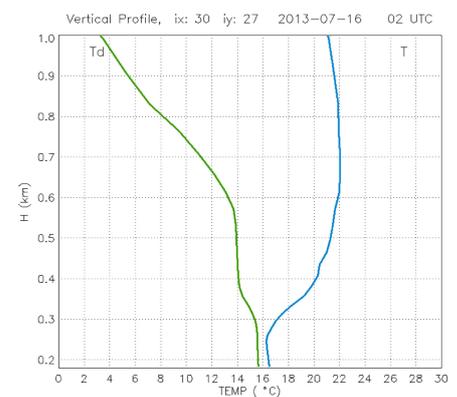
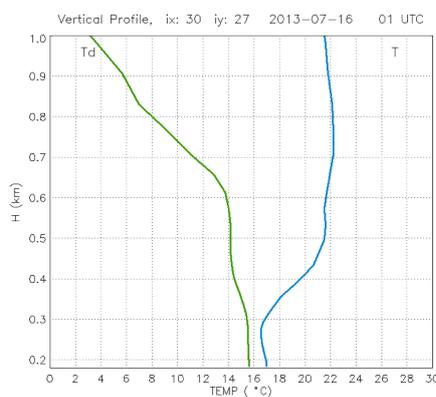
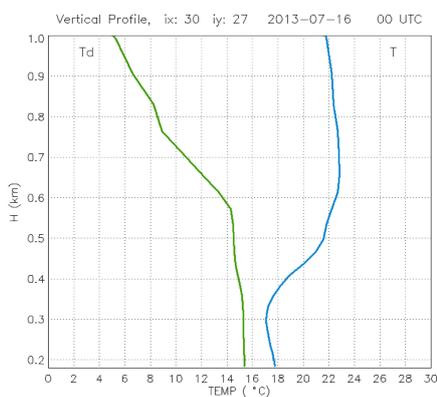
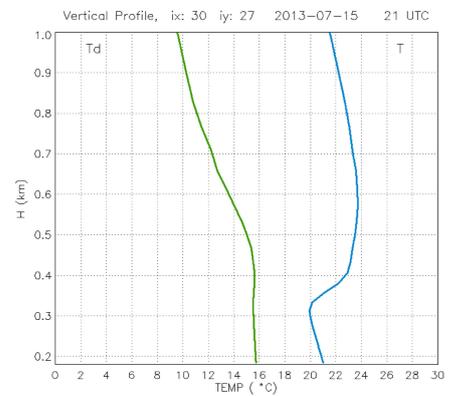
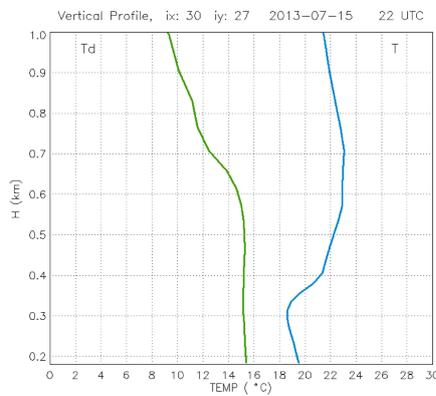
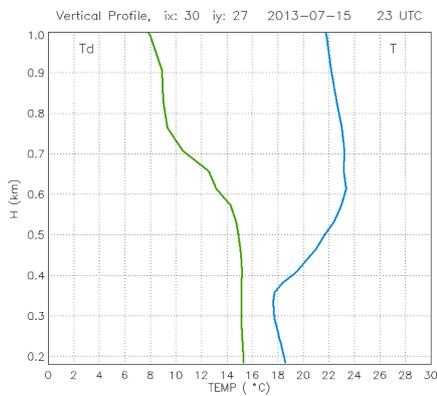
# ANEXO 4.2.O – Fração de Nuvens (Nevoeiro) e Escoamento a 5 m de Altura – Meso-NH (Caso IV)



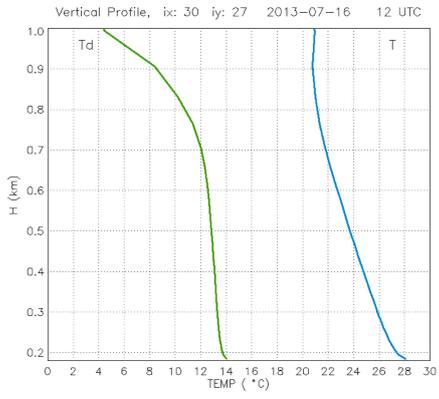
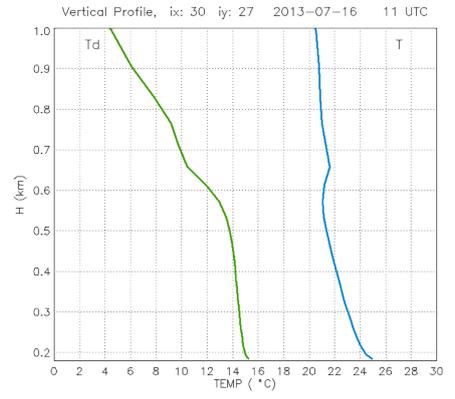
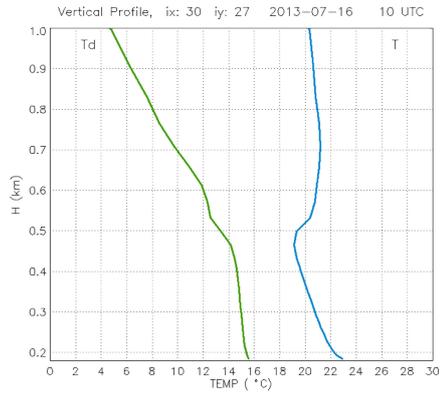
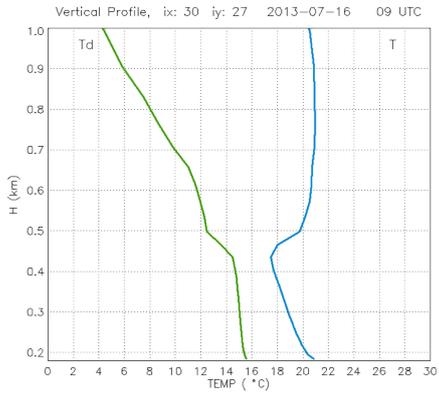
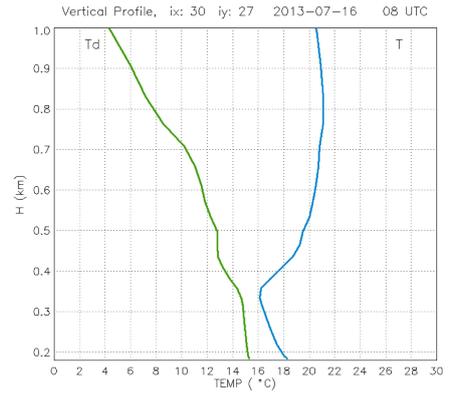
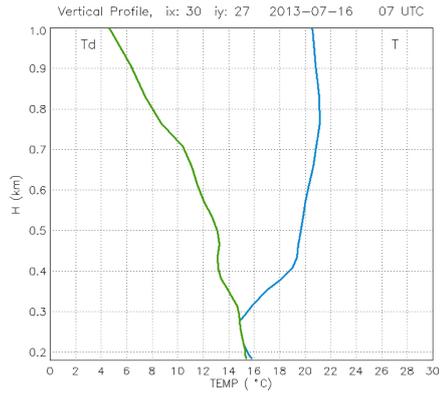
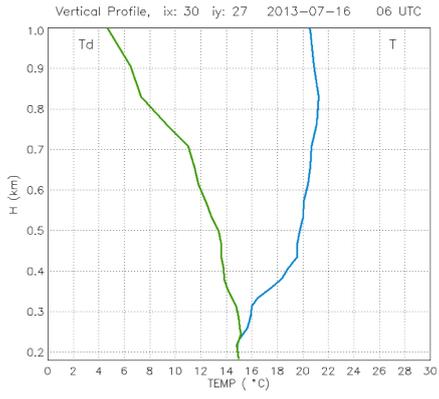
# ANEXO 4.2.0



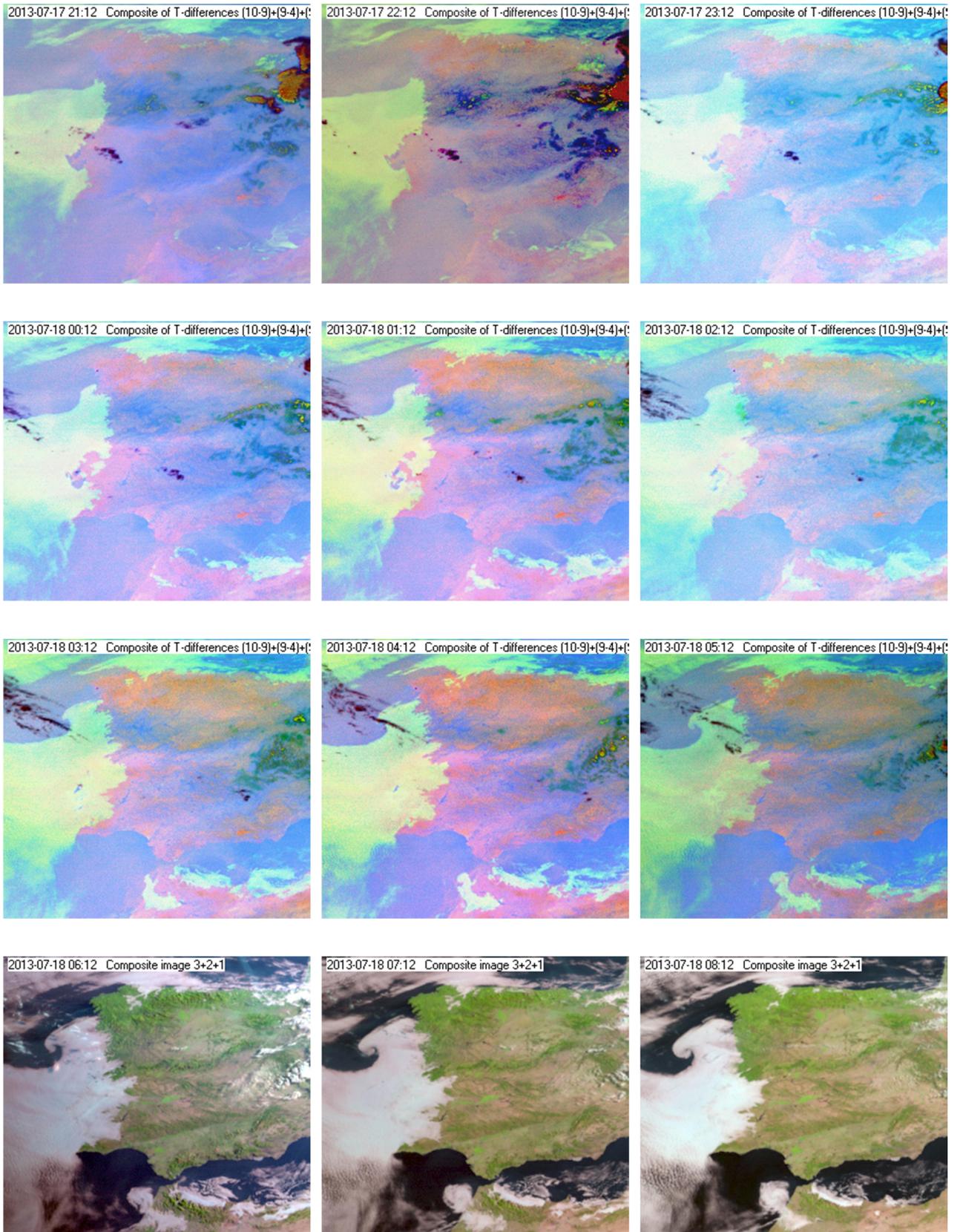
## ANEXO 4.2.P – Perfis Verticais da Temperatura do ar e da Temperatura do Ponto de Orvalho desde a superfície até 1000 m de Altitude para o Ponto de “Beja – Base Aérea” (Caso IV).

