



UNIVERSIDADE DE ÉVORA
ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

**Impacto da introdução da albufeira de Alqueva
no modelo de previsão AROME**

Sónia Isabel Cardoso Assunção

Orientação: Professor Doutor Rui Salgado

Coorientação: Doutora Maria José Monteiro

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

Área de Especialização: Meteorologia, Clima e Ambiente Dissertação

Évora, 2017



UNIVERSIDADE DE ÉVORA
ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

**Impacto da introdução da albufeira de Alqueva
no modelo de previsão AROME**

Sónia Isabel Cardoso Assunção

Orientação: Professor Doutor Rui Salgado

Coorientação: Doutora Maria José Monteiro

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

Área de Especialização: Meteorologia, Clima e Ambiente Dissertação

Évora, 2017

Agradecimentos

Os apoios e incentivos recebidos durante a elaboração desta dissertação de mestrado foram fundamentais para a sua conclusão, pelo que estarei eternamente grata.

Quero agradecer em particular ao meu orientador, Professor Doutor Rui Salgado, que sempre me incentivou e se mostrou disposto e disponível para me orientar e ajudar, mesmo do outro lado do oceano Atlântico!

À Doutora Maria José Monteiro o meu sincero agradecimento pela coorientação nesta dissertação, pelas palavras de ânimo e incentivo, pelo apoio e disponibilidade e por toda a ajuda prestada ao longo de toda esta etapa.

Ao meu chefe, Carlos Mateus, o apoio e a logística necessária ao desenvolvimento deste trabalho. Aos meus colegas do IPMA, Manuel Mendes pelo interesse, apoio e disponibilidade que demonstrou na elaboração dos tefigramas, Álvaro Silva pela ajuda e prontidão na elaboração do mapa das estações da rede IPMA e a todo o grupo da previsão numérica pelo apoio prestado.

À minha família e amigos pelo apoio incondicional e pela motivação e paciência infinita ao longo de todo este trabalho.

Obrigada!

Página intencionalmente em branco

Resumo

Impacto da introdução da albufeira de Alqueva no modelo de previsão AROME

Apesar de as comportas da barragem de Alqueva terem sido fechadas em 2002, dando origem ao maior lago artificial da Europa Ocidental, os seus possíveis efeitos no estado do tempo em Portugal não são tidos em conta pelos modelos operacionais de previsão numérica utilizados no Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA). Assim, é necessário introduzir a fisiografia do lago no modelo em estudo (AROME) e realizar a validação do mesmo através das diferenças entre as simulações com e sem Alqueva, confrontando os resultados da análise estatística e meteorológica com as observações.

Página intencionalmente em branco

Abstract

Impact of the introduction of Alqueva dam in the AROME forecasting model

Although the floodgates of the Alqueva dam were closed in 2002, giving rise to the largest artificial lake in Western Europe, its possible effects on the weather in Portugal are not being taken into account by the operational Numerical Weather Prediction models at IPMA. Thus, it is necessary to introduce the physiography of the lake in the model under study (AROME), and to validate it by analysing statistically as well as meteorologically the differences between the model simulations with and without Alqueva and to compare these results with observations.

Página intencionalmente em branco

Índice

Agradecimentos.....	v
Resumo	vii
Abstract.....	ix
Índice	xi
Índice de Figuras	xiii
Índice de Gráficos	xv
Índice de Tabelas	xvii
Lista de Acrónimos e Siglas.....	xix
Capítulo 1 – Introdução	1
1.1 - Área geográfica de estudo	2
1.1.1 - Caracterização da região (Alentejo).....	2
1.1.2 - Caracterização do clima	3
1.1.3 - Albufeira de Alqueva.....	4
1.2 - Interação entre a superfície e a atmosfera.....	6
1.2.1 - O uso dos solos.....	6
1.2.2 - Influência das albufeiras (lagos artificiais) na atmosfera.....	8
Capítulo 2 – Modelo de Previsão Numérica: AROME.....	9
2.1 - Descrição do modelo AROME	10
2.1.1 - Parametrizações Físicas	11
2.1.2 – Assimilação de dados	15
2.2 - Em Portugal.....	16
Capítulo 3 - Materiais e Métodos	19
3.1 – Observações Meteorológicas	19
3.1.1 – Observações de superfície	19
3.1.2 – Observações de altitude: radiossondagens.....	22
3.2 – AROME e Bases de Dados da fisiografia.....	23
3.3 – Avaliação do desempenho do modelo.....	24
3.3.1 - Índices de Avaliação	25
Capítulo 4 – Análise e Discussão de Resultados	27
4.1 – Índices de avaliação do modelo	27
4.2 – Casos de Estudo.....	33

Índice

4.2.1 – Brisa de Lago	33
4.2.2 – Brisa de Terra	43
4.2.3 – Nebulosidade.....	45
Conclusões	51
Bibliografia	55
ANEXOS	61
ANEXO I – BRISA DE LAGO	63
ANEXO II – DADOS DE VENTO.....	75
ANEXO III – NEBULOSIDADE	81

Índice de Figuras

Figura 1.1 – Plano Regional de Ordenamento do Território do Alentejo. Fonte: http://www.cm-santiagocacem.pt/wpcontent/uploads/MAPA03_Unidades-de-Paisagem.jpg	2
Figura 1.2 - Clima de Portugal Continental, segundo a classificação de Köppen. Fonte: IPMA.....	3
Figura 1.3 - Mapa da evolução do sistema global de rega. Fonte: http://www.alqueva.com.pt/pt/#/regadio/area-em-exploracao/mapa-de-evolucao/10	5
Figura 1.4 - À esquerda: Mapa da região sul de Portugal antes da construção da barragem. Fonte: Diário do Alentejo de 21 de agosto de 1975 (http://bejayarrabaldes.blogspot.pt/search?q=alqueva). À direita: Mapa atual da albufeira de Alqueva. Fonte: http://salvador-nautico.blogspot.pt/2015_11_01_archive.html?view=classic	5
Figura 1.5 - Esquema do balanço energético: a) solo nu; b) solo com vegetação. Fonte: Pielke, 2001.	7
Figura 1.6 - Esquema do balanço hídrico: a) solo nu; b) solo com vegetação. Fonte: Pielke, 2001. .	7
Figura 2.1 - Representação esquemática dos principais processos e funcionalidades do SURFEX (Masson et al., 2013).....	13
Figura 2.2 - Representação esquemática da organização da superfície usando os quatro mosaicos principais e submosaicos da natureza (Masson et al., 2013).....	14
Figura 2.3 - Domínios do AROME. Legenda: AROME-AZO a azul, AROME-MAD a cinzento e AROME-PT2 a amarelo.....	16
Figura 3.1 - Mapa com as estações meteorológicas temporárias da campanha ALEX2014.....	20
Figura 3.2 - Mapa com localização das estações Barbosa e Cid Almeida e localização do ponto no modelo AROME correspondente a Cid Almeida. Fonte: https://www.google.pt/maps	21
Figura 3.3 - Rede de Estações Meteorológicas Automáticas (EMA) do IPMA. Legenda: 558 – Évora Aeródromo; 562 – Beja; 835 – Elvas; 837 – Estremoz (Techocas); 840 – Reguengos (S. Pedro do Corval); 847 – Viana do Alentejo; 848 – Portel (Oriola); 851 – Amareleja.....	22
Figura 3.4 - Representação da base de dados ECOCLIMAP_II_v2.3 sem a fisiografia da albufeira de Alqueva (à esquerda) e com a fisiografia (à direita). As áreas a verde representam superfícies com água. Fonte: Policarpo, 2014 e Policarpo et al., 2017.....	24
Figura 3.5 - Representação da base de dados GMTED2010_30 sem a fisiografia da albufeira de Alqueva (à esquerda) e com a fisiografia (à direita). Escala: mínimo – preto e máximo – laranja. Fonte: Policarpo, 2014 e Policarpo et al., 2017.	24
Figura 3.6 - Medidas estatísticas (Fonte: http://www.meted.ucar.edu/nwp/model_derivedproducts/).....	25
Figura 4.1 - Carta de pressão ao nmm e vento aos 10m, run das 00h de dia 21 julho, h+36h, válida para dia 22 julho às 12h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva (CY38SAL); À direita: com a fisiografia do Alqueva (CY38ALQ).....	34

Índice de Figuras

Figura 4.2 - Carta de pressão ao nmm e vento aos 10m, run das 00h de dia 21 julho, h+39h, válida para dia 22 julho às 15h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva (CY38SAL); À direita: com a fisiografia do Alqueva (CY38ALQ).....	34
Figura 4.3 - Carta de pressão ao nmm e vento aos 10m, run das 00h de dia 21 julho, h+42h, válida para dia 22 julho às 18h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva (CY38SAL); À direita: com a fisiografia do Alqueva (CY38ALQ).....	35
Figura 4.4 - Carta de temperatura (°C) aos 2 m, run das 00h de dia 21 julho, h+36, válida para dia 22 julho às 12h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva; À direita: com a fisiografia do Alqueva ...	36
Figura 4.5 - Carta das diferenças para a temperatura (°C) aos 2 m, válida para dia 22 de julho às 12h.	36
Figura 4.6 - Carta de temperatura (°C) à superfície, run das 00h de dia 21 julho, h+42, válida para dia 22 julho às 18h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva; À direita: com a fisiografia do Alqueva	37
Figura 4.7 - Carta das diferenças para a temperatura (°C) à superfície, válida para dia 22 de julho às 18h.....	38
Figura 4.8 - Carta de temperatura (°C) e humidade relativa aos 2 m, run das 00h de dia 21 julho, h+42, válida para dia 22 julho às 18h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva; À direita: com a fisiografia do Alqueva.....	38
Figura 4.9 - Carta das diferenças para a Humidade Relativa, válida para dia 22 de julho às 18h....	39
Figura 4.10 - Carta das diferenças para a temperatura (°C) aos 2 m, válida para dia 22 de julho às 03h.....	44
Figura 4.11 - Carta das diferenças para a temperatura (°C) à superfície, válida para dia 22 de julho às 06h.	45
Figura 4.12 - Carta de nebulosidade baixa, run das 12h de dia 22 julho, h+42, válida para dia 24 julho às 06h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva; À direita: com a fisiografia do Alqueva	46
Figura 4.13 - Carta das diferenças entre o modelo com a fisiografia da albufeira e o modelo sem a fisiografia, válida para dia 24 de julho às 06h.....	46
Figura 4.14 - Carta das diferenças para a Humidade Relativa, válida para dia 24 de julho às 06h.	47
Figura 4.15 - Carta de nebulosidade total, run das 12h de dia 22 julho, h+42, válida para dia 24 julho às 06h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva; À direita: com a fisiografia do Alqueva	47
Figura 4.16 – Tefigrama observado às 06h de dia 24 julho	48
Figura 4.17 - Tefigrama válido para as 06h de dia 24 julho (com Alqueva - CY38ALQ)	49
Figura 4.18 - Tefigrama válido para as 06h de dia 24 julho (sem Alqueva - CY38SAL)	50