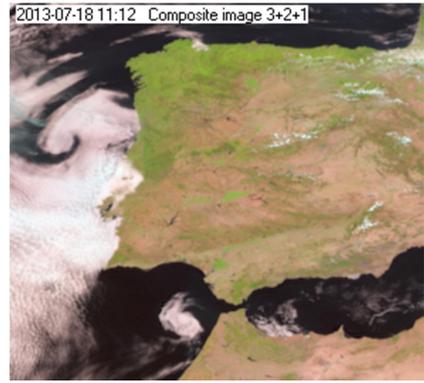
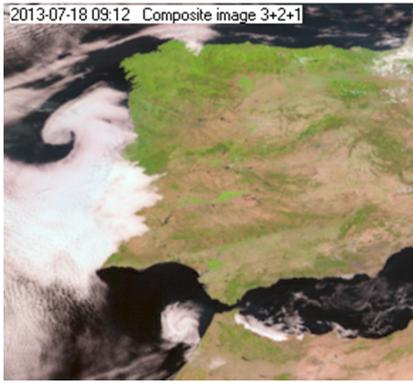


# ANEXO 4.2.P

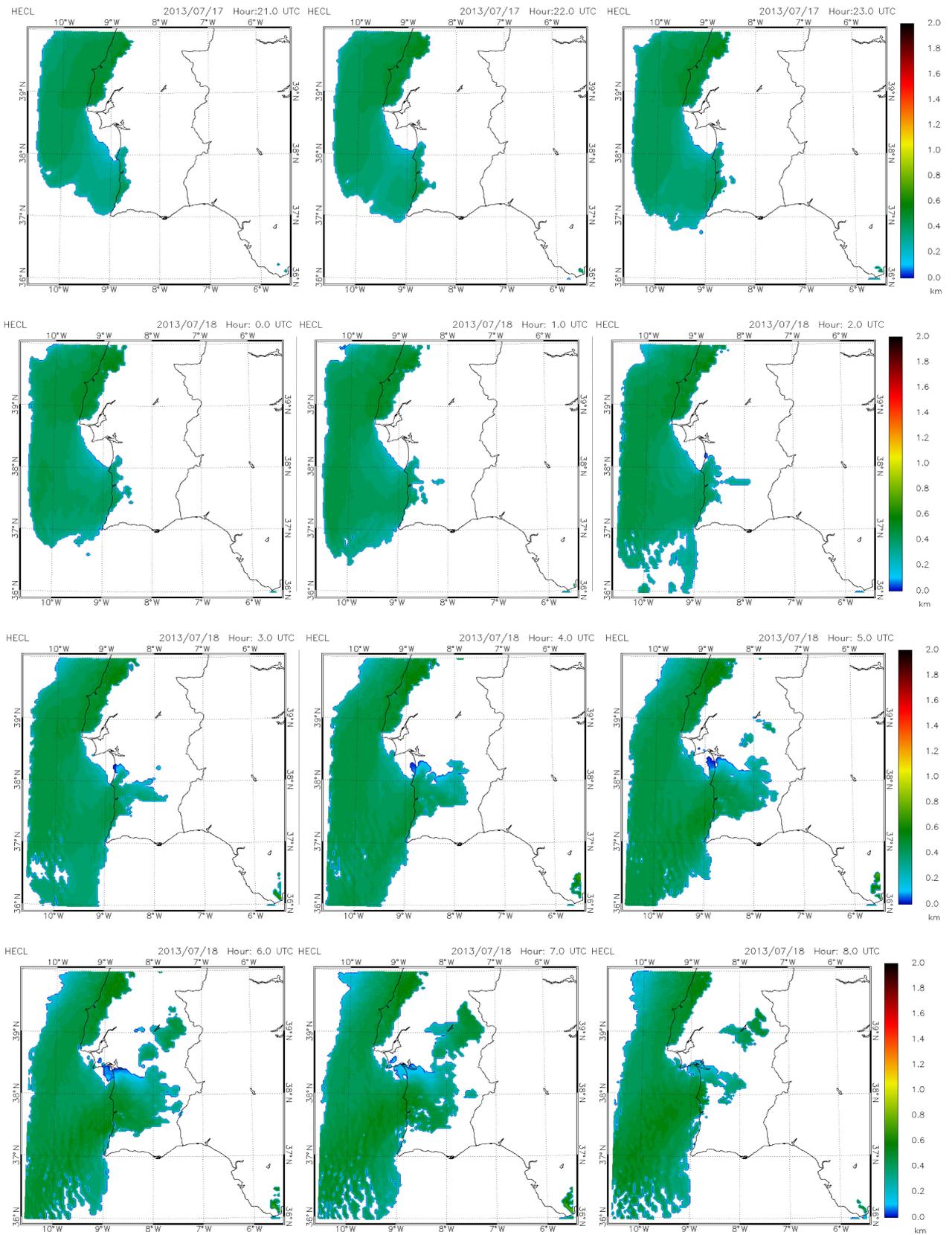


## ANEXO 4.2.Q – Sequência de Imagens de Satélite (Caso V)

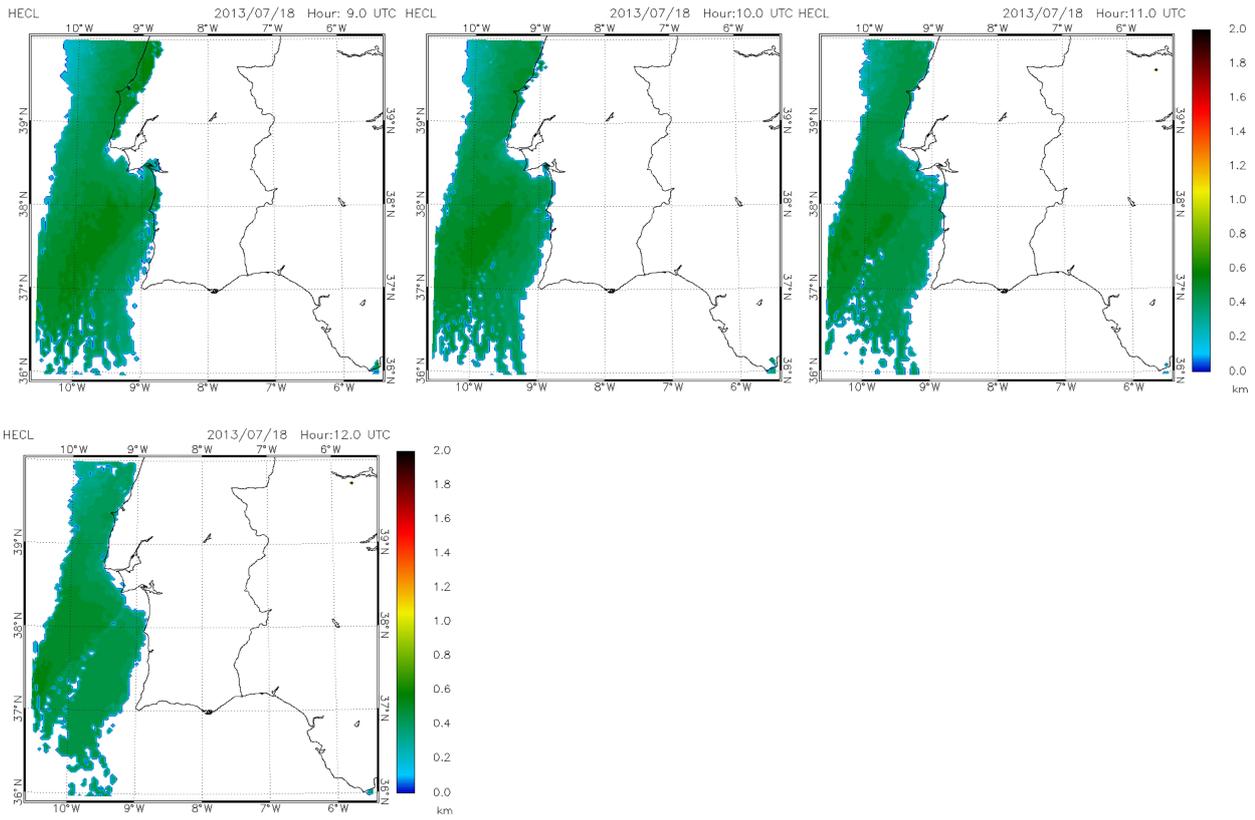




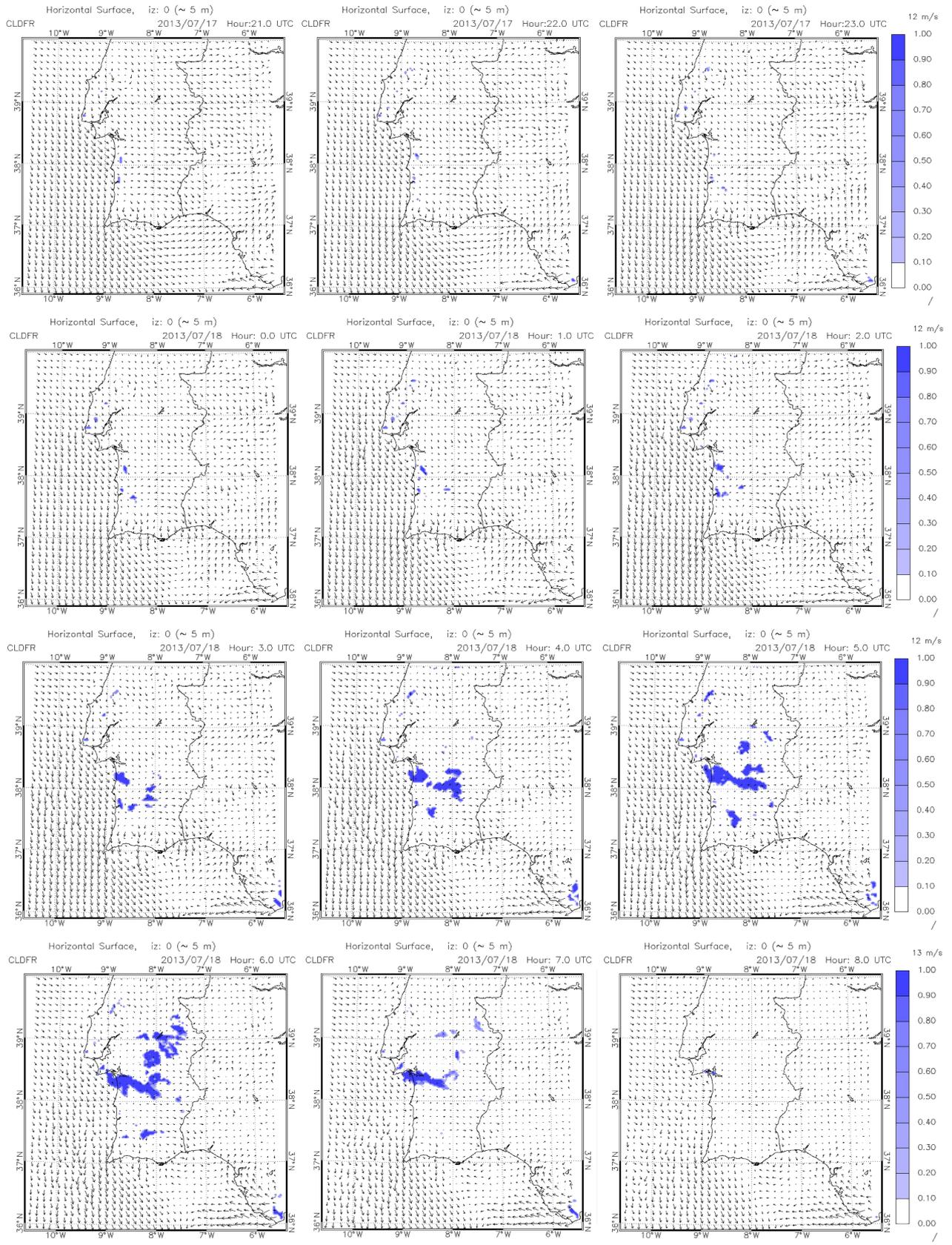
## ANEXO 4.2.R – Altura do Topo das Nuvens – Meso-NH (Caso V)



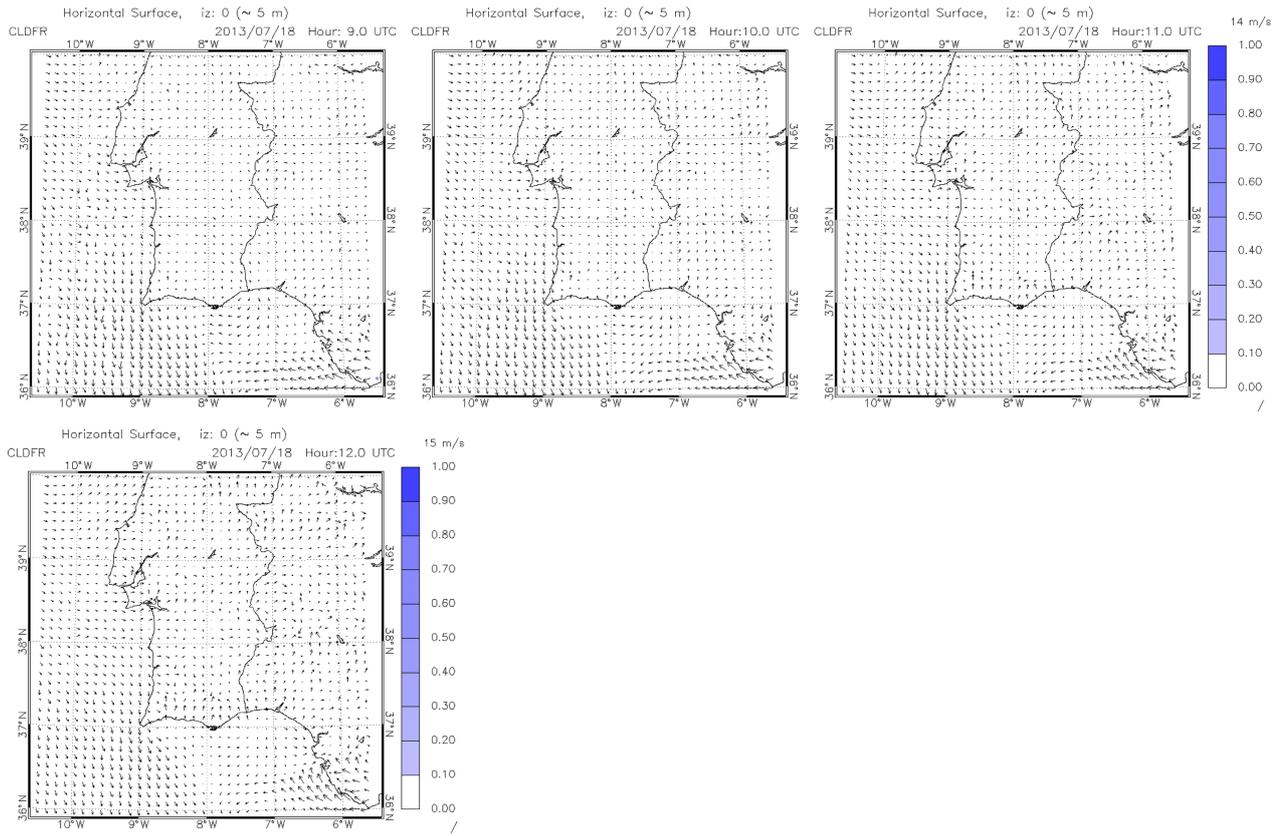
# ANEXO 4.2.R



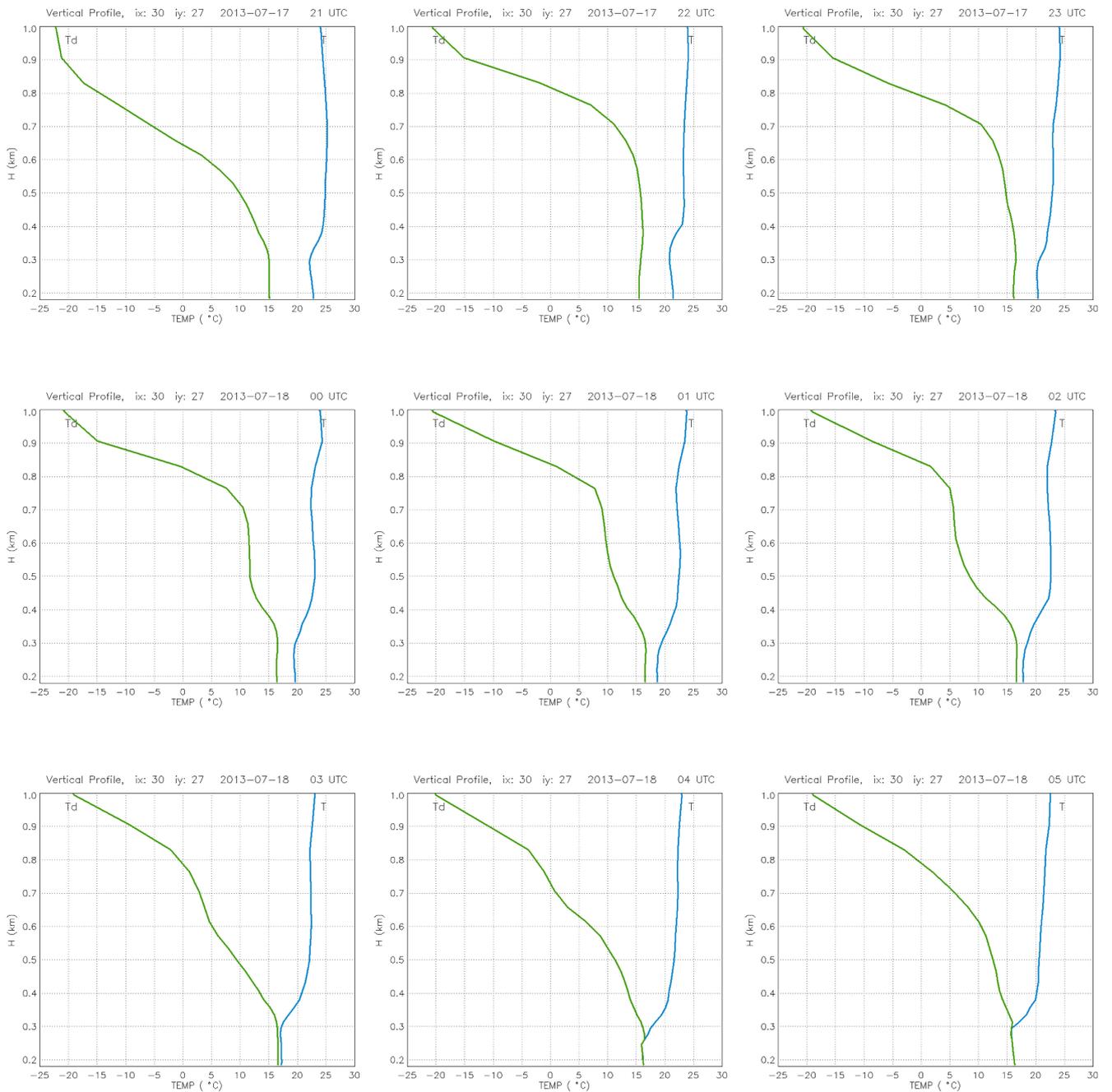
# ANEXO 4.2.S – Fração de Nuvens (Nevoeiro) e Escoamento a 5 m de Altura – Meso-NH (Caso V)



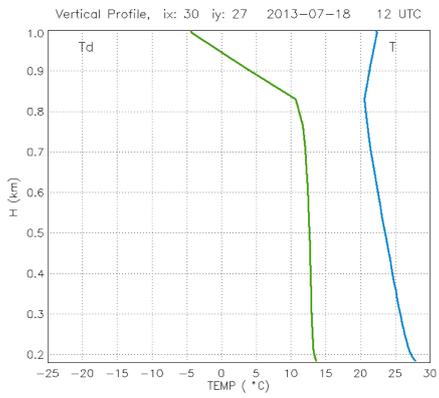
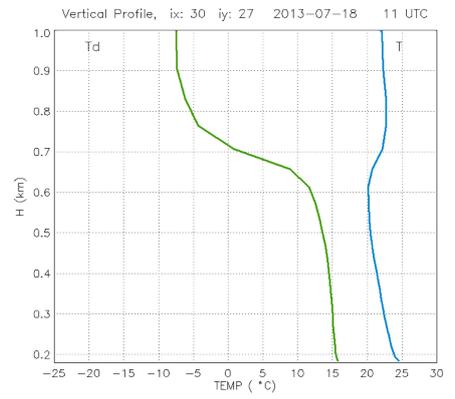
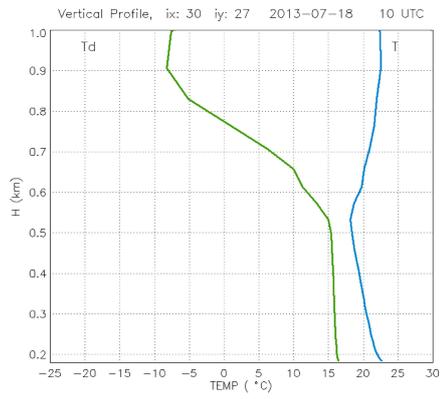
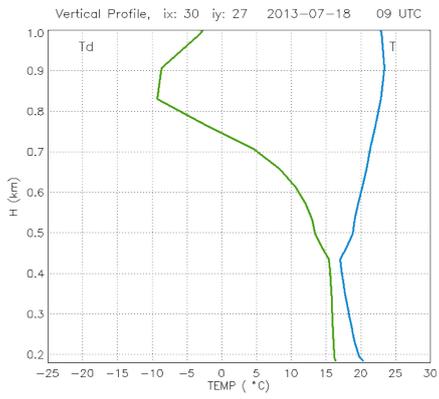
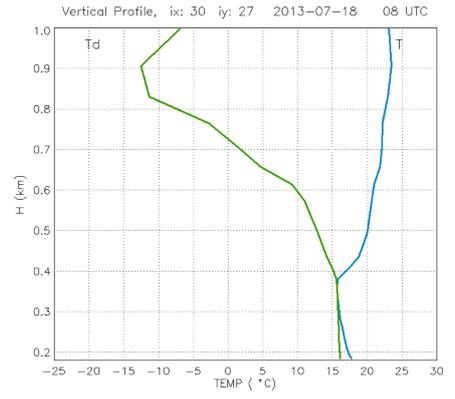
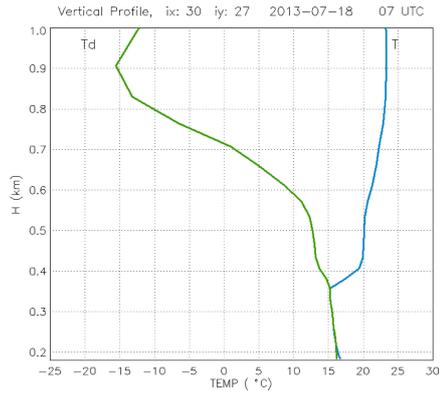
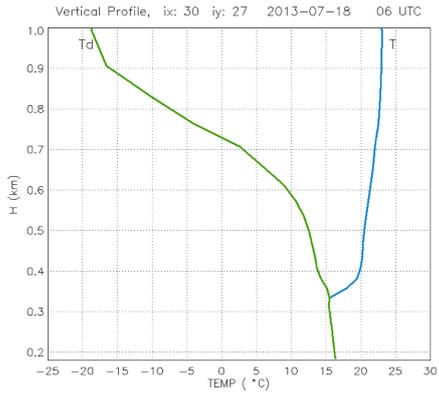
# ANEXO 4.2.S



## ANEXO 4.2.T – Perfis Verticais da Temperatura do ar e da Temperatura do Ponto de Orvalho desde a superfície até 1000 m de Altitude para o Ponto de “Beja – Base Aérea” (Caso V).

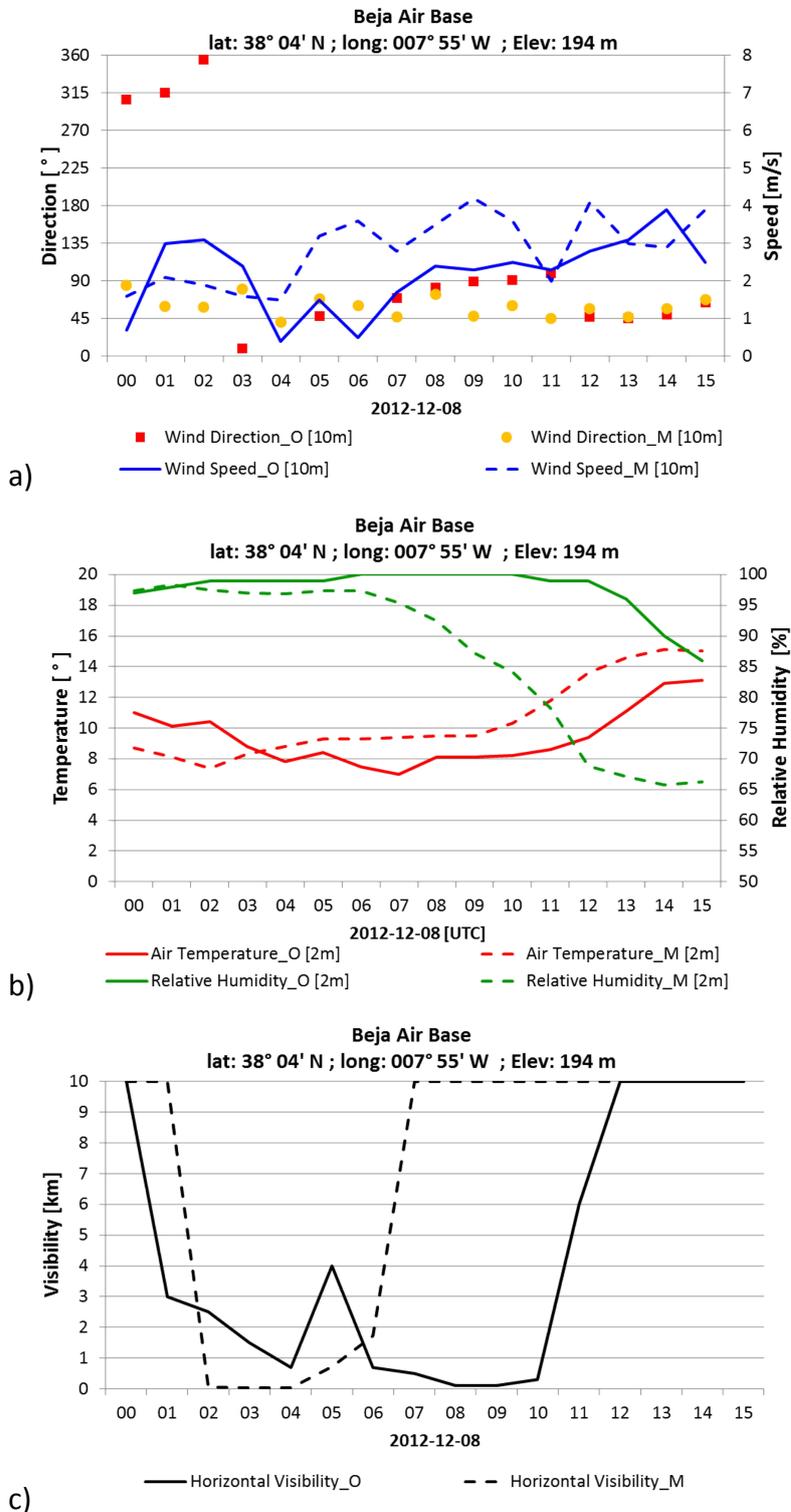


## ANEXO 4.2.T



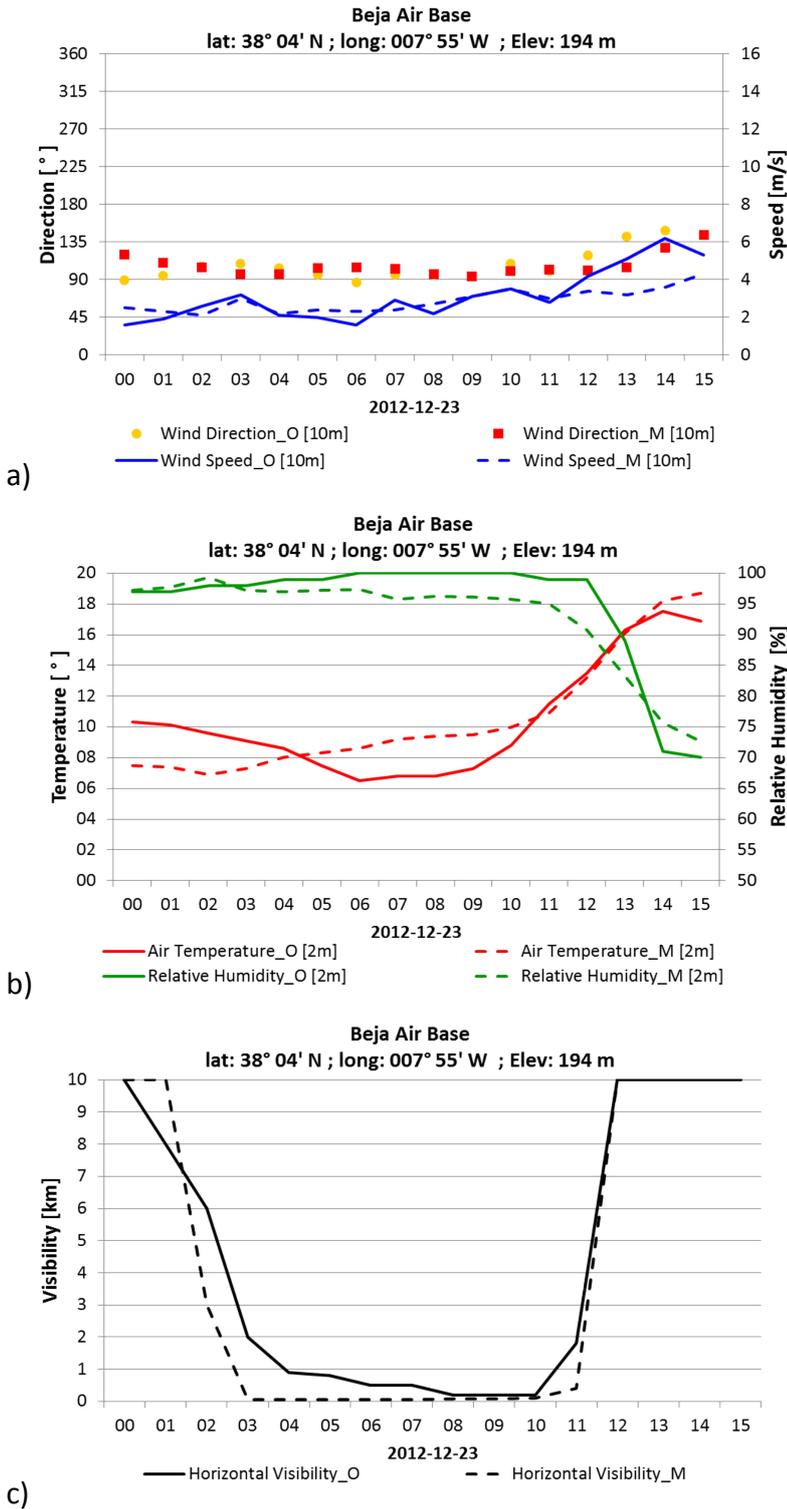
## ANEXO 4.2.U – Comparação entre as Observações e as Simulações (Beja-Base Aérea)