Índice de Gráficos

Gráfico 4.1 - Bias referente à temperatura aos 2 m para diferentes versões do modelo AROME-PT2, com base nos runs das 00h do dia 21 ao dia 25 de julho 2014, para as Estações IPMA referidas anteriormente.	28
Gráfico 4.2 - RMSE referente à temperatura aos 2 m para diferentes versões do modelo AROME-PT2, com base nos runs das 00h do dia 21 ao dia 25 de julho 2014, para as Estações IPMA referidas anteriormente.	28
Gráfico 4.3 - Bias referente à temperatura à superfície para diferentes versões do modelo AROME-PT2, com base nos runs das 00h do dia 21 ao dia 25 de julho 2014, para as Estações IPMA referidas anteriormente.	29
Gráfico 4.4 - RMSE referente à temperatura à superfície para diferentes versões do modelo AROME-PT2, com base nos runs das 00h do dia 21 ao dia 25 de julho 2014, para as Estações IPMA referidas anteriormente.	30
Gráfico 4.5 - Bias referente à Humidade Relativa aos 2 m para diferentes versões do modelo AROME-PT2, com base nos runs das 00h do dia 21 ao dia 25 de julho 2014, para as Estações IPMA referidas anteriormente.	30
Gráfico 4.6 - RMSE referente à Humidade Relativa aos 2 m para diferentes versões do modelo AROME-PT2, com base nos runs das 00h do dia 21 ao dia 25 de julho 2014, para as Estações IPMA referidas anteriormente.	31
Gráfico 4.7 - Bias referente à intensidade do vento para diferentes versões do modelo AROME-PT2, com base nos runs das 00h do dia 21 ao dia 25 de julho 2014, para as Estações IPMA referidas anteriormente.	32
Gráfico 4.8 - RMSE referente à intensidade do vento para diferentes versões do modelo AROME-PT2, com base nos runs das 00h do dia 21 ao dia 25 de julho 2014, para as Estações IPMA referidas anteriormente.	32
Gráfico 4.9 - Intensidade do Vento observado nas estações, no dia 22 de julho de 2014.	40
Gráfico 4.10 - Direção do Vento observado nas estações, no dia 22 de julho de 2014.	40
Gráfico 4.11 - Vento (direção e intensidade) resultante da simulação do modelo AROME CY38SAL (sem Alqueva), para dia 22 de julho 2014.	41
Gráfico 4.12 - Vento (direção e intensidade) resultante da simulação do modelo AROME CY38ALQ (Alqueva), para dia 22 de julho 2014.	42
Gráfico 4.13 - Vento (direção e intensidade) em Barbosa (observado e simulado), no dia 22 de julho 2014.	42
Gráfico 4.14 - Vento (direção e intensidade) em Cid Almeida (observado e simulado), no dia 22 de julho 2014.	43

Página intencionalmente em branco

Índice de Tabelas

Tabela 3.1 - Evolução da versão local do AROME desde 2014	23
---	----

Página intencionalmente em branco

Lista de Acrónimos e Siglas

ALADIN - Aire Limitée Adaptation Dynamique Développement International

ALEX2014 - ALqueva hydro-meteorological EXperiment 2014

ARPEGE - Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle

AROME - Application of Research to Operations at Mesoscale

AROME_OPER - AROME de 46 níveis, ciclo 36, em operações em 2014

AROME-PT2 – AROME em operações no IPMA, cujo domínio geográfico corresponde a Portugal continental

CLA - Camada Limite Atmosférica

CY36L46 - AROME de 46 níveis, ciclo 36, em operações em 2014

CY38L46 - AROME de 46 níveis, ciclo 38, em operações à data da escrita deste trabalho;

CY38L60 - AROME de 60 níveis, ciclo 38, em pré-operações;

CY38ALQ - AROME de 60 níveis, ciclo 38, com ECOCLIMAP_II_v2.3, **com** a fisiografia implementada, em pré-operações.

CY38SAL - AROME de 60 níveis, ciclo 38, com ECOCLIMAP_II_v2.3, **sem** a fisiografia implementada, em pré-operações;

d - Variável não-hidrostática relacionada com o momento linear vertical

ECMWF - Centro Europeu de Previsão Meteorológica a Médio Prazo

ECOCLIMAP – Ecosystems Climate Map

ECUME - Exchange Coefficients from Unified Multicampaigns Estimates

EFMA - Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva

EMA - Estações Meteorológicas Automáticas

FLake - Freshwater Lake

GMTED2010 - Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010

GPS-ZTD - Global Positioning System - zenith tropospheric delay

GTOPO30 - Global 30 Arc-Second Elevation Data Set

HARMONIE - HIRLAM-ALADIN Research on Meso-scale Operational NWP in Europe

HR2M - Humidade Relativa do ar aos 2 m

ICE3 - Esquema de parametrização de gelo de três classes

IPMA - Instituto Português do Mar e da Atmosfera, I.P.

ISBA - Interaction Soil-Biosphere-Atmosphere

L - Comprimento de mistura

Lista de Acrónimos e Siglas

LAI - Índice de Área Foliar
Meso-NH - MESOscale Non-Hydrostatic model
 N - Número total de comparações
nmm - Nível médio do mar
OMM - Organização Meteorológica Mundial
 o_n - Observações
POI - Período de Observação Intensiva
 p - Pressão real
 p_n - Previsão do modelo
 q_c - Gotículas de nuvem
 q_g - Graupel
 q_i - Cristais de gelo
 q_r - Gotas de chuva
 q_s - Neve
 q_t - Conteúdo específico total ($q_t = q_v + q_c + q_i$). q_v - Conteúdo específico de vapor de água
 R - Constante dos gases perfeitos do ar húmido
 R_a - Constante dos gases perfeitos do ar seco
RRTM - Modelo Rápido de Transferência Radiativa
RMSE - *Root Mean Square Error*
SI - Semi-implícito
SL - Semi-Lagrangeano
SLHD - Esquema não-linear de difusão horizontal semi-Lagrangeana
SURFEX - SURFace EXternalisée
SVAT - Soil-Vegetation-Atmosphere Transfer
T - Temperatura
TEB - Town Energy Balance
Tsup - Temperatura à superfície
T2M - Temperatura aos 2 m
TKE - Energia cinética turbulenta
 U - Componente do vento horizontal
UTC – Universal Time coordinated
 V - Componente do vento horizontal

Lista de Acrónimos e Siglas

WRF - Weather Research and Forecasting

w - Velocidade vertical

η - Níveis híbridos

\hat{q} - Variável não-hidrostática relacionada com a pressão

π - Pressão hidrostática

ϑ_l - Temperatura potencial líquida

Página intencionalmente em branco

Capítulo 1 – Introdução

O modelo de previsão numérica Application of Research to Operations at Mesoscale (AROME), na sua generalidade descrito por Seity *et al.*, (2011), é utilizado operacionalmente no Instituto Português do Mar e da Atmosfera, I.P. (IPMA) como ferramenta de auxílio na previsão do estado tempo. Este é um modelo de área limitada de escala convectiva. A versão atualmente operacional sobre o território de Portugal continental no IPMA, designada de AROME-PT2, tem uma resolução de 46 níveis na vertical e 2,5 km na horizontal e executa previsões até às 48 horas. Por forma a melhorar os resultados obtidos, o AROME-PT2 tem sido sujeito a algumas atualizações, tanto a nível da sua resolução horizontal e vertical, das parametrizações físicas, como a nível das bases de dados utilizadas para representar a fisiografia do seu domínio geográfico. Estas atualizações são importantes pois contribuem para a melhoria da previsão numérica do estado atmosférico com base na qual são previstas as condições futuras do estado do tempo pelos meteorologistas e, consequentemente para uma melhor prestação de serviços por parte do IPMA.

Uma das melhorias recentemente implementadas no modelo consistiu na atualização das bases de dados, nomeadamente da respeitante à cobertura da superfície (ECOCLIMAP), recentemente modificada com a introdução da albufeira de Alqueva (Policarpo, 2014 e Policarpo *et al.*, 2017). A representação rigorosa da superfície é crucial para o bom desempenho do modelo, uma vez que a sua interação com a atmosfera influencia os processos que ocorrem na camada limite atmosférica (CLA) nela representada. Um estudo (Jung *et al.*, 2012) realizado na Coreia do Sul utilizou o modelo WRF para prever as mudanças climáticas que a barragem Young-ju, em construção na altura, teria no local. Este estudo concluiu que o número de dias nebulados aumentaria, aumentando também a duração do nevoeiro e a ocorrência de neblina, devido ao aumento da superfície da água. Também Salgado (2006) e Policarpo *et al.* (2017) chegaram a esta conclusão.

Num estudo recente (Rontu *et al.*, 2016), utilizando o modelo HIRLAM-ALADIN Research on Mesoscale Operational NWP in Europe (HARMONIE), concluiu-se que a implementação de novos dados de elevação de superfície de fina resolução não alterava significativamente as previsões do modelo tendo aumentado a negatividade do Viés estatístico do erro (ou em inglês Bias, termo adotado neste trabalho). De momento ainda se desconhecem as razões para tal ter ocorrido.

Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da introdução da albufeira de Alqueva na fisiografia do modelo de previsão AROME, alterando o tipo de cobertura do solo e a topografia local na base de dados ECOCLIMAP. O método utilizado neste trabalho para avaliar o desempenho do modelo com a inserção da albufeira de Alqueva na sua fisiografia, consistiu na comparação das previsões do modelo com e sem a fisiografia implementada e tomando como referência as observações. Foi também realizada uma análise para avaliar os resultados obtidos com uma nova versão pré-operacional do AROME (60 níveis de resolução vertical), comparando este com os modelos anteriores, utilizando-se para o efeito as medidas estatísticas Bias e raiz quadrada do erro quadrático médio (ou em inglês *Root Mean Square Error*, RMSE, termo adotado neste trabalho). Assim, mostram-se os resultados obtidos com a maior resolução vertical e com a introdução da albufeira de Alqueva na fisiografia do modelo. Esta análise foi realizada durante o período de verão, tendo sido selecionados os dias 22 a 24 de julho de 2014, correspondentes ao período de observações intensivas da campanha ALEX2014 (www.alex2014.cge.uevora.pt, Potes *et al.*, 2017).

1.1 - Área geográfica de estudo

A área geográfica em estudo neste trabalho refere-se à região do Alentejo, mais precisamente à zona da albufeira de Alqueva.