### Caso I



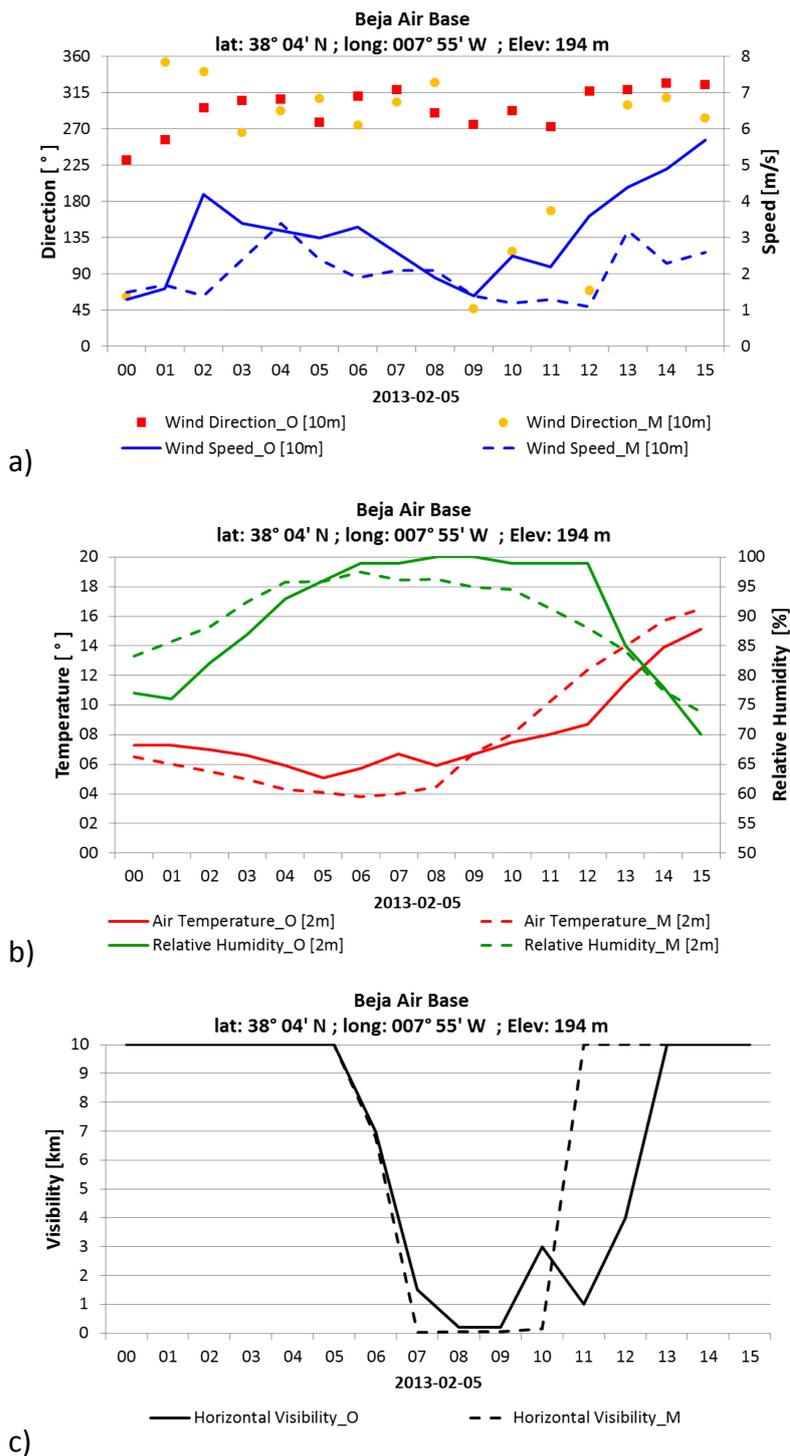
**Figura A.2** - Dados observados e simulados de a) direção e velocidade do vento, b) temperatura do ar e humidade relativa e c) visibilidade horizontal de Beja-Base Aérea.

Caso II



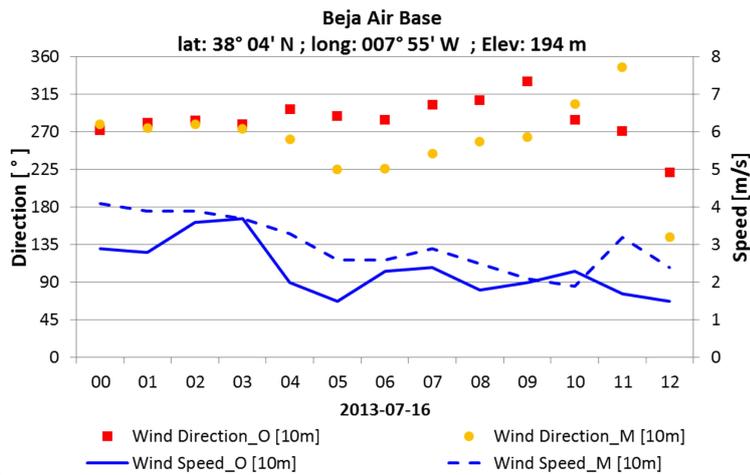
**Figura A.3** - Dados observados e simulados de a) direção e velocidade do vento, b) temperatura do ar e humidade relativa e c) visibilidade horizontal de Beja-Base Aérea.

Caso III

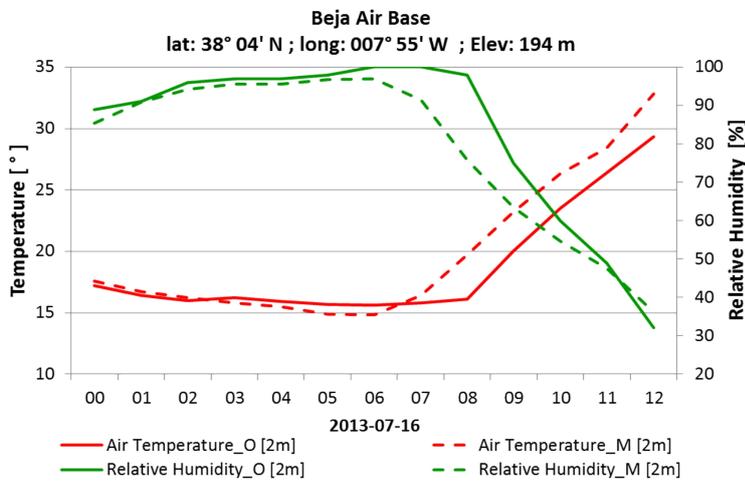


**Figura A.4** - Dados observados e simulados de a) direção e velocidade do vento, b) temperatura do ar e humidade relativa e c) visibilidade horizontal de Beja-Base Aérea.

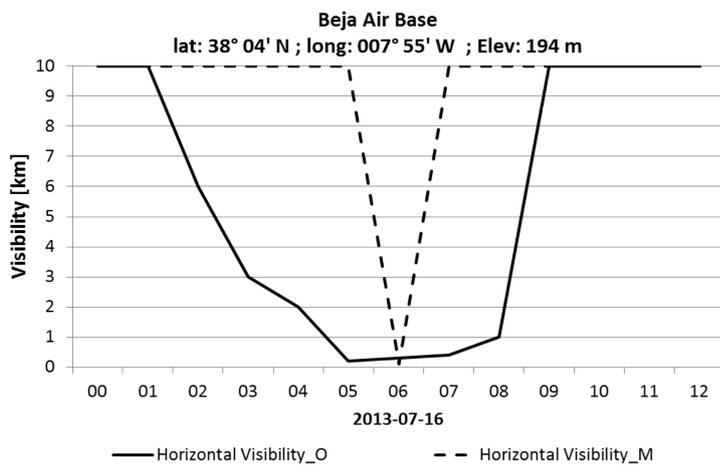
Caso IV



a)



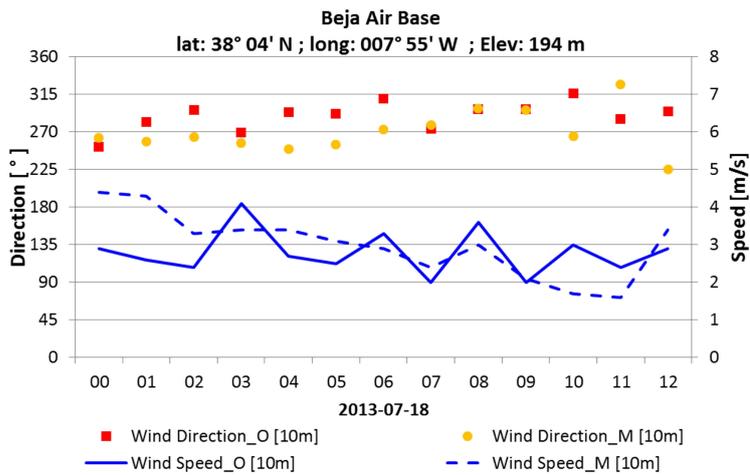
b)



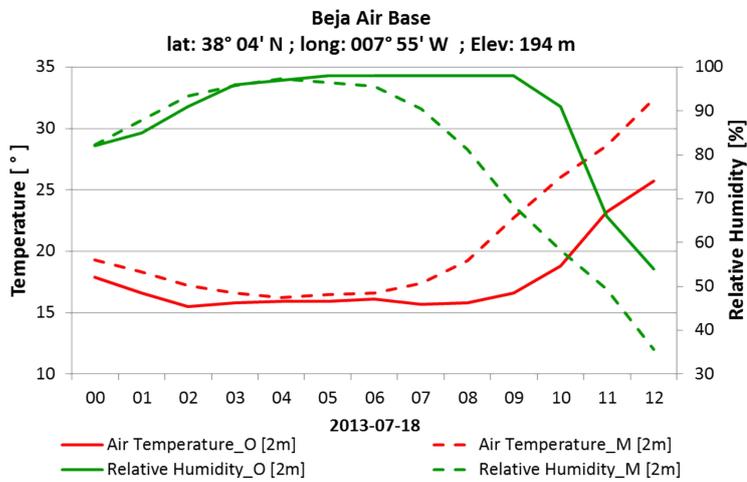
c)

**Figura A.5** - Dados observados e simulados de a) direção e velocidade do vento, b) temperatura do ar e humidade relativa e c) visibilidade horizontal de Beja-Base Aérea.

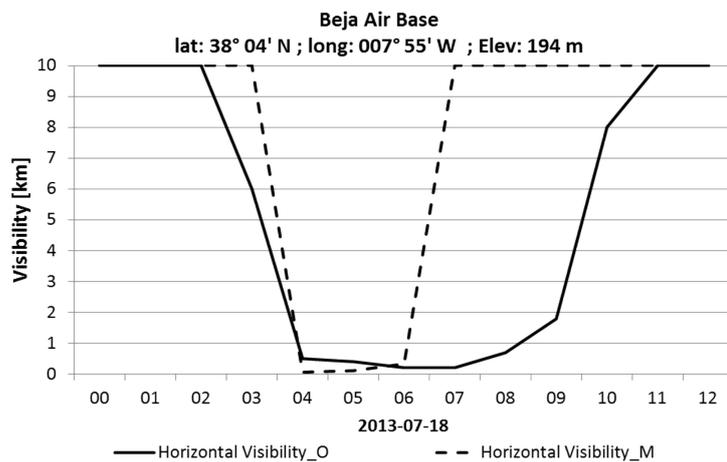
Caso V



a)



b)



c)

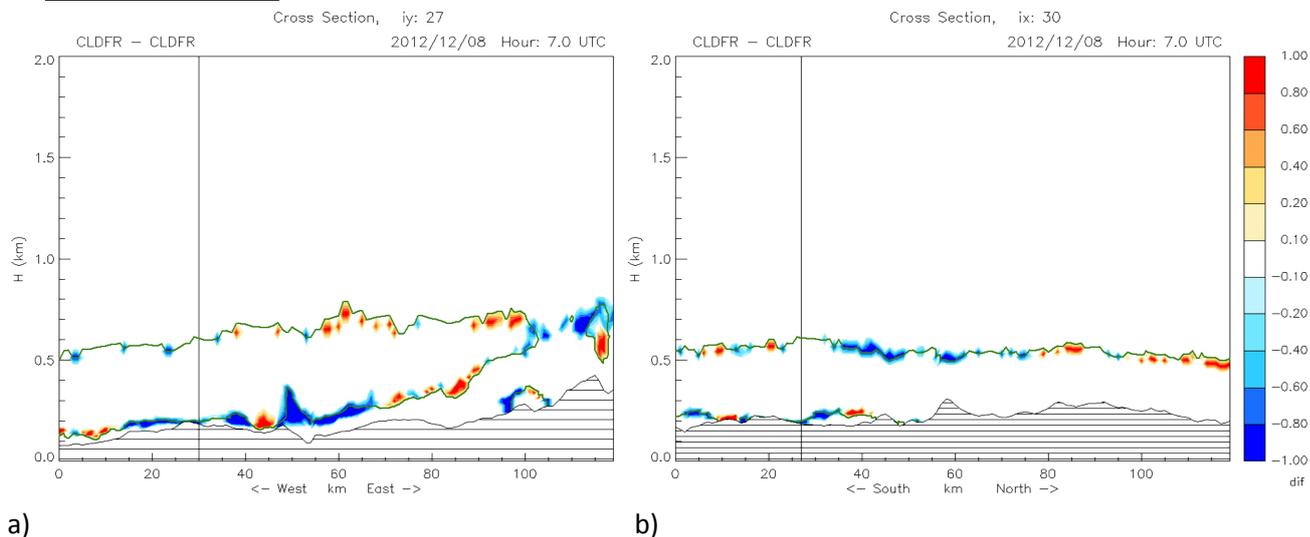
**Figura A.6** - Dados observados e simulados de a) direção e velocidade do vento, b) temperatura do ar e humidade relativa e c) visibilidade horizontal de Beja-Base Aérea.