1.1.1 - Caracterização da região (Alentejo)

O Alentejo é a maior região de Portugal, ocupando cerca de um terço do território continental (como ilustrado na região colorida da Figura 1.1), no entanto é escassamente povoado. Abrange os distritos de Portalegre, Évora, Beja e parte de Setúbal (Alcácer do Sal, Grândola, Santiago do Cacém e Sines). A leste faz fronteira com Espanha e a oeste com o oceano Atlântico e a região da Estremadura, sendo delimitado a norte pelas regiões do Ribatejo e Beira Baixa e a sul pelo Algarve.

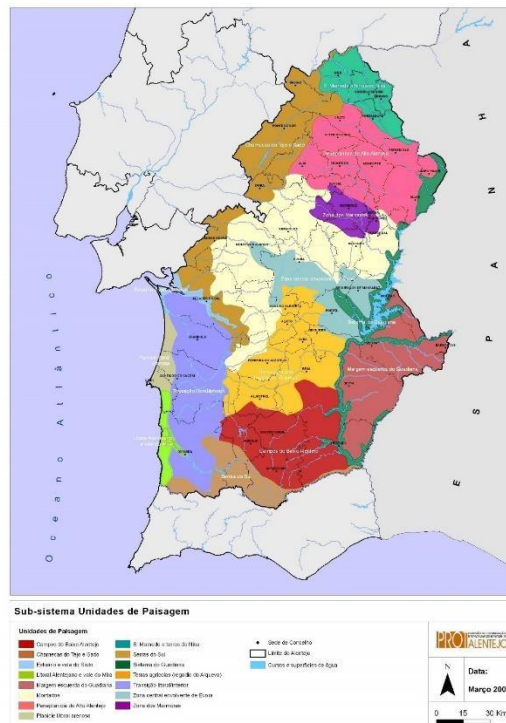


Figura 1.1 – Plano Regional de Ordenamento do Território do Alentejo. Fonte: http://www.cm-santiagoocacem.pt/wpcontent/uploads/MAPA03_Unidades-de-Paisagem.jpg.

A região caracteriza-se, morfologicamente, pela existência de extensas áreas de planícies, com cotas inferiores a 400 m, com algumas zonas de relevo acentuado, mas sem características montanhosas, à exceção da serra de São Mamede (1027 m de altitude) no distrito de Portalegre. A uniformidade de peneplanícies é interrompida pelo vale do Guadiana que por vezes é bastante profundo, em especial na região de Alqueva, motivo pelo qual foi escolhida essa localização para a represa da Barragem de Alqueva.

O Alentejo conta com três bacias hidrográficas (Sado, Tejo e Guadiana) sendo o armazenamento de água, quer superficial quer subterrâneo, fundamental devido à escassez deste recurso, tanto para fins agrícolas, como para abastecimento público.

1.1.2 - Caracterização do clima

O clima em Portugal continental, e conseqüentemente no Alentejo, é influenciado pela sua localização geográfica sendo afetado tanto pelo anticiclone subtropical (anticiclone dos Açores), como pela zona das depressões subpolares, e ainda pela proximidade ao oceano Atlântico. Assim, o território continental é afetado por massas de ar de origem polar (quentes ou frias) e tropical. Estas massas de ar podem ser continentais ou marítimas, dependendo da influência que sofrerem no seu percurso.

O clima é do tipo temperado mediterrânico (subtropical seco), com verões quentes e secos e invernos chuvosos. Os pequenos afloramentos do litoral alentejano, como as serras de Grândola e Cercal exercem um efeito de barreira à precipitação, sendo o interior mais seco, à exceção de alguns casos pontuais de precipitação intensa devido a situações de trovoadas associadas à depressão térmica sobre a Península Ibérica. No caso das temperaturas, o litoral apresenta menor amplitude térmica devido à ação moderadora do oceano Atlântico, enquanto no interior há um maior arrefecimento no inverno e um elevado aquecimento no verão.

Tendo em conta os resultados obtidos pela cartografia (Figura 1.2) para a classificação climática de Köppen-Geiger, o clima de Portugal continental é Temperado, do Tipo C, verificando-se o Subtipo Cs (Clima Temperado com verão seco) e ainda as variedades *a* (verão seco e quente) e *b* (verão seco e suave). Assim, no Alentejo encontramos três tipos de clima:

- *Csa* nas regiões do interior (Clima Temperado com invernos suaves e verão seco e quente);
- *Csb* nas regiões do litoral (Clima Temperado com invernos suaves e verão seco e pouco quente);
- *Bsk* numa pequena região do distrito de Beja (Clima seco, semiárido e frio).

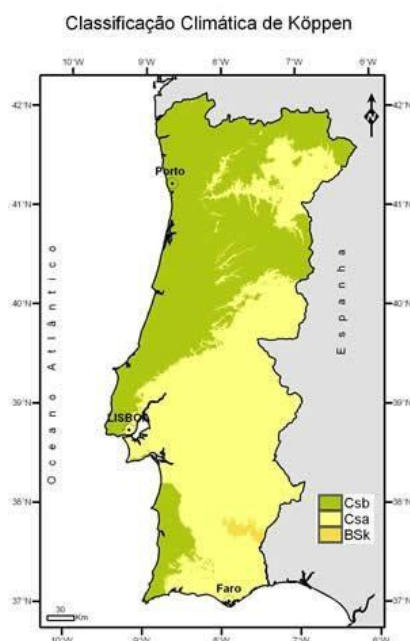


Figura 1.2 - Clima de Portugal Continental, segundo a classificação de Köppen. Fonte: IPMA

Como se sabe, os períodos de chuva no Alentejo são muito irregulares, podendo haver períodos de seca de um ou mais anos consecutivos. Para colmatar esta carência de água, foi construída, em 2002, a Barragem de Alqueva, que permite o armazenamento e a utilização de água, mesmo durante longos períodos de seca.

1.1.3 - Albufeira de Alqueva

A albufeira de Alqueva, localizada ao longo de 83 km do curso principal do rio Guadiana, é o maior reservatório de água artificial da Europa ocidental. A carência de água nesta região, quer para fins agrícolas quer para consumo público, levou à construção do Empreendimento de Fins Múltiplos de Alqueva (EFMA), influenciando diretamente os concelhos abrangidos pela albufeira, bem como os que beneficiam com a instalação de novos perímetros de rega ou são servidos pelo abastecimento público. Este projeto interliga barragens garantindo a disponibilidade de água, mesmo em períodos de seca extrema, a uma área aproximada de 10 000 km², divididos pelos distritos de Beja, Évora, Portalegre e Setúbal (<http://www.edia.pt/pt/o-que-e-o-alqueva/o-territorio/103>).

As primeiras referências da necessidade de criação desta barragem têm, pelo menos, 100 anos e o projeto iniciou-se em 1957 com o Plano de Rega do Alentejo. Em fevereiro de 2002 foram encerradas as comportas iniciando-se a fase de enchimento da albufeira. O nível máximo da albufeira (cota 152) foi atingido pela primeira vez em janeiro de 2010 (<http://salvador-nautico.blogspot.pt/2015/11/alqueva.html>).

A albufeira de Alqueva estende-se ao longo dos concelhos de Moura, Portel, Mourão, Reguengos de Monsaraz e Alandroal, ocupando uma área de 250 km². A capacidade total de armazenamento da albufeira de Alqueva é de 4 150 milhões de m³ (<http://www.edia.pt/pt/o-que-e-o-alqueva/oterritorio/103>).

Na campanha de rega de 2016 entraram em exploração os 120 000 hectares de regadio que compõem o EFMA, como se pode ver nas regiões a verde da Figura 1.3. Ao longo dos últimos anos, com o aumento da área regada, houve uma progressiva alteração da agricultura na região, tradicionalmente assente no sequeiro, e que agora com a garantia de água de Alqueva, gera novas oportunidades nas culturas de regadio e abre portas às agroindústrias (<http://www.alqueva.com.pt/pt/#/regadio/area-em-exploracao/campanha-de-rega/4>).

Introdução

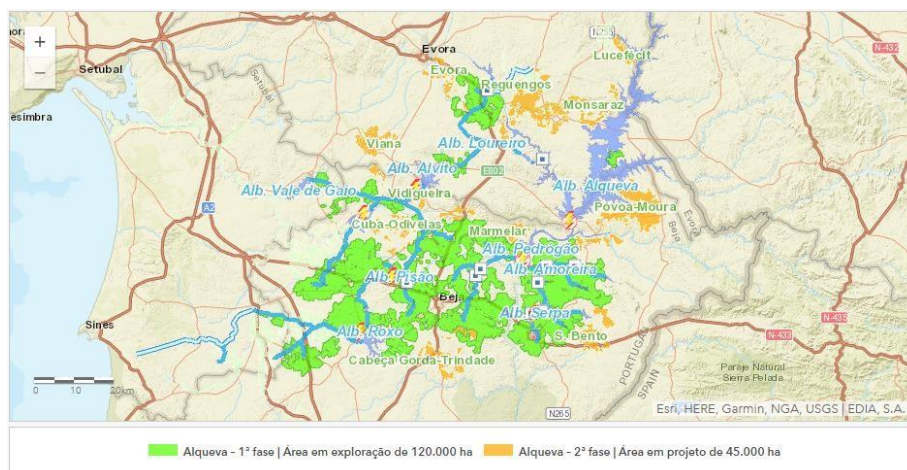


Figura 1.3 - Mapa da evolução do sistema global de rega. Fonte: <http://www.alqueva.com.pt/pt/#/regadio/area-em-exploracao/mapa-de-evolucao/10>.

As culturas nos perímetros de rega de Alqueva têm vindo a diversificar-se, sendo o olival a cultura predominante, seguida do milho. Também a produção de tomate, cebola, alho, melão e melancia, papoila, fruteiras e frutos secos, têm igualmente expressão nos regadios de Alqueva, juntamente com o cultivo tradicional de vinha, cereais e forrageiras (<http://www.alqueva.com.pt/pt/#/regadio/ocupacao-cultural/11>).

O EFMA provocou grandes alterações na região, nomeadamente na rugosidade da superfície, na disponibilidade de água e no tipo e quantidade de vegetação. Estas alterações influenciam os balanços termodinâmicos entre a superfície e a atmosfera, sendo assim potencialmente suscetíveis de influenciar a estrutura da CLA e a circulação à escala regional.

Na Figura 1.4 pode ver-se um mapa da região antes e após a construção da barragem.

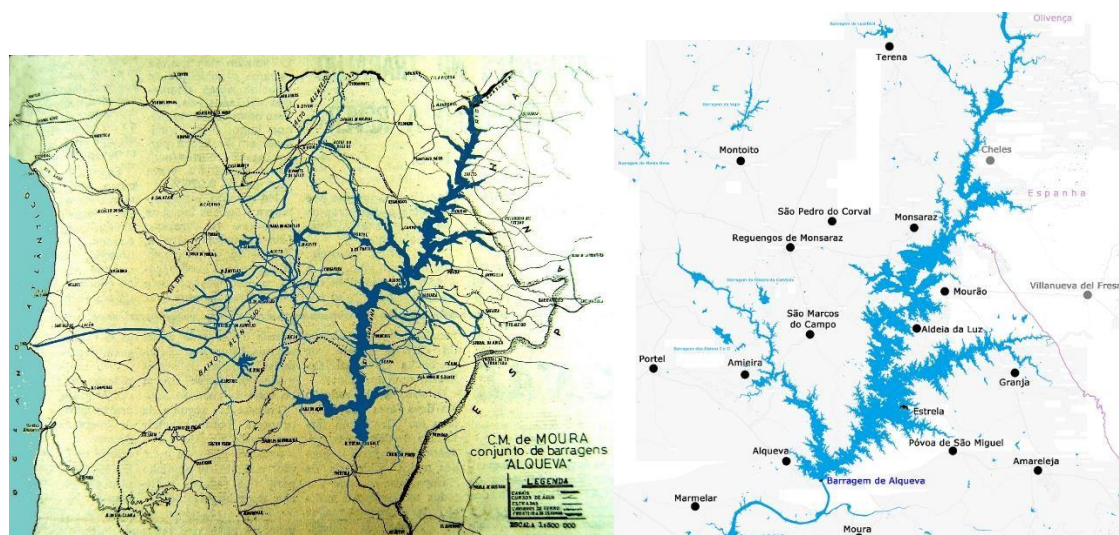


Figura 1.4 - À esquerda: Mapa da região sul de Portugal antes da construção da barragem. Fonte: Diário do Alentejo de 21 de agosto de 1975 (<http://bejayarrabaldes.blogspot.pt/search?q=alqueva>). À direita: Mapa atual da albufeira de Alqueva. Fonte: http://salvador-nautico.blogspot.pt/2015_11_01_archive.html?view=classic.

Antes da construção da barragem foi feito um estudo (1995) do impacto ambiental que a barragem teria no clima local da albufeira e das zonas de regadio associadas (Miranda *et al.*, 1995). No entanto, desde o início do enchimento da barragem até aos dias de hoje, os estudos do verdadeiro impacto da albufeira e de todo o empreendimento no clima local, têm sido escassos. Salgado (2006) utiliza simulações numéricas com o modelo de investigação MESOScale Non-Hydrostatic model (Meso-NH; Lafore *et al.*, 1998), validadas para o período pré-Alqueva, para estimar os efeitos da albufeira nos campos da temperatura, humidade e vento junto à superfície, bem como na precipitação convectiva e no nevoeiro. Posteriormente, Policarpo (2014) e Policarpo *et al.* (2017) concluem que as características principais das situações de nevoeiro na região afetada pela albufeira não sofreram alterações significativas, apesar de se notar um ligeiro aumento da duração dos eventos.

Em 2014, durante o verão, foi realizada uma campanha observacional ALqueva hydrometeorological EXperiment (ALEX2014, www.alex2014.cge.uevora.pt), com medições de parâmetros químicos, físicos e biológicos em diferentes locais da albufeira de Alqueva e arredores. Esta campanha teve como objetivo estudar as interações lago-atmosfera na região e realizou-se de 01 de junho a 30 de setembro de 2014, incluindo um Período de Observação Intensiva (POI) de três dias (22 a 24 de julho). Durante o POI foram realizadas sondagens a cada três horas, de forma a permitir uma boa caracterização da CLA e da sua evolução. A campanha ALEX2014 incluiu também várias estações meteorológicas de superfície para caracterizar a estrutura horizontal local dos campos atmosféricos de superfície e detetar os efeitos de lago (Salgado *et al.*, 2015, Potes *et al.*, 2017). Os dados desta campanha estão a ser utilizados para aprofundar o estudo do impacto de Alqueva no clima.

Num outro estudo (Nascimento, 2015), também utilizando dados da campanha ALEX2014, foi identificada a presença de brisas de lago e de mar (influência do oceano Atlântico), bem como sinais de divergência à superfície, utilizando o modelo Weather Research and Forecasting (WRF).

1.2 - Interação entre a superfície e a atmosfera

1.2.1 - O uso dos solos

As alterações no uso dos solos (desflorestação, intensificação da agricultura, maior ou menor irrigação, urbanização), caso sejam em áreas consideráveis, podem ter impactos significativos no clima, mesmo em pontos distantes. Alguns estudos, tais como Pielke e Avissar (1990), Chase *et al.* (1996, 2000), Salgado (2006), entre outros, sugerem que a alteração do uso dos solos esteve na origem de alterações climáticas locais ou regionais.

A alteração do uso dos solos pode fazer variar a capacidade térmica da superfície e do seu albedo, influenciar os fluxos superficiais de energia e os regimes de escoamento atmosférico e hídrico, e ainda modificar a orografia da região. Alguns estudos sugerem ainda que os efeitos da alteração do albedo da superfície podem ser comparados com os efeitos provocados pela emissão de gases de efeito de estufa (Betts, 2000).

Pielke (2001) mostrou que as alterações no tipo de solo influenciam os balanços de energia e de massa, como se pode ver nos esquemas representados na Figura 1.5 e na Figura 1.6, respetivamente.

Introdução

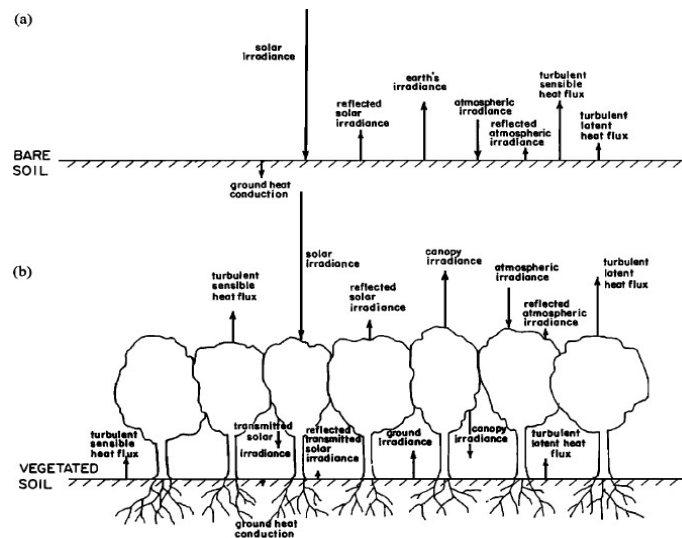


Figura 1.5 - Esquema do balanço energético: a) solo nu; b) solo com vegetação. Fonte: Pielke, 2001.

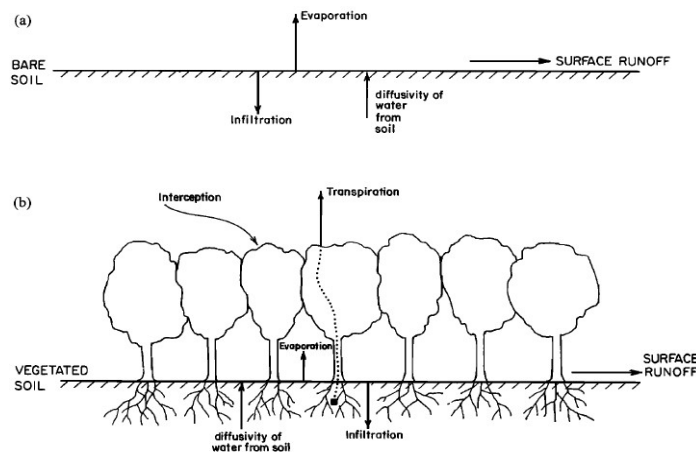


Figura 1.6 - Esquema do balanço hídrico: a) solo nu; b) solo com vegetação. Fonte: Pielke, 2001.

No caso do balanço energético (Figura 1.5), por exemplo, a transferência de energia dá-se por radiação e por condução/convecção. A radiação solar e a radiação atmosférica que chega à superfície vai aquecer o solo nu, ainda que uma parte da radiação solar seja refletida. No caso do solo com vegetação, chega menos radiação solar e atmosférica ao solo, uma vez que parte dela é refletida e absorvida pela vegetação. A superfície também emite energia para a atmosfera, mas no caso de existir vegetação, diminui a energia transferida sobre a forma de radiação e calor sensível, aumentando o fluxo de calor latente.

Já no caso do balanço hídrico (Figura 1.6), a presença de vegetação dificulta a infiltração e a escorrência da água, quando comparado com um solo nu. No entanto, apesar de a vegetação também dificultar a evaporação direta do solo, o fluxo de vapor de água da superfície para a atmosfera através da evapotranspiração das plantas aumenta, aumentando desta forma a evaporação do sistema global (solo + vegetação).

1.2.2 - Influência das albufeiras (lagos artificiais) na atmosfera

O aumento do conteúdo de água no solo (albufeiras e zonas de regadio associadas) induz uma perturbação dos balanços energéticos e hídricos no local (aumento da evapotranspiração e criação de contrastes horizontais nos fluxos energéticos à superfície), influenciando a CLA. Os efeitos variam consoante a topografia, o clima prevalecente no local onde se inserem e as dimensões da albufeira - quanto maior for a albufeira, maior será a extensão das alterações na CLA, tanto na horizontal, como na vertical.

A presença de uma albufeira modifica a orografia do local e a rugosidade do terreno, diminuindo o atrito o que, conseqüentemente pode alterar a direção e velocidade do vento. A absorção de energia pela sua superfície aumenta devido ao baixo albedo e a temperatura do ar no local poderá sofrer alterações devido à maior capacidade térmica da água (como a temperatura da água não varia muito, a temperatura no local vai tender a variar menos também, quer durante o dia quer durante a noite). Além disso, a crescente evaporação e, conseqüente aumento da humidade pode levar ao aumento de ocorrência de neblinas e/ou nevoeiro. Portanto, a presença de uma albufeira pode influenciar a temperatura e humidade do ar, a intensidade e direção do vento, a nebulosidade baixa e formação de nevoeiros e geada, e ainda a precipitação.

Assim, tendo em conta a influência que uma superfície de água tem na CLA, torna-se muito importante que os modelos de previsão numérica do tempo “reconheçam” essas superfícies, minimizando os erros de previsão. Segundo Dutra *et al.* (2010) a representação de lagos num modelo provoca alterações na variação de armazenamento de energia à superfície e na distribuição dos fluxos de energia, influenciando os resultados da previsão.