Página intencionalmente em branco

## ANEXO 4.2.V – Análise da Influência da Albufeira do Alqueva - Diferença de Nebulosidade (Secções Verticais Com e Sem “Alqueva”)

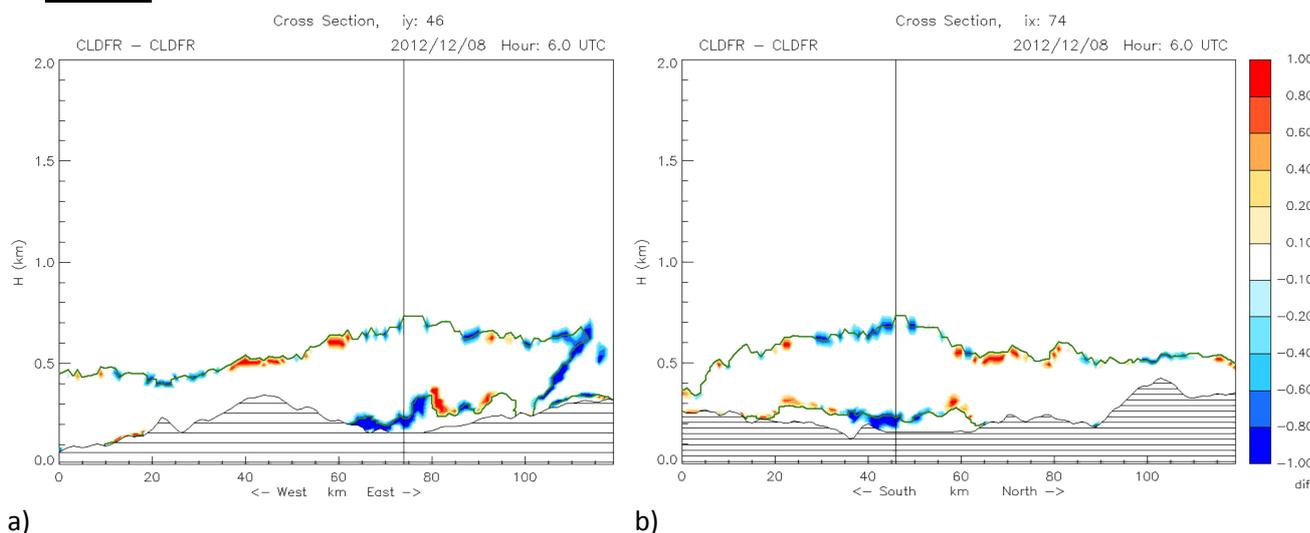
### Caso I

#### Beja – Base Aérea



a) b)  
**Figura A.7** - Secções verticais de sentido Oeste-Este e Sul-Norte do Domínio 2 que passa no ponto de “Beja-Base Aérea” com a diferença de nebulosidade (CLDFR) entre as simulações com e sem Alqueva às 07 UTC. Limites das nuvens (linha verde), diferença entre simulações (Alqueva-Original) escala de cores.

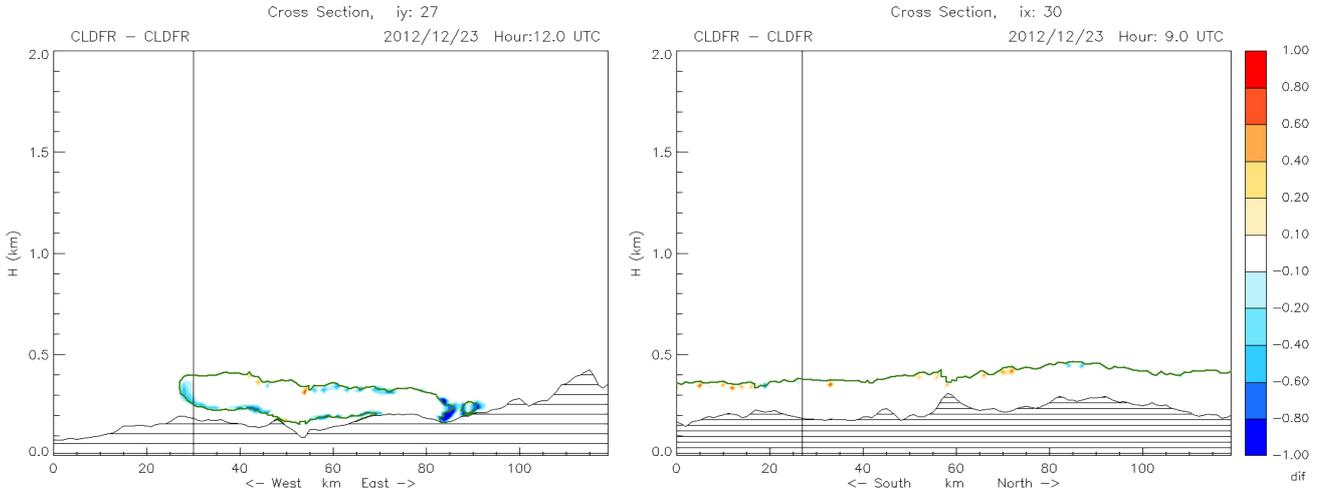
#### Alqueva



a) b)  
**Figura A.8** - Secções verticais de sentido Oeste-Este e Sul-Norte do Domínio 2 que passa no ponto de “Alqueva” com a diferença de nebulosidade (CLDFR) entre as simulações com e sem Alqueva às 06 UTC. Limites das nuvens (linha verde), diferença entre simulações (Alqueva-Original) escala de cores.

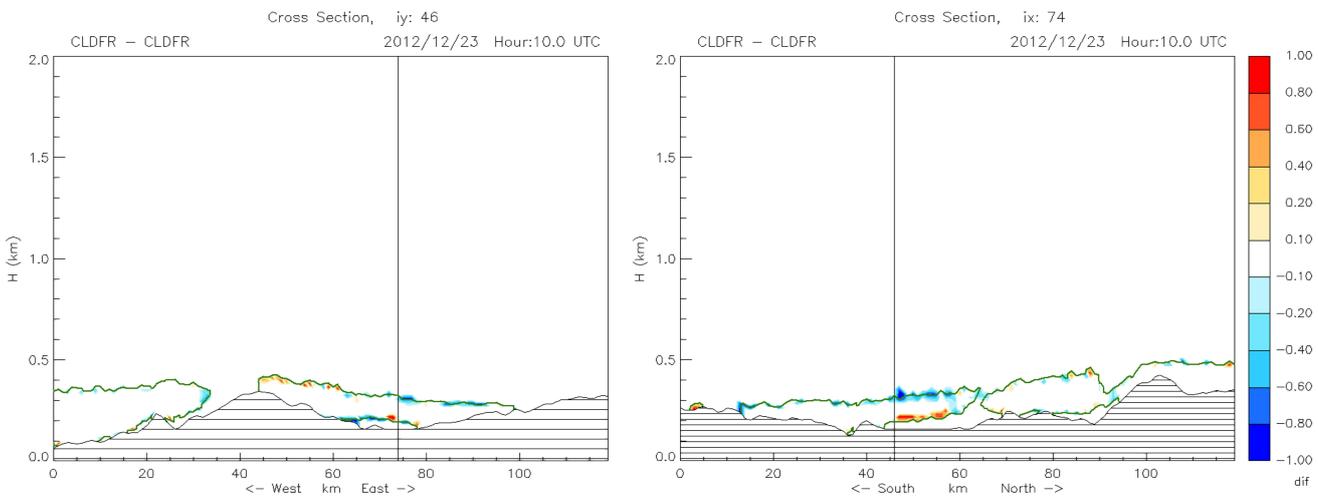
Caso II

Beja – Base Aérea



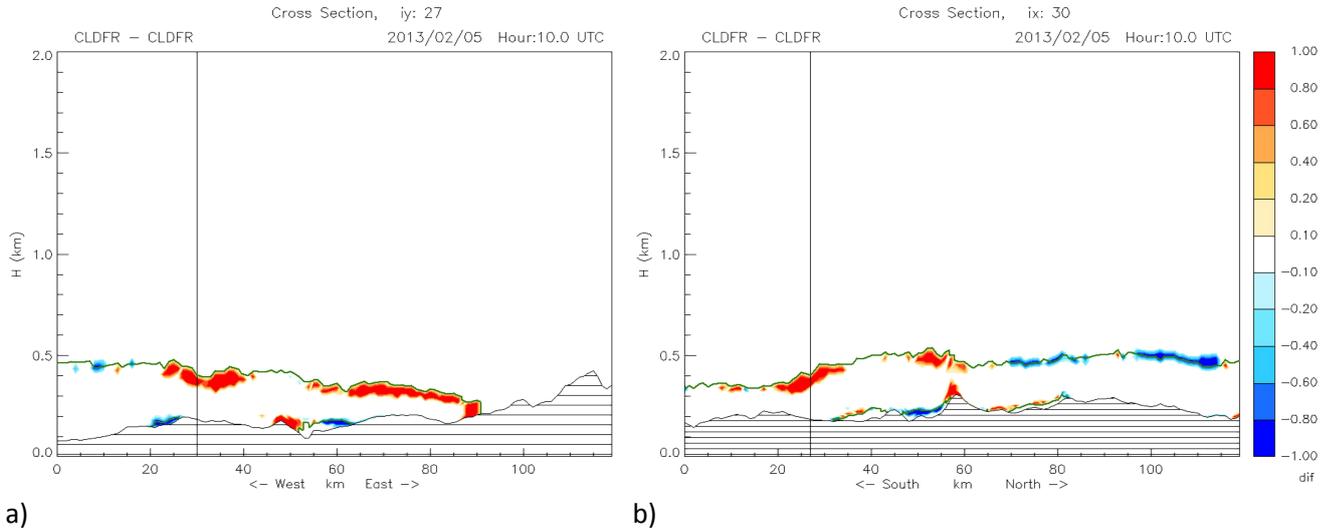
a) b)  
**Figura A.9** - Secções verticais de sentido Oeste-Este e Sul-Norte do Domínio 2 que passa no ponto de “Beja - Base Aérea” com a diferença de nebulosidade (CLDFR) entre as simulações com e sem Alqueva às 09 UTC. Limites das nuvens (linha verde), diferença entre simulações (Alqueva-Original) escala de cores.

Alqueva



a) b)  
**Figura A.10** - Secções verticais de sentido Oeste-Este e Sul-Norte do Domínio 2 que passa no ponto de “Alqueva” com a diferença de nebulosidade (CLDFR) entre as simulações com e sem Alqueva às 10 UTC. Limites das nuvens (linha verde), diferença entre simulações (Alqueva-Original) escala de cores.

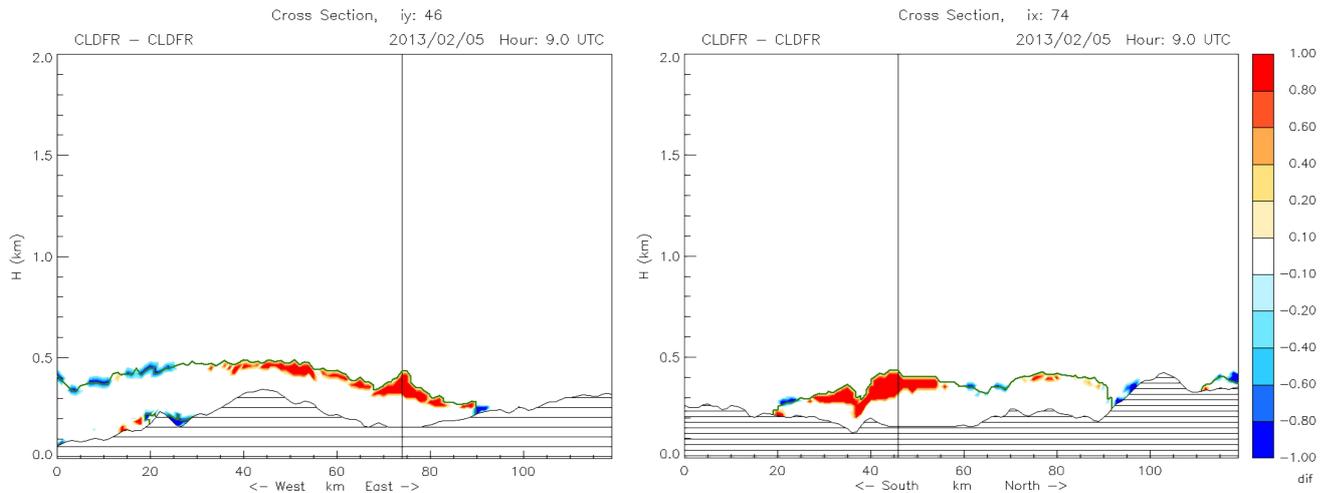
## Caso III

Beja – Base Aérea

a)

b)

**Figura A.11** - Secções verticais de sentido Oeste-Este e Sul-Norte do Domínio 2 que passa no ponto de “Beja – Base Aérea” com a diferença de nebulosidade (CLDFR) entre as simulações com e sem Alqueva às 10 UTC. Limites das nuvens (linha verde), diferença entre simulações (Alqueva-Original) escala de cores.