Capítulo 2 – Modelo de Previsão Numérica: AROME

A previsão numérica do tempo consiste na integração temporal de um sistema de equações que simulam os processos físicos e termo-hidrodinâmicos da atmosfera, de forma a prever o seu estado futuro. Estas equações são resolvidas numa malha discreta de pontos, dando origem a valores de diversas variáveis, tais como o vento, a temperatura e a humidade relativa do ar e a pressão atmosférica. Para executar os modelos numéricos de previsão é necessário fornecer:

- a) As condições iniciais: estado da atmosfera no instante da integração, utilizando observações meteorológicas (estações meteorológicas no solo e mar, balões meteorológicos, aviões, satélites e radares meteorológicos), condições-fronteira (no caso de modelos de área limitada) e informação associada à climatologia e fisiografia de uma região. A definição do estado inicial da atmosfera representa um papel essencial no ciclo de previsão, no entanto, uma vez que as observações não cobrem toda a atmosfera de forma contínua (não são homogêneas no espaço e no tempo), não é possível definir com exatidão o estado tridimensional da atmosfera num dado instante, o que condiciona temporalmente as previsões. Designa-se por assimilação de dados o processo que, com base nas observações e no próprio modelo de previsão do tempo, permite criar condições iniciais realistas e compatíveis com os modelos, também designadas por análises meteorológicas.
- b) O conjunto de equações: para realizar a integração numérica e calcular as derivadas é necessário discretizar as equações do modelo de previsão que traduzem as leis fundamentais da física. A discretização consiste na representação de cada uma das variáveis meteorológicas numa malha discreta de pontos, com uma dada resolução espacial, e o cálculo da sua evolução com um dado passo de tempo. Assim, tanto o domínio espacial como o temporal são afetados pela discretização. A resolução destas equações depende das capacidades de computação disponíveis para a realização dos cálculos, sendo o tempo de integração e a qualidade dos resultados obtidos influenciado por essa capacidade.

Um aspeto importante a ter em conta nos modelos numéricos são as representações de fenómenos locais e de pequena escala que não podem ser resolvidos explicitamente (tais como, turbulência, camada limite planetária, transferências entre a superfície e a atmosfera, precipitação e convecção) e não têm representação explícita no modelo. Estes fenómenos têm influências significativas não podendo, no geral, ser desprezados. Assim, para incluir estes fenómenos é necessário fazer uma parametrização dos seus efeitos estatísticos, utilizando as variáveis previstas pelo modelo. Estas parametrizações geram mais incertezas na simulação da atmosfera, uma vez que utilizam variáveis previstas e não dados observados.

A informação de saída destes modelos numéricos é o valor de um conjunto de grandezas físicas em determinados instantes futuros. Esta informação é processada graficamente *a posteriori*, dando origem a cartas meteorológicas ou diagramas, de forma a ser interpretada por meteorologistas.

Os modelos podem ser de área global ou de área limitada. Os modelos de área global consistem na resolução das equações, na sua forma simplificada, para todo o globo e, na atualidade, apresentam uma resolução espacial da ordem de poucos quilómetros (atualmente o modelo do Centro Europeu

de Previsão Meteorológica a Médio Prazo, ECMWF, tem uma resolução latitudinal de aproximadamente 11 km, e 9 km de longitude). Os modelos de área limitada, ou regionais, procuram resolver mais detalhadamente o comportamento atmosférico numa determinada região, uma vez que têm uma maior resolução horizontal (alguns quilómetros). Estes modelos de área limitada utilizam como condições fronteira os dados provenientes dos modelos globais. Para além da diferente escala horizontal, estes modelos diferem ainda na escala temporal de previsão, com previsões até 48h/72h contra as previsões a médio prazo (até 10 dias), dos modelos de área global.

2.1 - Descrição do modelo AROME

O AROME é um modelo de escala regional de malha fina, desenvolvido pelo Serviço Meteorológico de França (Météo-France) com a colaboração de universidades e do consórcio Aire Limitée Adaptation Dynamique Développement International (ALADIN; Bubnová *et al.*, 1995), o qual é mantido pelos Serviços Meteorológicos Europeus, entre os quais Portugal. O modelo foi desenvolvido com o objetivo de melhorar a previsão a curto prazo de fenómenos convectivos extremos (trovoadas, inundações repentinas, rajadas, precipitação intensa), a caracterização dos elementos meteorológicos na CLA, como sejam, o vento, a temperatura, o estado do solo, a turbulência, a visibilidade, etc. (Seity *et al.*, 2011).

As parametrizações físicas deste modelo são em grande parte herdadas do modelo Meso-NH, e a dinâmica é uma adaptação para a escala fina do núcleo dinâmico do modelo ALADIN. A inicialização do modelo pode ser realizada por um sistema de assimilação de dados tridimensional derivada do esquema de assimilação variacional (3D-Var; Fischer *et al.*, 2005) do modelo global Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle (ARPEGE; Courtier *et al.*, 1994), adaptado à resolução do modelo e alimentado com observações de maior resolução (Seity *et al.*, 2011).

O AROME é um modelo espectral, não hidrostático, utilizando uma discretização por diferenças finitas na vertical e uma coordenada vertical híbrida. Utiliza um esquema horizontal de discretização semi-implícito (SI), semi-Lagrangeano (SL) de dois níveis de tempo, segundo a malha dita de *Arakawa A-grid* (Arakawa e Lamb, 1977). A maioria das suas variáveis tem uma representação espectral baseada numa decomposição dupla de Fourier (Seity *et al.*, 2011).

O AROME utiliza 12 variáveis tridimensionais de prognóstico: duas componentes do vento horizontal (U e V), temperatura (T), conteúdo específico de vapor de água (q_v), de gotas de chuva (q_r), de neve (q_s), de graupel (q_g), de gotículas de nuvem (q_c) e de cristais de gelo (q_i), energia cinética turbulenta (TKE), e duas variáveis não-hidrostáticas, \hat{q} e d , que estão relacionadas com a pressão e o momento linear vertical da seguinte forma (Seity *et al.*, 2011):

$$\hat{q} = \ln \frac{p}{\pi} \quad (1)$$

$$d = -g \frac{p}{\frac{\partial \pi}{\partial \eta} R_a T} \frac{\partial w}{\partial \eta} + \frac{p}{\frac{\partial \pi}{\partial \eta} RT} \nabla \phi \cdot \left(\frac{\partial V}{\partial \eta} \right) \quad (2)$$

onde p é a pressão real, π é a pressão hidrostática, w representa a velocidade vertical, R_a e R são a constante dos gases perfeitos do ar seco e do ar húmido, respetivamente.

A pressão hidrostática de superfície é representada por uma variável bidimensional de prognóstico (π_s). Com esta formulação, o sistema de equações é consistentemente fechado e o modelo está livre de excesso de especificação para a evolução do vetor de estado discreto (Seity *et al.*, 2011).

Algumas variáveis de prognóstico (por exemplo, a água condensada) não são convertidas no espaço espectral durante a integração do modelo, e por isso, não podem ser difundidas da mesma forma que as outras. Para a água condensada, é aplicado um esquema não-linear de difusão horizontal semi-Lagrangeana (SLHD). Este esquema é implementado dentro do esquema SL e utiliza informações do campo de deformação dinâmica para difundir adequadamente as variáveis. As variáveis q_v e TKE não são difundidas de todo (Seity *et al.*, 2011).

2.1.1 - Parametrizações Físicas

As parametrizações físicas do AROME foram adaptadas do modelo Meso-NH e usam uma malha retangular tridimensional (Lafore *et al.*, 1998).

a) Microfísica

O AROME utiliza um esquema de parametrização de gelo de três classes (ICE3), originalmente desenvolvido para o Meso-NH. O ICE3 contém os seguintes hidrometeoros sólidos como variáveis de prognóstico: gelo de nuvem, neve e uma combinação de graupel e granizo. As outras variáveis de prognóstico usadas no esquema de microfísica das nuvens são o vapor de água, água líquida de nuvem e chuva.

Todos os hidrometeoros são advetados horizontalmente pelo esquema SL e verticalmente por um esquema de sedimentação descrito em Bouteloup *et al.* (2011). As variáveis de prognóstico atuam nos termos de inércia e gravidade na equação do momento linear, e são tidas em conta nos cálculos termodinâmicos (Seity *et al.*, 2011). A fração de nuvem tridimensional não é uma variável de prognóstico, mas sim de diagnóstico, determinada usando um esquema estatístico de nuvens e condensação (Bougeault 1982; Bechtold *et al.* 1995).

b) Turbulência

A representação da turbulência na CLA é baseada numa equação de prognóstico TKE combinada com um diagnóstico do comprimento de mistura (L). A parametrização permite calcular os coeficientes de troca para o momento linear, a temperatura potencial e a humidade, que por sua vez, são utilizados para calcular os fluxos turbulentos, seguindo um esquema implícito no tempo, através de uma matriz tridiagonal. O L é calculado a partir da distância percorrida por uma parcela adiabática ascendente e descendente antes de ser interrompida num nível em que perdeu toda a sua TKE por efeitos de flutuação. Funciona com as seguintes variáveis conservativas: temperatura potencial líquida, ϑ_l , e conteúdo específico total, q_t ($q_t = q_v + q_c + q_i$). A TKE é transportada pelo esquema SL (Seity *et al.*, 2011).

c) Radiação

O AROME utiliza as parametrizações de radiação do ECMWF. O esquema de radiação de pequeno comprimento de onda contém seis bandas espectrais (0.185 – 0.25 – 0.44 – 0.69 -1.1 – 2.38 – 4.00 μm). O esquema de radiação de grande comprimento de onda contém 16 bandas espectrais, entre 3.33 e 1000 μm e consiste no Modelo Rápido de Transferência Radiativa (RRTM; Mlawer *et al.*, 1997) que utiliza distribuições climatológicas de ozono e aerossóis.

As propriedades óticas das nuvens são derivadas de Morcrette e Fouquart (1986) para nuvens líquidas e de Ebert e Curry (1992) para nuvens de gelo. A cobertura nebulosa é calculada em cada coluna usando o valor máximo de cobertura para conjuntos de camadas nebulosas adjacentes e uma suposição de sobreposição aleatória entre camadas nebulosas separadas por camadas “limpas” (sem nuvens). O raio efetivo de partículas líquidas de nuvem é diagnosticado a partir de água líquida de nuvem usando o método de Martin *et al.* (1994). Assume-se que a concentração de núcleos de condensação de nuvens é constante, com um valor sobre a terra e outro sobre o oceano. O raio efetivo das partículas de gelo de nuvens é diagnosticado a partir da temperatura usando uma revisão da formulação de Ou e Liou (1995).

d) Convecção

A uma resolução de 2,5 km, assume-se que a convecção profunda é explicitamente resolvida pela dinâmica do modelo, não sendo necessária a sua parametrização. No entanto, é necessário parametrizar a convecção pouco profunda. Esta parametrização baseia-se no esquema de difusão turbulenta/fluxo de massa (EDMF; Soares *et al.*, 2004) que parametriza térmicas secas e cúmulos baixos (*shallow*) e usa as mesmas variáveis conservativas que o esquema de turbulência (ϑ_t e q_t). O esquema de parametrização consiste no cálculo de uma corrente ascendente que representa o efeito das pequenas correntes ascendentes dentro da coluna do modelo, com base nas formulações de mistura lateral (*entrainment E* e *detrainment D*). Na camada limite, *E* e *D* dependem da flutuabilidade e da velocidade vertical da corrente ascendente, enquanto nas nuvens, são calculados usando uma classificação de flutuabilidade de Kain-Fritsch (Kain e Fritsch, 1990). Comparado com o esquema original de Kain-Fritsch, este esquema melhora o realismo das nuvens da Camada Limite e dos ventos nalgumas situações (Seity *et al.*, 2011).

e) Superfície

O tipo de superfície afeta diretamente o clima local uma vez que influencia os fluxos de momento linear, calor e humidade entre a atmosfera e a superfície. Para melhor modelar as trocas de energia e água entre a atmosfera e a superfície, cada malha do AROME é caracterizada por um tipo de superfície pré-determinado. Estas transferências são calculadas por uma plataforma de esquemas de superfície chamada SURFace EXternalisée (SURFEX; Masson *et al.*, 2013) que foi desenvolvida pela Météo-France em cooperação com a comunidade científica.

O SURFEX consiste numa biblioteca de modelos físicos de prognóstico, formalmente independente do modelo atmosférico e inclui rotinas próprias para a inicialização e a produção de arquivos (Seity *et al.*, 2011). Este conjunto de esquemas de superfície tem as seguintes especificações (Masson *et al.*, 2013):

- i. Inclui parametrizações para diferentes tipos de superfície (oceano, solo nu, coberturas vegetais (naturais e agrícolas), áreas urbanas, águas interiores, gelo e neve);
- ii. Dispõe de uma interface com bases de dados fisiográficos permitindo o mapeamento da superfície para qualquer domínio geográfico;
- iii. Inclui uma componente de assimilação de dados para aplicações na previsão numérica e na monitorização da superfície terrestre;
- iv. O código está preparado para diferentes aplicações (desde offline até totalmente acoplado com vários modelos atmosféricos).

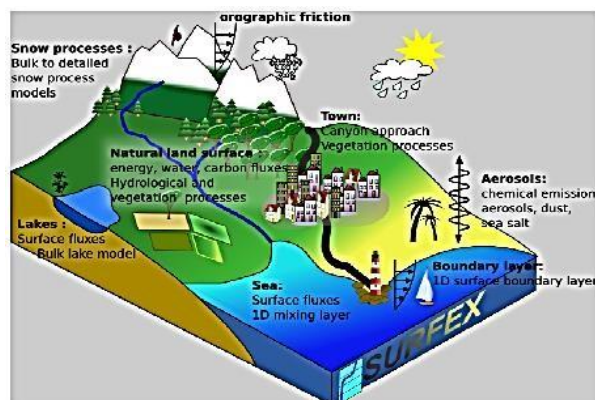


Figura 0.1 - Representação esquemática dos principais processos e funcionalidades do SURFEX (Masson et al., 2013).

No SURFEX cada ponto da malha do modelo é representado por quatro “mosaicos” (*tiles*) de superfície: mar e oceano, águas interiores (lagos e rios), áreas urbanas (edifícios, estradas e infraestruturas de transporte, jardins) e superfícies naturais continentais (solos nus, rochas, neve permanente, glaciares, vegetação natural e paisagens agrícolas). Cada mosaico é modelado com um modelo de superfície específico e o fluxo total da caixa da malha resulta da soma ponderada dos fluxos individuais pela respetiva fração (Bengtsson *et al.*, 2017). Além dos fluxos de momento linear, calor e água, o SURFEX é capaz de simular fluxos de dióxido de carbono, espécies químicas, aerossóis, sal do mar e partículas de neve.

Cada mosaico tem o mesmo forçamento meteorológico, enquanto as variáveis de prognóstico do modelo (por exemplo teor de água líquida no solo, temperatura da superfície, cobertura de neve), os parâmetros do modelo (por exemplo profundidade do solo, comprimento da rugosidade, índice de área foliar - LAI) e os fluxos correspondentes são diferentes (Masson *et al.*, 2013).

No mosaico das superfícies naturais continentais, as trocas de energia e água entre a superfície e a atmosfera são simuladas pelo modelo designado por Interação Solo-Biosfera-Atmosfera (ISBA – Interaction Soil-Biosphere-Atmosphere; Noilhan & Planton, 1989). Este modelo utiliza um número limitado de variáveis para representar o estado do solo e as trocas solo-vegetação-atmosfera. O ISBA requer alguns parâmetros primários como dados de entrada, como sejam o índice de área foliar, fração de vegetação e albedo.

O mosaico de superfícies naturais pode ainda ser dividido em “submosaicos” de forma a considerar a heterogeneidade do solo e da vegetação (Masson *et al.*, 2013), como ilustra a Figura 2.2. Esta divisão pode variar de um a doze submosaicos, permitindo que superfícies sem vegetação (solo nu, rochas, neve permanente) sejam diferenciadas, bem como os tipos de vegetação (como por exemplo vegetação de zonas tropicais vs. vegetação de zonas temperadas).

Quanto ao mosaico de áreas urbanas, as trocas de energia e água entre as áreas urbanas e a atmosfera são simuladas pelo modelo de Balanço de Energia na Cidade (TEB – Town Energy Balance; Masson, 2000). Este modelo tem em conta uma grande variedade de processos físicos e simula as características do microclima urbano, como por exemplo as ilhas de calor.

Para os mosaicos de mar e oceano é utilizada uma parametrização com base em estimativas dos Coeficientes de Transferência obtidas a partir de campanhas observacionais (ECUME – Exchange Coefficients from Unified Multicampaigns Estimates; Belamari and Pirani, 2007). Recorre a um método iterativo desenvolvido para obter uma parametrização otimizada cobrindo uma ampla gama de condições atmosféricas e oceânicas (temperatura, salinidade e corrente).

O mosaico de águas interiores pode utilizar o esquema de prognóstico do modelo Freshwater Lake (FLake; Mironov *et al.*, 2010), implementado no AROME por Salgado e Le Moigne (2010). O FLake é um modelo de águas interiores capaz de prever a estrutura vertical da temperatura da água e as condições de mistura em lagos de várias profundidades, em escalas de tempo de algumas horas a alguns anos. O modelo destina-se a ser utilizado como um esquema de parametrização do lago na previsão numérica do tempo, modelação climática e outros sistemas de previsão numérica para aplicações ambientais. Pode também ser utilizado como modelo de lago autónomo ou como um módulo físico em modelos de ecossistemas aquáticos.

No FLake, a parametrização das transferências de energia entre a superfície do lago e a atmosfera é realizada através da simulação do perfil de temperatura e da resolução de equações de balanço de energia, massa e momento linear à superfície.

O FLake é baseado numa representação paramétrica de duas camadas do perfil de evolução da temperatura na coluna de água e no balanço integral de energia para estas duas camadas. A estrutura da termoclina, camada estratificada entre a camada de mistura superior e o fundo do lago, é descrita pelo conceito de auto-similaridade (em que a forma é assumida) do perfil da temperatura com a profundidade (Mironov *et al.*, 2010).

A orografia do SURFEX é inicializada com a orografia do AROME de forma a evitar inconsistências de altitude. Na versão anterior do AROME a orografia era extraída da base de dados Global 30 ArcSecond Elevation Data Set (GTOPO30; Gesh *et al.*, 1999) que tem uma resolução média de 0,0025° e da qual são removidas as ondas 2- δx . As ondas de Gibbs são filtradas usando o algoritmo

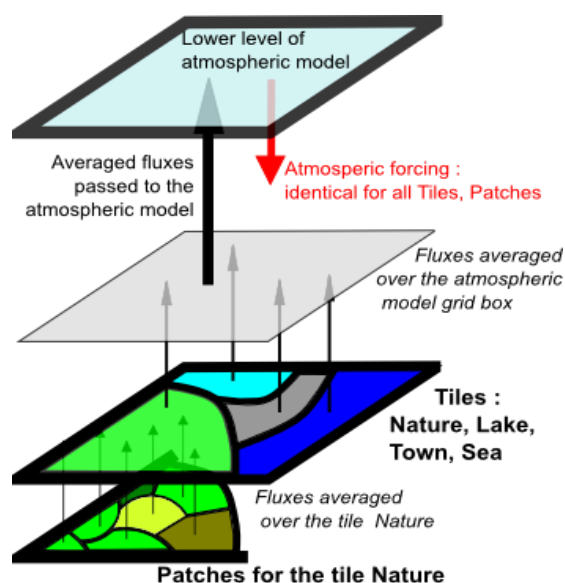


Figura 0.2 - Representação esquemática da organização da superfície usando os quatro mosaicos principais e submosaicos da natureza (Masson *et al.*, 2013).

de Bouteloup (1995) (Seity *et al.*, 2011). Na versão em operações no IPMA, à data da escrita deste trabalho, e nas versões mais recentes do modelo AROME, a orografia foi extraída da base de dados Global Multi-resolution Terrain Elevation Data 2010 (GMTED2010; Danielson and Gesch 2011). Esta base de dados fornece um novo nível de detalhe em dados topográficos globais. Relativamente ao GTOPO30, o GMTED2010 tem uma melhor consistência e precisão vertical.

Os dados fisiográficos são inicializados através da base de dados ECOCLIMAP (Masson *et al.*, 2003). A ECOCLIMAP é uma base de dados global com uma resolução horizontal de aproximadamente 1 km, que pode ser usada para inicializar os esquemas de transferência solo-vegetação-atmosfera (SVAT – Soil-Vegetation-Atmosphere Transfer), tais como o ISBA, nos modelos meteorológicos e climáticos (Masson *et al.*, 2003). Esta base de dados é criada com base na combinação de vários ecossistemas, que representam áreas de vegetação homogénea, com mapas de cobertura do solo, mapas climáticos, mapas de textura do solo e ainda dados de satélite referentes ao índice de vegetação. Além das classificações de cobertura de solo, a base de dados ECOCLIMAP fornece conjuntos de parâmetros de superfície que são principalmente úteis em meteorologia, tais como albedo de superfície e índice de área foliar (LAI) (Faroux *et al.*, 2013).