Alqueva

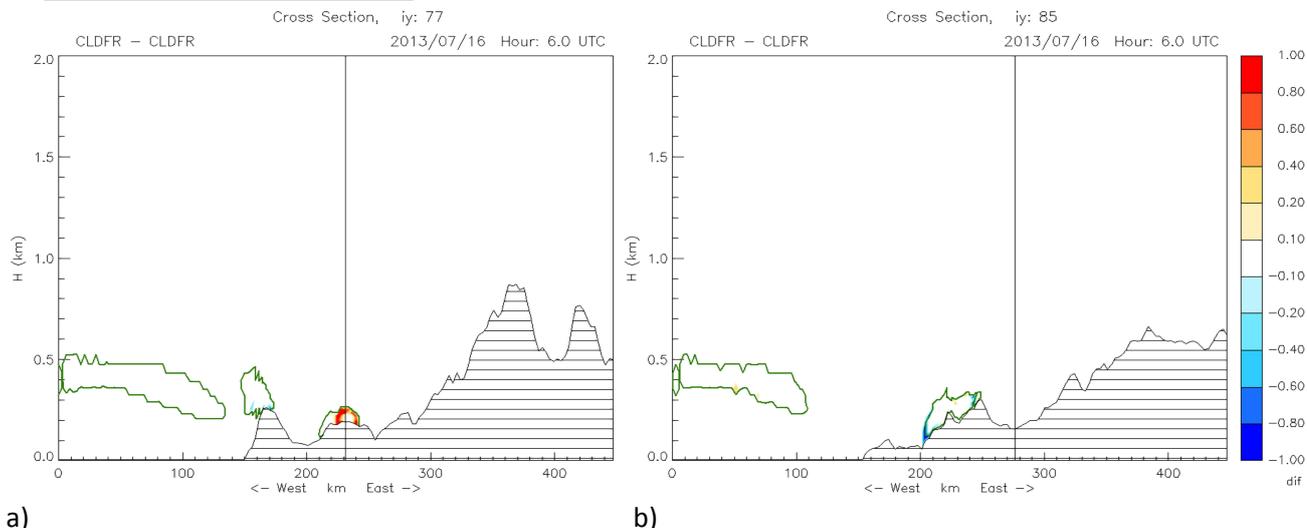
a)

b)

**Figura A.12** - Secções verticais de sentido Oeste-Este e Sul-Norte do Domínio 2 que passa no ponto de “Alqueva” com a diferença de nebulosidade (CLDFR) entre as simulações com e sem Alqueva às 09 UTC. Limites das nuvens (linha verde), diferença entre simulações (Alqueva-Original) escala de cores.

## Caso IV

## Beja – Base Aérea e Alqueva

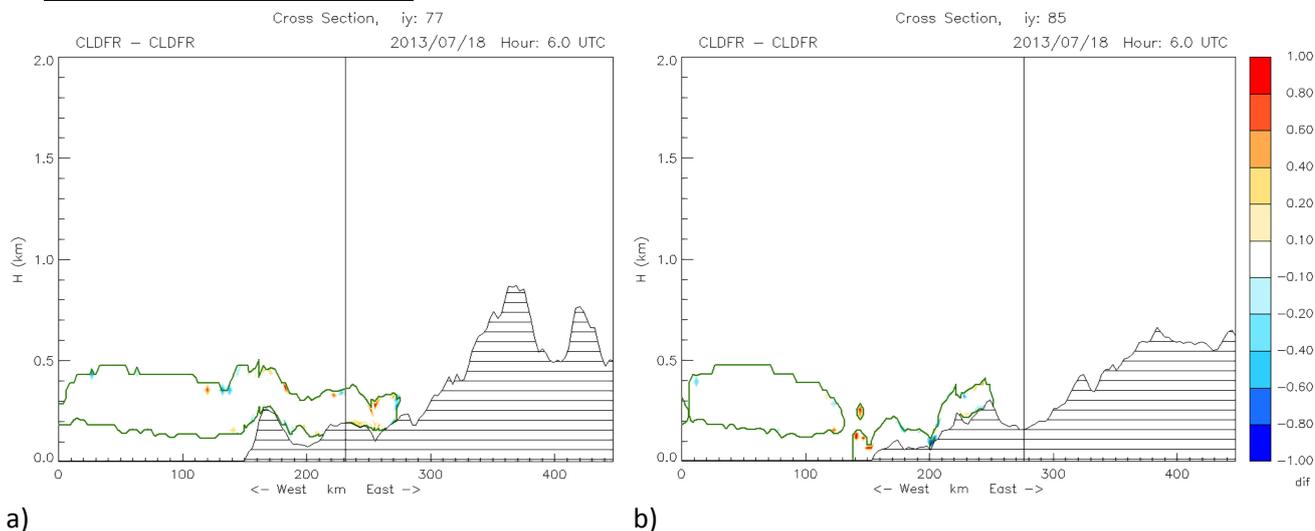


a) b)

**Figura A.13** - Secções verticais de sentido Oeste-Este do Domínio 1 que passam no ponto de “Beja – Base Aérea”, a) e “Alqueva”, b) com a diferença de nebulosidade (CLDFR) entre as simulações com e sem Alqueva às 06 UTC. Limites das nuvens (linha verde), diferença entre simulações (Alqueva-Original) escala de cores.

## Caso V

## Beja – Base Aérea e Alqueva

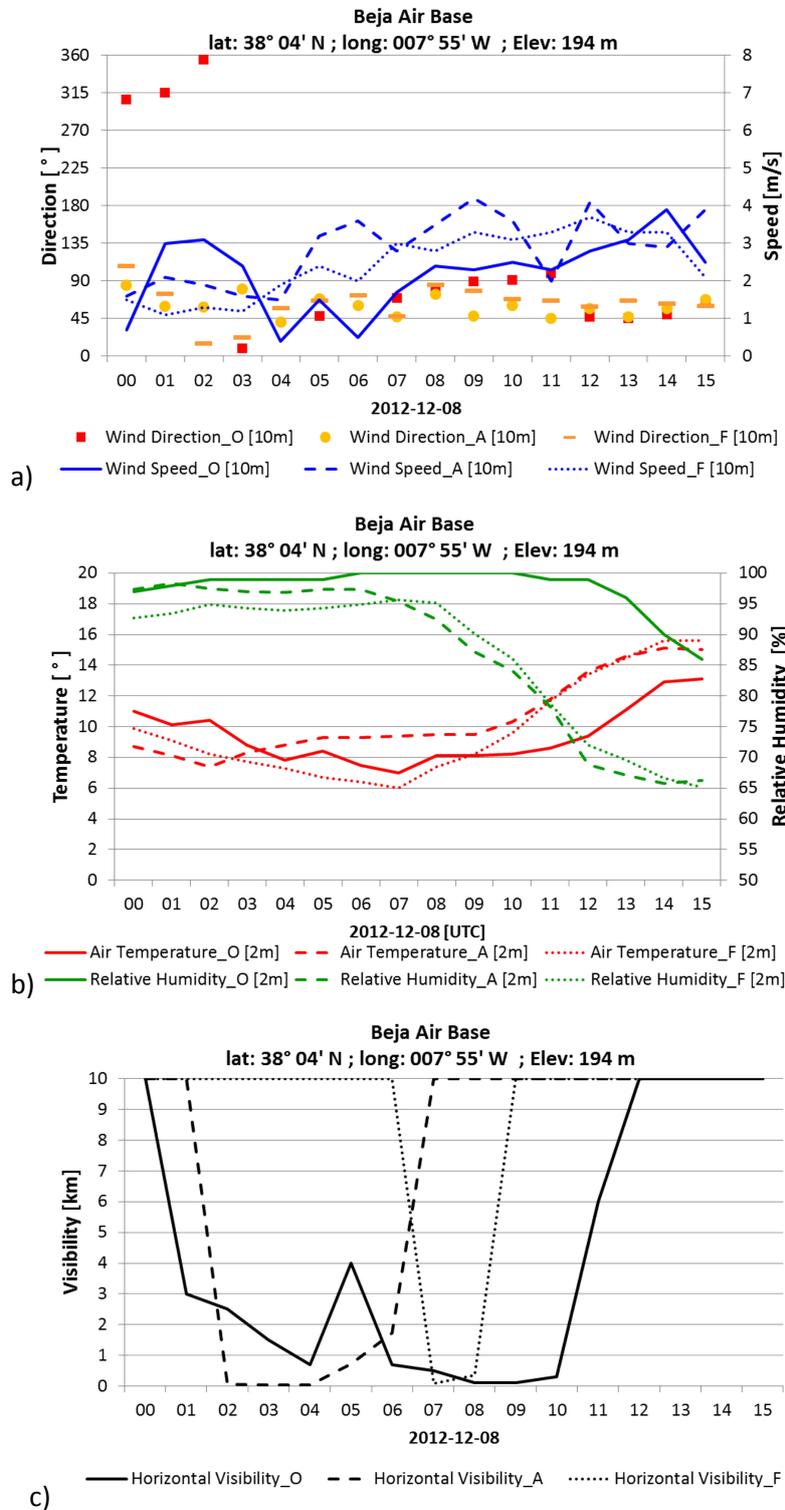


a) b)

**Figura A.14** - Secções verticais de sentido Oeste-Este do Domínio 1 que passam nos pontos de “Beja – Base Aérea”, a) e “Alqueva”, b) com a diferença de nebulosidade (CLDFR) entre as simulações com e sem Alqueva às 06 UTC. Limites das nuvens (linha verde), diferença entre simulações (Alqueva-Original) escala de cores.

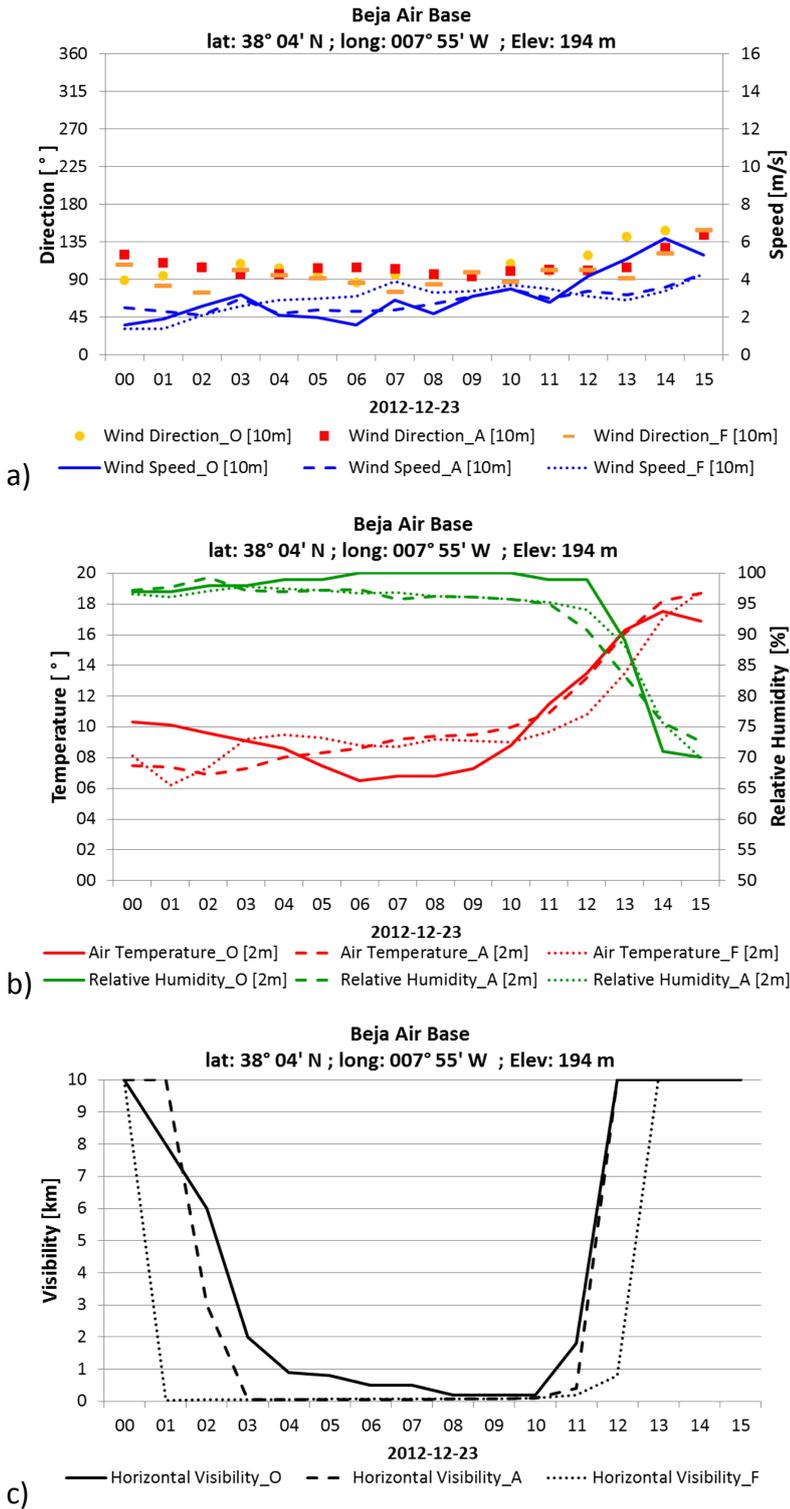
## ANEXO 4.3.A – Comparação entre as Observações e as Simulações (Beja-Base Aérea)

### Caso I



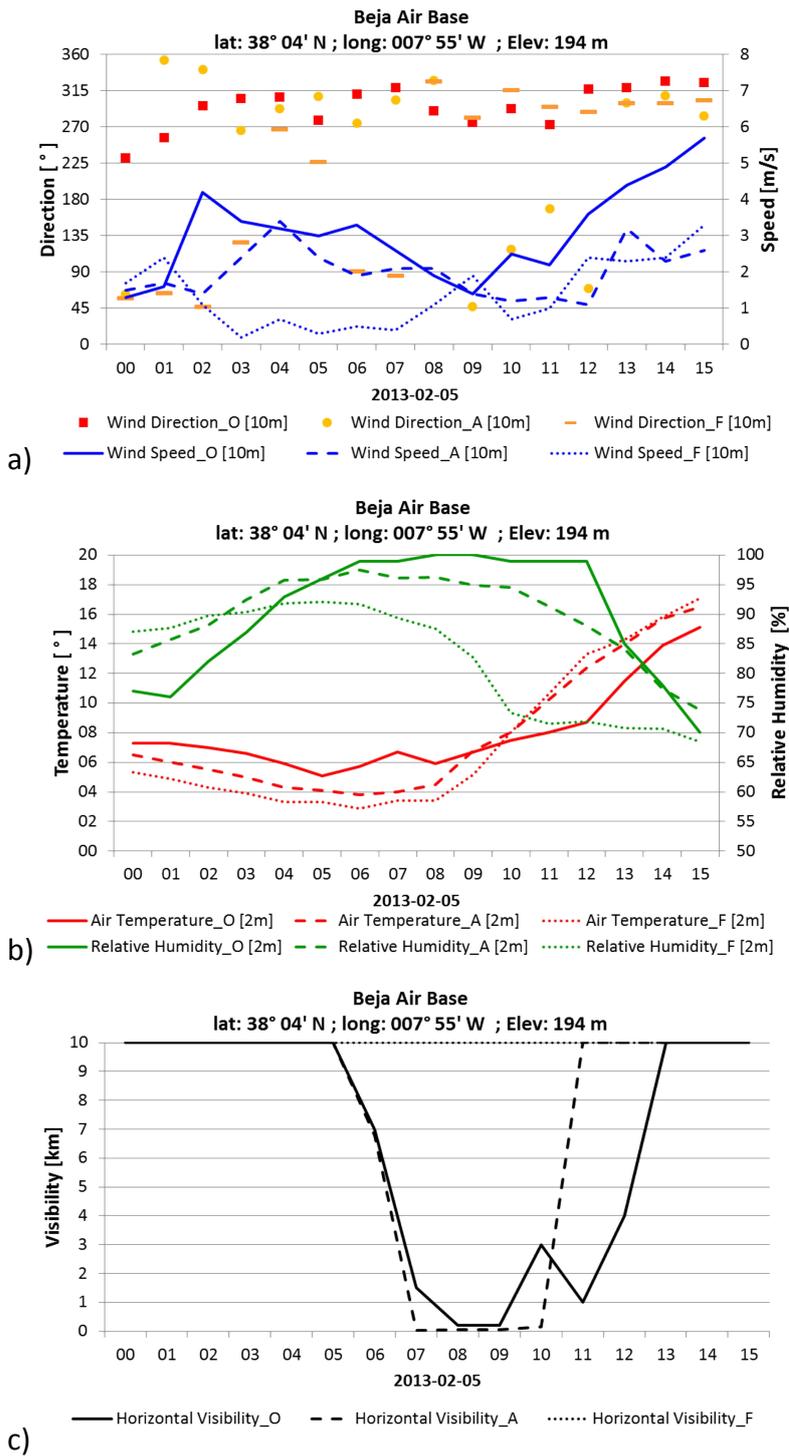
**Figura A.15** - Dados observados e simulados de a) direção e velocidade do vento, b) temperatura do ar e humidade relativa e c) visibilidade horizontal de Beja-Base Aérea.

Caso II



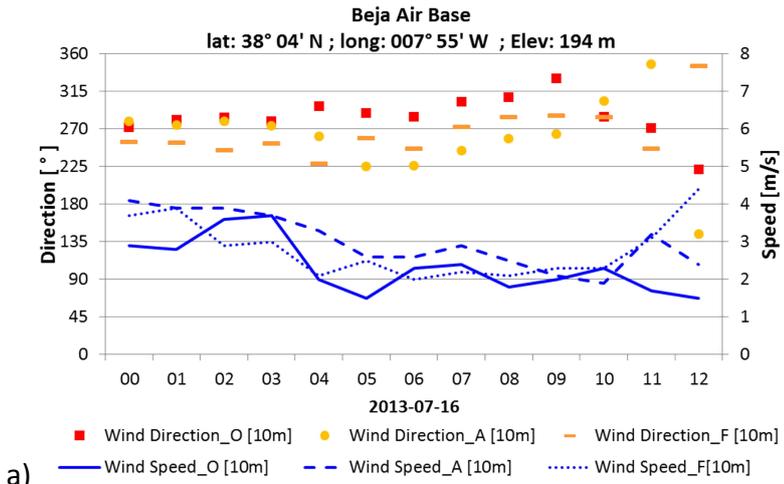
**Figura A.16** - Dados observados e simulados de a) direção e velocidade do vento, b) temperatura do ar e humidade relativa e c) visibilidade horizontal de Beja-Base Aérea.

Caso III

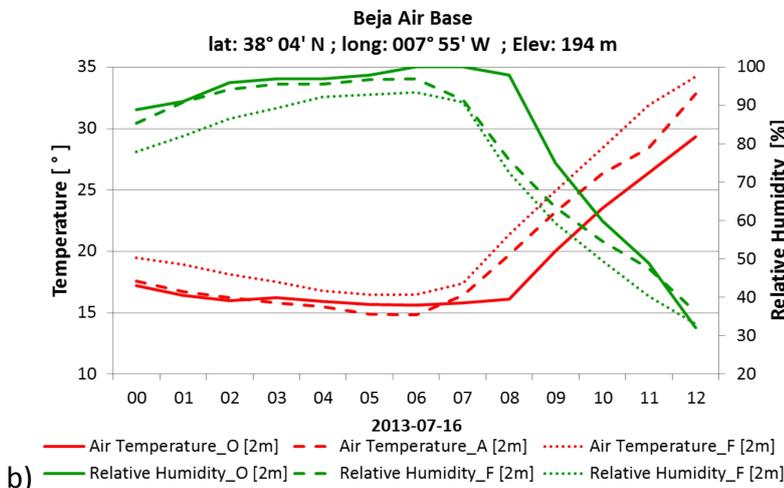


**Figura A.17** - Dados observados e simulados de a) direção e velocidade do vento, b) temperatura do ar e humidade relativa e c) visibilidade horizontal de Beja-Base Aérea.

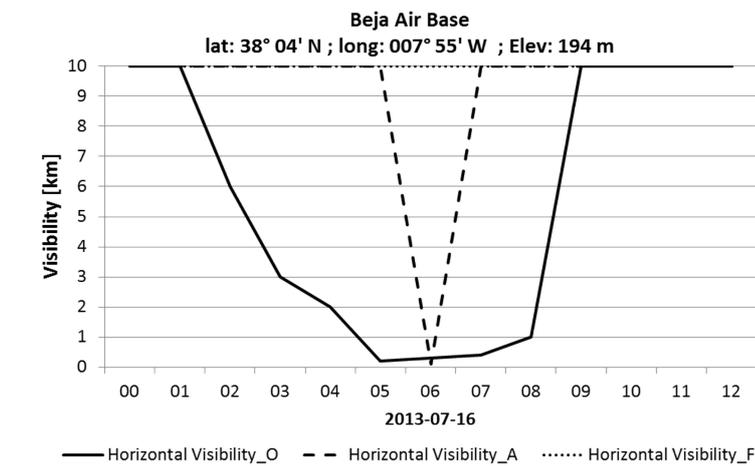
Caso IV



a)



b)



c)

**Figura A.18** - Dados observados e simulados de a) direção e velocidade do vento, b) temperatura do ar e humidade relativa e c) visibilidade horizontal de Beja-Base Aérea.

Caso V

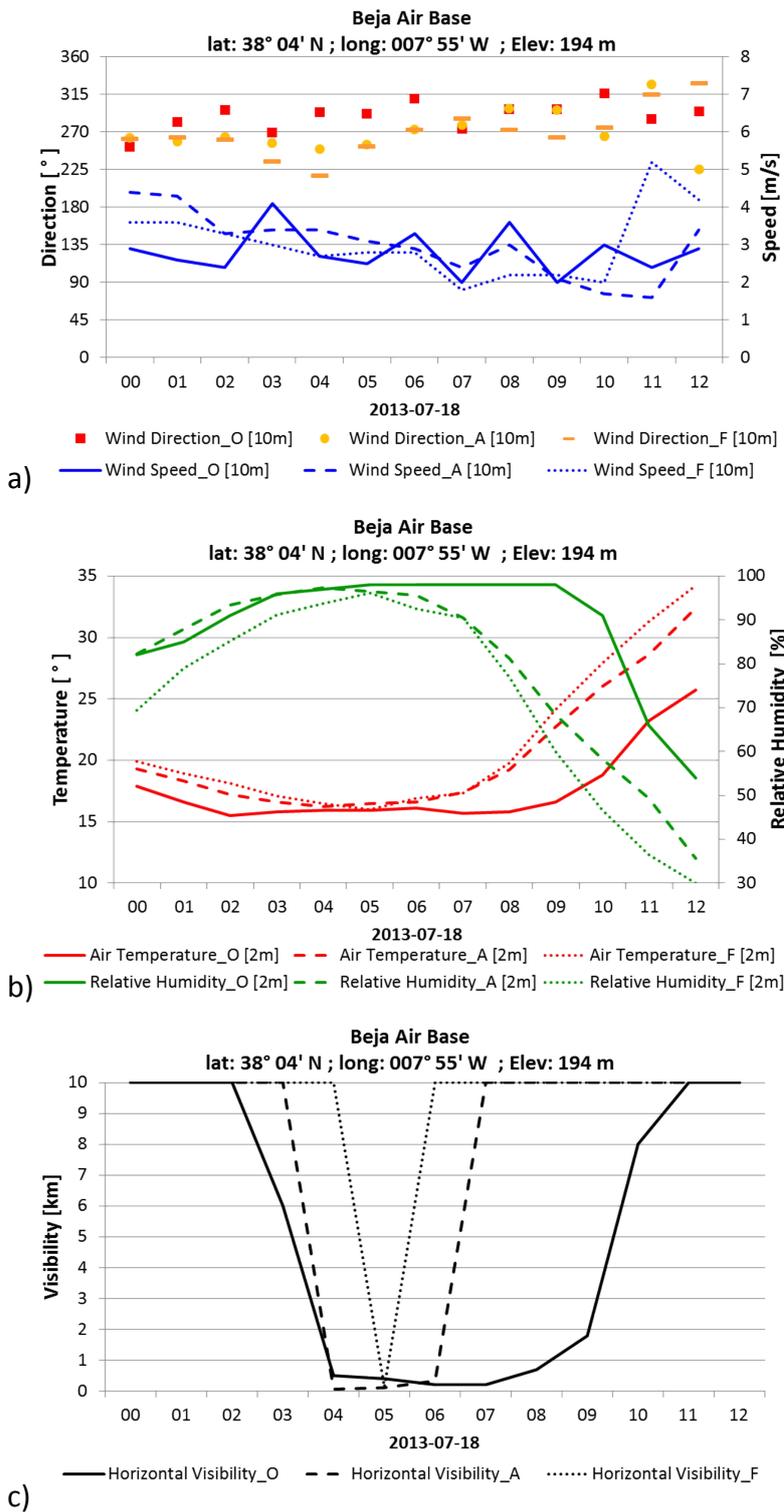


Figura A.19 - Dados observados e simulados de a) direção e velocidade do vento, b) temperatura do ar e humidade relativa e c) visibilidade horizontal de Beja-Base Aérea.

Página intencionalmente em branco

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHRENS, C. (2009): *Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment* 9<sup>th</sup> Edition. Brooks/Cole, Cengage Learning, Belmont, USA, pp. 114-122. ISBN-10:0-495-55573-8
- BADER, M. et al (1995). *Images in weather forecasting*. University Press, Cambridge, pp. 445-463. ISBN 0 521 45111 6
- BENDIX, J. (2002). *A satellite-based climatology of fog and low-level stratus in Germany and adjacent areas*, Atmos. Res, **64**, pp. 3–18.
- BERGOT, T. (2007). *Quality Assessment of the Cobel-Isba Numerical Forecast System of Fog and Low Clouds*. Pure appl. Geophys., **164**, pp. 1265-1282.
- BOUGEAULT, P. & LACARRÈRE, P. (1989). *Parameterization of orography-induced turbulence in a meso-beta-scale model*. Mon. Wea. Rev., **117**, pp. 1872-1890.
- BOUGEAULT, P. (2003). WGNE recommendations on verification methods for numerical prediction of weather elements and severe weather events. CAS/JSC WGNE Report No. 18.
- CERMAK, J. & BENDIX, J. (2007). *Dynamical Nighttime Fog/Low Stratus Detection Based on Meteosat SEVIRI Data: A Feasibility Study*. Pure appl. geophys., **164**, pp. 1179-1192.
- COTTON, W. & ANTHES, R. (1989). *Storm and Cloud Dynamics*. Academic Press, San Diego, pp. 303-328, ISBN: 0-12-192530-7.
- CROFT, P., PFOST, R., MEDLIN, J., JOHNSON, G. (1997). *Fog forecasting for the Southern Region: A conceptual model approach*. Weather and Forecasting, **12**, pp. 545-556.
- CUXART, J. & JIMENEZ, M. (2012). *Deep Radiation Fog in a Wide Closed Valley: Study by Numerical Modeling and Remote Sensing*. Pure Appl. Geophys, **169**, pp. 911–926
- DUYNKERKE, P.G. (1991) *Radiation fog: A comparison of model simulation with detailed observations*, Monthly Weather Rev., **119**, pp. 324–341.
- FAROUX, S., A., TCHUENTÉ, J., ROUJEAN, V. MASSON, E., MARTIN, & P., LE MOIGNE (2013). *ECOCLIMAP-II/Europe: a twofold database of ecosystems and surface parameters at 1 km resolution based on satellite information for use in land surface, meteorological and climate models*, Geosci. Model Dev., **6**, pp 563-582.
- GESCH, D., VERDIN, K., GREENLEE, S.(1999). *New Land Surface Digital Elevation Model Covers the Earth*, EOS Trans. Am. Geophys. Un., **80**, pp. 69–70.
- GULTEPE, I., TARDIF, R., MICHAELIDES, S., CERMAK, J., BOTT, A., BENDIX, J., MULLER, M., PAGOWSKI, M., HANSEN, B., ELLROD, G. JACOBS, P., TOTH, W., COBER, S. (2007). *Fog Research: A Review of Past Achievements and Future Perspectives*. Pure appl. Geophys., **164**, pp. 1121-1159.