A evolução natural da paisagem e as intervenções humanas implicam que a fisiografia seja redesenhada regularmente (Faroux *et al.*, 2013). Assim, esta base de dados foi atualizada para uma nova versão, a ECOCLIMAP_II, de forma a melhor discriminar as classes de cobertura de solo sobre a Europa. Esta informação atualizada sobre a fisiografia pretende melhorar a representação da superfície continental no modelo SURFEX e também promover investigações avançadas relacionadas aos ciclos do carbono e da água (Faroux *et al.*, 2013).

2.1.2 – Assimilação de dados

Uma maior resolução dos modelos implica uma maior densidade de observações para descrever o estado da atmosfera tão detalhadamente quanto possível.

O sistema de assimilação de dados desenhado para o AROME (Brousseau *et al.*, 2008) provém do esquema 3D-Var do ALADIN (Fischer *et al.*, 2005). Contudo, no AROME, cada ciclo 3D-Var analisa as duas componentes do vento horizontal, a temperatura, a humidade específica e os campos de pressão à superfície na resolução de 2.5 km. Os outros campos de prognóstico do modelo (por exemplo *TKE*, pressão, divergência vertical e as cinco espécies de água) não são atualizados na análise. Por outras palavras, são deixados para se ajustarem aos campos do modelo atualizado durante as etapas de previsão do ciclo de assimilação (Seity *et al.*, 2011). Durante o ciclo de assimilação de dados, as condições iniciais do modelo são obtidas por uma combinação estatística de observações meteorológicas e previsões de “*runs*” anteriores do modelo.

O AROME utiliza observações fornecidas por plataformas fixas e móveis, manuais e automáticas, *in situ* e remotas. Entre os diferentes tipos de observação encontram-se: radiossondagens, perfis de vento, observações de aeronaves, observações de navios e boias, estações automáticas de superfície (observações de pressão, temperatura e humidade aos 2 m e vento aos 10 m), informação de satélite e informação de GPS (Seity *et al.*, 2011).

Em situação de precipitação, a assimilação de dados do GPS-ZTD produz claras melhorias em termos de previsões quantitativas de precipitação (Yan *et al.*, 2009, Boniface *et al.*, 2009). Em França, o

AROME assimila também as velocidades radiais dos radares Doppler da rede francesa, para além da refletividade. As observações por radar melhoram a estrutura espacial e o desempenho quantitativo das previsões de precipitação devido a uma melhor análise da convergência nos níveis baixos associada aos sistemas convectivos (Montmerle e Faccani, 2009).

O número de observações utilizadas em cada análise é bastante irregular durante o dia uma vez que, por exemplo, as radiossondagens podem ser realizadas apenas às 1200 UTC, e as órbitas de satélites polares intercetam o domínio do modelo apenas algumas vezes por dia. Apenas as estações de superfície fornecem dados de forma regular ao modelo (Seity *et al.*, 2011).

2.2 - Em Portugal

O AROME é utilizado operacionalmente no IPMA desde 2010. Tem uma malha horizontal regular de 2,5 km e é executado sobre 3 domínios geográficos distintos, como se apresenta na Figura 2.3. Neste trabalho foi utilizado o domínio referente a Portugal continental, o AROME-PT2.

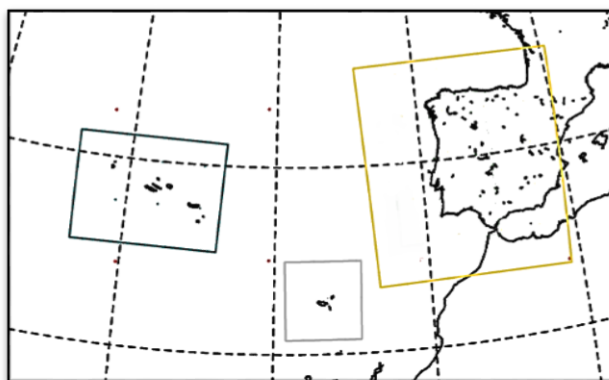


Figura 0.3 - Domínios do AROME. Legenda: AROME-AZO a azul, AROME-MAD a cinzento e AROME-PT2 a amarelo.

O domínio vertical da parte atmosférica do modelo é dividido em 45 camadas, separadas por 46 níveis híbridos (η) os quais seguem o terreno junto à superfície e a pressão atmosférica no seu topo (Simmons e Burridge, 1981). A altura do nível mais baixo é cerca de 17 m acima da superfície do modelo.

As integrações do AROME, antes realizadas a partir do modelo ALADIN (ciclo 36), a partir do ciclo 38 contemplam as condições fronteira laterais das últimas previsões disponíveis do modelo global ARPEGE, a cada três horas. Relativamente às condições iniciais, estas também são obtidas por *downscaling* do modelo ARPEGE. Note-se que, apesar de existirem as ferramentas para a assimilação de dados, esta não está a ser realizada no IPMA. À data da escrita deste trabalho, as previsões do modelo, para 48 horas, têm origem às 0000 e 1200 UTC, estando para breve a entrada em operações das previsões com origem às 0600 e 1800 UTC. As saídas do modelo (outputs) são horárias.

Atualmente, o modelo AROME-PT2 é executado operacionalmente num supercomputador IBM p7⁺ utilizando cinco dos oito nós de produção disponíveis.

Em suma, as principais características do modelo em operações no IPMA, à data da escrita deste trabalho, são as seguintes:

- a) Ciclo: cy38t1;
- b) Resolução horizontal: 2,5 km;
- c) Níveis verticais: 46;
- d) Condições-fronteira laterais: ARPEGE, frequência de atualização tri-horária;
- e) Assimilação de dados: não realizada; a inicialização é feita por *downscaling* do modelo ARPEGE;
- f) Execuções do modelo: duas vezes por dia, às 00 e 12 UTC, com previsões até às 48 horas;
- g) Output: horário.

Página intencionalmente em branco

Capítulo 3 - Materiais e Métodos

Para se obterem melhores resultados (previsões mais exatas) com os modelos numéricos de previsão é necessário detalhar com precisão as características da superfície, através da representação rigorosa da topografia, das máscaras terra-água e das características do solo e da vegetação, de forma a obter cálculos realísticos dos fluxos de calor, humidade e momento sobre superfícies continentais e oceânicas (Masson *et al.*, 2003), pois esses fluxos constituem forçamentos para a componente atmosférica do modelo. Estas melhorias são obtidas através da constante atualização das bases de dados dos modelos com informação cada vez mais rigorosa.

Neste estudo foram avaliados os efeitos da introdução da albufeira de Alqueva na fisiografia do modelo AROME comparando os resultados do modelo com e sem a fisiografia implementada, e ainda com as observações. Para tal, foi utilizada o AROME com uma versão mais atual das bases de dados ECOCLIMAP e GMTED2010_30, ambas com a implementação da fisiografia da albufeira. De forma a avaliar o desempenho do modelo nesta nova versão foram calculados os índices estatísticos Bias e RMSE.

Para a realização deste estudo foram selecionados os dias 22 a 24 de julho de 2014, que correspondem ao período de observações intensivas (POI) da campanha ALEX2014 (www.alex2014.cge.uevora.pt).

3.1 – Observações Meteorológicas

Para estudar a atmosfera é necessário, antes de mais, recolher e armazenar dados meteorológicos de forma a serem posteriormente analisados e/ou utilizados na previsão do estado do tempo. A recolha e armazenamento destes dados pode ser feita, de entre várias técnicas e dispositivos, através de observações *in situ* e por deteção remota. No primeiro caso, observações *in situ*, é feita a medição das propriedades da atmosfera recorrendo ao contacto físico com o meio, como por exemplo, medições de temperatura e pressão através de termómetros e barómetros, respetivamente, ou por um balão-sonda. No caso das observações por deteção remota, são medidas as propriedades da atmosfera sem contacto físico direto com o meio. São exemplos de deteção remota a observação por satélite e por radar.

Neste trabalho foram utilizadas as observações *in situ*, de superfície e de balão-sonda, apresentadas em seguida.

3.1.1 – Observações de superfície

As observações de superfície são executadas por um observador e/ou instrumentos colocados ao nível do solo ou do mar. Estas observações podem ser sensoriais, utilizando apenas os órgãos dos sentidos, em especial a visão, por exemplo para estimar a quantidade de nuvens presentes no céu; ou instrumentais, recorrendo a instrumentos, como é o caso do termómetro para determinar a temperatura do ar.

Os elementos meteorológicos são observados nas estações meteorológicas dependendo do fim a que se destinam. Assim, de uma forma geral, são observados os seguintes elementos:

- a) Tempo presente e tempo passado
- b) Direção e velocidade do vento
- c) Quantidade, tipo e altura da base das nuvens
- d) Visibilidade
- e) Temperatura do ar
- f) Humidade do ar
- g) Pressão atmosférica
- h) Quantidade de precipitação
- i) Estado do solo
- j) Insolação

Por exemplo, nas estações de observação meteorológica, tais como as estações sinópticas do IPMA (onde se realizam observações meteorológicas para efeitos de meteorologia sinóptica), as observações realizadas visam analisar fenómenos com escalas espaço-temporais características de 100 – 1000 km e de 1 a 5 dias.

As estações meteorológicas existem em todo o Globo criando assim uma rede de estações, que não devem distar entre si, no caso das estações terrestres para fins sinópticos, mais de 150 Km, por recomendação da Organização Meteorológica Mundial (OMM). Portugal conta com uma rede nacional de estações meteorológicas automáticas de superfície (EMA) desde 2002, que registam, de 10 em 10 minutos, os elementos meteorológicos principais e elaboram de forma automática mensagens em forma de código que são enviadas, à escala horária, para a sede do IPMA e difundidas internacionalmente.

Neste trabalho, além das estações da rede sinóptica do IPMA, foram utilizadas observações meteorológicas de estações temporárias situadas na região da albufeira, realizadas durante a campanha ALEX2014, de forma a caracterizar a estrutura horizontal local dos campos atmosféricos de superfície e detetar os efeitos de lago. A localização das estações meteorológicas da campanha ALEX2014 é apresentada na Figura 3.1.