- HAEFFELIN, M, BERGOT, T., ELIAS, T., TARDIF, R., CARRER, D., CHAZETTE, P., COLOMB, M., DROBINSKI, P., DUPONT, E., DUPONT, J., GOMES, L., MUSSON-GENON, L., PIETRAS, C., PLANAFATTORI, A., PROTAT, A., RANGOGNIO, J., RAUT, J., RÉMY, S., RICHARD, D., SCIARE, J., ZHANG, X. (2010). *PARISFOG: Shedding New Light on Fog Physical Processes*. Bull. Amer. Meteor. Soc., **91**, pp. 767–783.
- HOLTON, J. (2004). *An Introduction to Dynamic Meteorology, 4<sup>th</sup> Edition*. Elsevier Academic Press, San Diego. ISBN: 0-12-354015-1
- IM & AEMET (2011). *Atlas Climático Ibérico*, Instituto de Meteorologia de Portugal e Agencia Estatal de Meteorología. ISBN: 978-84-7837-079-5
- IVALDI, C., CLARK, D., REYNOLDS, D. (2006). *Upgrade and technology transfer of the San Francisco Marine Stratus Forecast System to the National Weather Service*. Preprints, 12th Conf. on Aviation, Range and Aerospace Meteorology, Atlanta, GA, Amer. Meteor. Soc., P1.16.
- KAIN, J. & FRITSCH, J. (1990). *A one-dimensional entraining/detraining plume model and its Application in Convective Parameterization*. J. Atmos. Sci., **47**, pp. 2784–2802.
- LAFORE, J., STEIN, J., ASENCIO, N., BOUGEAULT, P., DUCROCQ, V., DURON, J., FISCHER, C., HEREIL, P., MASCART, P., PINTY, J., REDELSPERGER, J., RICHARD, E., ARELLANO, J. (1998). *The Meso-NH Atmospheric Simulation System. Part 1: Adiabatic Formulation and Control Simulation*, Ann. Geophys., **16**, pp. 90-109.
- LASCAUX, F., RICHARD, E., PINTY, J. (2006). *Numerical simulations of three MAP IOPs and the associated microphysical processes*. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., **132**, pp. 1907-1926.
- LIPPS, F. & HEMLER, R. (1982). *A scale analysis of deep moist convection and some related numerical calculations*, Journal of the Atmospheric Sciences, **39**, pp. 2192-2210.
- LUTGENS, F. & TARBUCK, E. (2013). *The atmosphere: an introduction to meteorology*, 12<sup>th</sup> Edition. Pearson Education, Boston. ISBN: 0-321-75631-2
- MASSON, V. (2000). *A physically-based scheme for the urban energy budget in atmospheric models*, Bound.-Lay. Meteorol., **94**, pp.357–397.
- MASSON, V., CHAMPEAUX J., CHAUVIN, C., MERIGUET, C., LACAZE, R. (2003). *A global database of land surface parameters at 1 km resolution for use in meteorological and climate models*, Journal of Climate, **16**, pp. 1261-1282
- MASSON, V., MOIGNE, P., MARTIN, E., FAROUX, S., ALIAS, A., ALKAMA, R., BELAMARI, S., BARBU, A., BOONE, A., BOUYSEL, F., BROUSSEAU, P., BRUN, E., CALVET, J., CARRER, D., DECHARME, B., DELIRE, C., DONIER, S., ESSAOUINI, K., GIBELIN, A., GIORDANI, H., HABETS, F., JIDANE, M., KERDRAON, G., KOURZENEVA, E., LAFAYSSE, M., LAFONT, S., BROSSIER, C., LEMONSU, A., MAHFOUF, J., MARGUINAUD, P., MOKHTARI, M., MORIN, S., PIGEON, G., SALGADO, R., SEITY, Y., TAILLEFER, F., TANGUY, G., TULET, P., VINCENDON, B., VIONNET, V., VOLDOIRE, A. (2013). *The SURFEXv7.2 land and ocean surface platform for coupled or offline simulation of earth surface variables and fluxes*. Geosci. Model Dev., **6**, pp. 929–960.
- MATEUS, C. (2006). *Detecção e Identificação de Nevoeiros e Nuvens na Região Sul de Portugal a Partir de Detecção Remota Multi-Espectral de Satélite*. Dissertação de Mestrado em Clima e Ambiente Atmosférico. Évora: Universidade de Évora, Departamento de Física, 101 p.

- MESINGER, F. & ARAKAWA, A. (1976). *Numerical methods used in atmospheric models*, GARP Publications Series, **17**.
- METOFFICE (1996). *Forecasters' Reference Book*. METOFFICE, Bracknell, 277 p. ISBN: 0 86180 321 3
- MIRONOV, D., HEISE, E., KOURZENEVA, E., RITTER, B., SCHNEIDER, N., TERZHEVIK, A. (2010). *Implementation of the lake parameterization scheme Flake into the numerical weather prediction model COSMO*. Boreal environment research, **15**, pp. 218–230
- MORCRETTE, J. (1989) Description of the radiation scheme in the ECMWF model. ECMWF Tech. Memo. **165**, 26 pp.
- NACHTERGAELE, F., Van VELTHUIZEN, H., VERELST, L., WIBERG, D. (2012). *Harmonized World Soil Database*, Version 1.2, FAO, IIASA, ISRIC, ISSCAS, JRC.
- NOILHAN, J. & P. LACARRÈRE, 1995: *GCM grid-scale evaporation from mesoscale modeling*. *J. Climate*, **8**, 206-223.
- NOILHAN, J. & PLANTON, S. (1989) *A Simple Parameterization of Land Surface Processes for Meteorological Models*, Mon. Weather Rev., **117**, pp. 536–549.
- PERGAUD, J., MASSON, V., MALARDEL, S., COUVREUX, F. (2009). *A Parameterization of Dry Thermals and Shallow Cumuli for Mesoscale Numerical Weather Prediction*. Bound. Layer. Meteor., **132**, pp. 83–106.
- PIELKE R. (2002). *Mesoscale Meteorological Modeling, 2<sup>nd</sup> Edition*. INTERNATIONAL GEOPHYSICS SERIES, Vol. 78. Academic Press, San Diego, 676 p. ISBN: 0-12-554766-8
- PINTY, J. & JABOUILLE, P. (1998). *A mixed-phase cloud parameterization for use in mesoscale non-hydrostatic model: simulations of a squall line and of orographic precipitations*. Proc. Conf. of Cloud Physics, Everett, WA, USA, Amer. Meteor. soc., **Aug. 1999**, pp. 217 - 220.
- REDELSPERGER, J. & SOMMERIA, G. (1981). *Méthode de représentation de la turbulence d'échelle inférieure à la maille pour un modèle tri-dimensionnel de convection nuageuse*. BoundaryLayer Meteor., **21(4)**, pp. 509-530.
- ROACH, W. (1994). *Back to basics: Fog: Part 1—Definitions and basic physics*, *Weather*, **49**, pp. 411–415.
- SALBY, M. (1996). *Fundamentals of Atmospheric Physics*. Academic Press, San Diego. ISBN: 978-0-12-615160-2
- SALGADO, R. & LE MOIGNE, P. (2010). *Coupling of the flake model to the surfex externalized Surface model*. Boreal environment research, **15**, pp. 231–244.
- SALGADO, R. (2005). *Interação Solo - Atmosfera em Clima Semi-Árido*. Dissertação de Doutoramento em Física. Évora: Universidade de Évora, Departamento de Física,.
- SANTOS, E. 1974. *METEOROLOGIA*, 2ª edição. Edição de Autor, Porto. 205 p.
- SOARES, P., MIRANDA, P., SIEBESMA, A. TEIXEIRA, J.(2004). *An eddy-diffusivity/mass-flux parametrization for dry and shallow cumulus convection*, Quart. J. Roy. Meteor. Soc., **130**, 3365-3383.

- STEIN, J., RICHARD, E., LAFORE, J., PINTY, J., ASENCIO, N., COSMA, S. (2000). *High-resolution non-hydrostatic simulations of flash-flood episodes with grid-nesting and ice-phase parameterization*. Meteorol. Atmos. Phys., **72**, pp. 101-110
- STULL, R. (2000). *Meteorology for Scientists and Engineers*, 2<sup>nd</sup> edition, Brooks/Cole, Belmont, USA. ISBN: 978-0-534-37214-9
- TARDIF, R. & RASMUSSEN, R. (2007). *Event-based climatology and typology of fog in the New York City region*. J. Appl. Meteor. And Climat., **46**, pp. 1141-1168
- TARDIF, R. (2007). *The Impact of Vertical Resolution in the Explicit Numerical Forecasting of Radiation Fog: A Case Study*. Pure appl. geophys. **164**, pp. 1221–1240.
- WMO (2008). WMO-No. 8 - *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*. Seventh edition, World Meteorological Organization, Geneva. ISBN 978-92-63-100085
- WMO/TD-No. 1390 (2007). *Aviation Hazards*. World Meteorological Organization, Geneva.
- WWRP & WGNE (2008). WMO TD No. 1485. *RECOMMENDATIONS FOR THE VERIFICATION AND INTERCOMPARISON OF QPFS AND PQPFS FROM OPERATIONAL NWP MODELS*, Revision 2
- POLICARPO, C. (2009). *Nevoeiros*. Aula de Meteorologia Geral no âmbito do Curso de Formação Inicial de Formadores. Escola de Formação de Formadores, Centro de Formação Militar e Técnica da Força Aérea. Ota.

**Internet:**

- GUARENTE, B. et al., (2012). *Remote Sensing Using Satellites, 2nd Edition*. National Weather Service, UCAR/COMET Program. url: [www.meted.ucar.edu/satmet/remote\\_sensing](http://www.meted.ucar.edu/satmet/remote_sensing)
- WEINGROFF, M. et al., (2010). *Multispectral Satellite Applications: RGB Products Explained*. National Weather Service, UCAR/COMET Program. url: [www.meted.ucar.edu/satmet/multispectral\\_topics/rgb/](http://www.meted.ucar.edu/satmet/multispectral_topics/rgb/)
- CIANFLONE, R. et al. (2003). *Local Influences on Fog and Low Stratus*. National Weather Service, UCAR/COMET Program. url: [www.meted.ucar.edu/dlac/lesson2b/](http://www.meted.ucar.edu/dlac/lesson2b/)
- CIANFLONE, R. et al. (2004). *Fog and Stratus Forecast Approaches*. National Weather Service, UCAR/COMET Program. url: [www.meted.ucar.edu/dlac/lesson1/](http://www.meted.ucar.edu/dlac/lesson1/)
- ROSS-LAZAROV, T. et al. (2012). *Fog: Its Processes and Impacts to Aviation and Aviation Forecasting*. National Weather Service, UCAR/COMET Program. url: [www.meted.ucar.edu/fog\\_int/](http://www.meted.ucar.edu/fog_int/)
- <http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni> - Giovanni - Interactive Visualization and Analysis - GES DISC: Goddard Earth Sciences, Data and Information Services Center
- <http://eros.usgs.gov/> - Earth Resources Observation and Science (EROS) Center of U.S. Geological Survey
- <http://lance-modis.eosdis.nasa.gov/> - NASA - Earth Observing System Data and Information System

- <http://mesonh.aero.obs-mip.fr/> - Meso-NH Home Page
- <http://snirh.pt/> - Sistema Nacional de informação de Recursos Hídricos
- <http://webarchive.iiasa.ac.at/Research/LUC/External-World-soil-database/HTML/>
- [www.alqueva.com.pt/](http://www.alqueva.com.pt/) - Alqueva online
- [www.apambiente.pt/](http://www.apambiente.pt/) - Agência Portuguesa do Ambiente
- [www.brockmann-consult.de/cms/web/beam/](http://www.brockmann-consult.de/cms/web/beam/) - Earth Observation Toolbox and Development Platform, ESA
- [www.cnrm.meteo.fr/surfex/](http://www.cnrm.meteo.fr/surfex/) - SURFEX Home Page
- [www.eumetrain.org/](http://www.eumetrain.org/) - International EUMETSAT training project to support and increase the use of meteorological satellite data
- [www.eumetsat.int/](http://www.eumetsat.int/) - European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites
- [www.flake.igb-berlin.de/](http://www.flake.igb-berlin.de/) - Modelo FLake online
- [www.google.com/earth/](http://www.google.com/earth/) - Google Earth
- [www.gpp.pt/ambiente/PROT/Alentejo/](http://www.gpp.pt/ambiente/PROT/Alentejo/) - Plano Regional de Ordenamento do Território do Alentejo do Gabinete de Planeamento e Política do Ministério da Agricultura e do Mar.
- [www.igeo.pt/atlas/](http://www.igeo.pt/atlas/) - Instituto Geográfico Português
- [www.infopedia.pt/](http://www.infopedia.pt/) - Enciclopédia e dicionários Porto Editora
- [www.ipma.pt](http://www.ipma.pt) – Instituto Português do Mar e da Atmosfera
- [www.met.ed.ucar.edu/](http://www.met.ed.ucar.edu/) - Teaching and Training Resources for the Geoscience Community
- [www.ncdc.noaa.gov/cdo-web/](http://www.ncdc.noaa.gov/cdo-web/) - Climate Data Online (CDO, NOAA)
- [www.qgis.org/](http://www.qgis.org/) - Open Source Geographic Information System
- [www.visitalentejo.pt/](http://www.visitalentejo.pt/) - Turismo do Alentejo

Página intencionalmente em branco