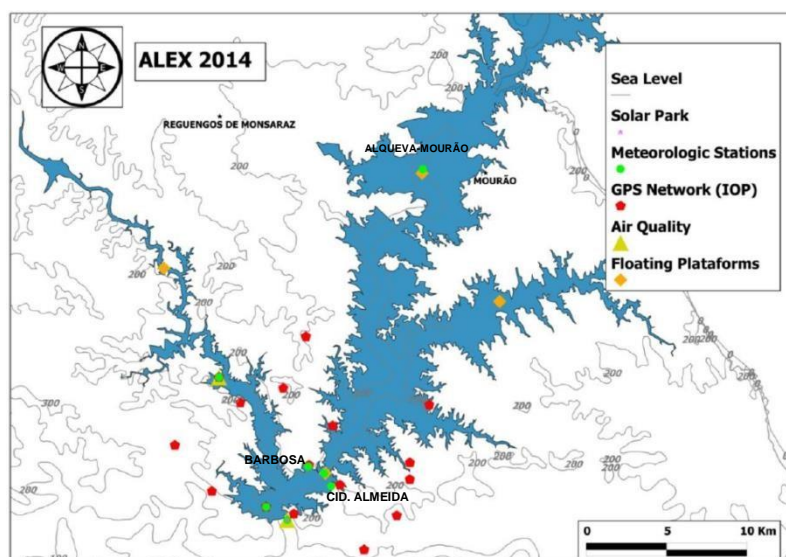


Figura 0.1 - Mapa com as estações meteorológicas temporárias da campanha ALEX2014

Foram utilizados, neste trabalho, os dados das estações Barbosa (N38°13'39.18", W7°28'14.74") e Cid Almeida (N38°12'59.00", W7°27'16.34"). Estas estações mediam a temperatura do ar e do solo, humidade relativa, velocidade e direção do vento, e precipitação. Para proceder à comparação dos resultados do modelo com as observações reais destas estações foi necessário encontrar os pontos mais próximos das coordenadas dessas estações no modelo. Assim, para Barbosa o ponto no modelo é o que corresponde às coordenadas da estação. Já para Cid Almeida, o ponto no modelo corresponde a N38°12'36.00", W7°27'00.00", o qual dista aproximadamente 1 km da estação Cid Almeida. Estas localizações podem ser visualizadas na Figura 3.2.



Figura 0.2 - Mapa com localização das estações Barbosa e Cid Almeida e localização do ponto no modelo AROME correspondente a Cid Almeida. Fonte: <https://www.google.pt/maps>

Os dados das observações de superfície das estações meteorológicas do IPMA (Évora, Beja, Elvas, Estremoz, Reguengos, Viana do Alentejo, Portel, Amareleja) foram utilizadas apenas para avaliar o desempenho do modelo, dada a sua distância à albufeira, como se pode ver pela Figura 3.3, não foram utilizadas para o estudo dos efeitos locais.

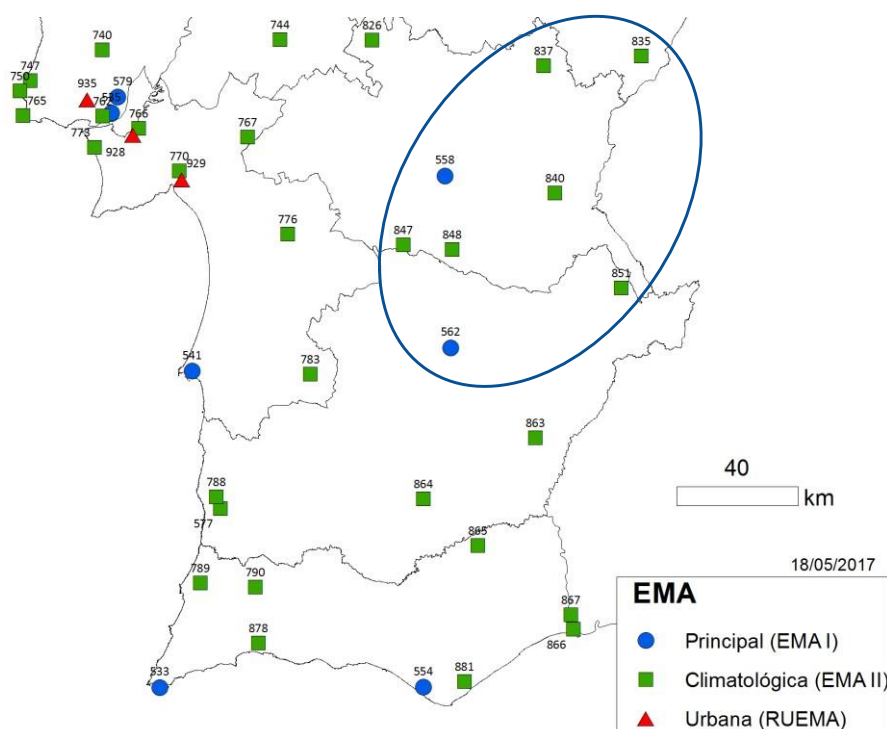


Figura 0.3 - Rede de Estações Meteorológicas Automáticas (EMA) do IPMA. Legenda: 558 – Évora Aeródromo; 562 – Beja; 835 – Elvas; 837 – Estremoz (Techocas); 840 – Reguengos (S. Pedro do Corval); 847 – Viana do Alentejo; 848 – Portel (Oriola); 851 – Amareleja.

3.1.2 – Observações de altitude: radiossondagens

Uma radiossonda é composta por um conjunto de equipamentos e sensores utilizados para medir grandezas meteorológicas como a temperatura e humidade do ar, pressão atmosférica, velocidade e direção do vento ao longo da atmosfera, na vertical. Para proceder a este tipo de observação são utilizados balões meteorológicos, cheios com hélio, que transportam a radiossonda. À medida que o balão sobe, a radiossonda vai fazendo a medição dos elementos meteorológicos transmitindo-os automaticamente para um equipamento de receção automática, instalado à superfície. Esse equipamento processa e converte os dados em mensagens que são arquivados para estudos locais e regionais e codificados na forma de código TEMP para disseminação nacional e internacional em tempo útil, quase real.

Em Portugal são exploradas três estações de radiossondagem: em Lisboa, na Estação de Lisboa/Gago; na Madeira, no Observatório meteorológico do Funchal; e nos Açores, na Base Aérea nº4 da ilha Terceira.

A campanha ALEX2014 incluiu a realização de radiossondagens a cada três horas, desde as 12 UTC de dia 22 de julho até às 18 UTC de dia 24, à exceção das 15 UTC de dia 22. O balão meteorológico com a radiossonda foi lançado a partir de um local em terra junto à albufeira (N38°12', W7°29'24''), permitindo uma boa caracterização da camada limite atmosférica e da sua evolução. Tal como no caso das estações de superfície, também neste caso foi necessário encontrar na malha do modelo

o ponto mais próximo destas coordenadas para proceder à comparação dos resultados do modelo com as observações das radiossondagens.

3.2 – AROME e Bases de Dados da fisiografia

Desde que entrou em operações, a versão local do modelo AROME tem sido sujeito a várias atualizações quer em termos da sua resolução vertical quer a nível das bases de dados que lhe asseguram a fisiografia de superfície, como se pode ver pela Tabela 3.1.

Tabela 0.1 - Evolução da versão local do AROME desde 2014

Estado/Ano	Operacional 2014	Operacional 2017	Pré-Oper. 2017	Pré-Oper.	Pré-Oper.
Versão Arome	Cy36t1_oper	Cy38t1_ecov1.6	Cy381_ecov1.6	Cy38t1_ecov2.3	Cy38t1_ecov2.3
Ciclo	Cy36	Cy38	Cy38	Cy38	Cy38
Níveis verticais	46	46	60	60	60
ECOCLIMAP	v1.5	v1.6	v1.6	v2.3	v2.3
Fisiografia Alqueva	Não	Não	Não	Não	Sim
Orografia	GTOPO30	GMTED2010	GMTED2010	GMTED2010	GMTED2010
Designação	CY36L46	CY38L46	CY38L60	CY38SAL	CY38ALQ

À data da escrita deste trabalho, a versão do modelo em estudo (AROME CY38L60) apresenta uma maior resolução vertical que a versão em operações (AROME CY38L46), contando com 60 níveis em vez de 46. Para parametrizar a cobertura da superfície ambas contam com uma versão antiga da base de dados ECOCLIMAP (a ECOCLIMAP_II_v1.6) que não reconhece a albufeira de Alqueva, bem como outras albufeiras mais pequenas da região. Assim, foi necessário introduzir a fisiografia da albufeira de Alqueva, bem como de outras albufeiras de menor dimensão da região, na base de dados, como se pode ver pela Figura 3.4. Para tal, foi utilizada a ECOCLIMAP_II_v2.3, por corresponder à versão mais atual desta base dados, possibilitando usufruir de melhorias recentemente introduzidas.

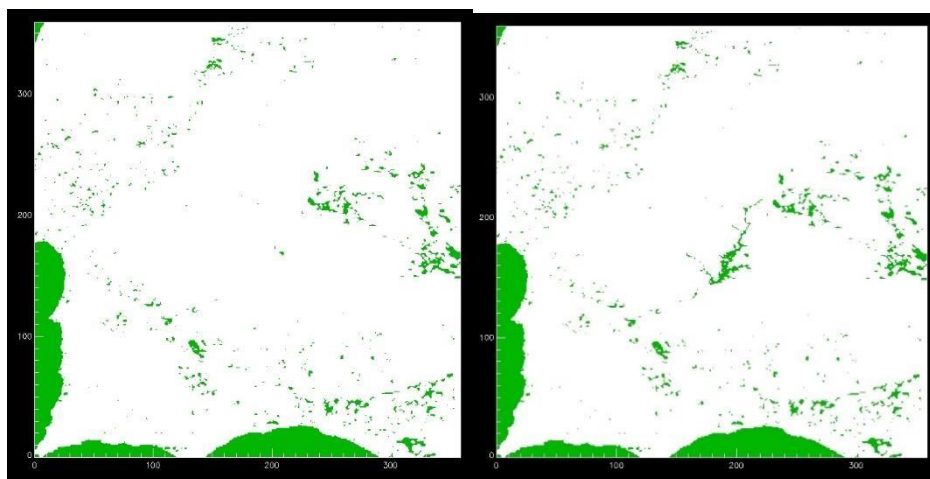


Figura 0.4 - Representação da base de dados ECOCLIMAP_II_v2.3 sem a fisiografia da albufeira de Alqueva (à esquerda) e com a fisiografia (à direita). As áreas a verde representam superfícies com água. Fonte: Policarpo, 2014 e Policarpo et al., 2017.

Para além da introdução da nova versão da ECOCLIMAP no modelo, foi também necessário alterar a base de dados relativa à elevação do terreno, a GMTED2010_30, de forma a melhor representar a orografia da região ocupada pela albufeira. Esta alteração consistiu em elevar a área correspondente à albufeira para a cota 152 m em relação ao nível médio do mar (nmm), assumindo que o reservatório se encontra no seu nível de armazenamento máximo, como se pode observar na Figura 3.5.

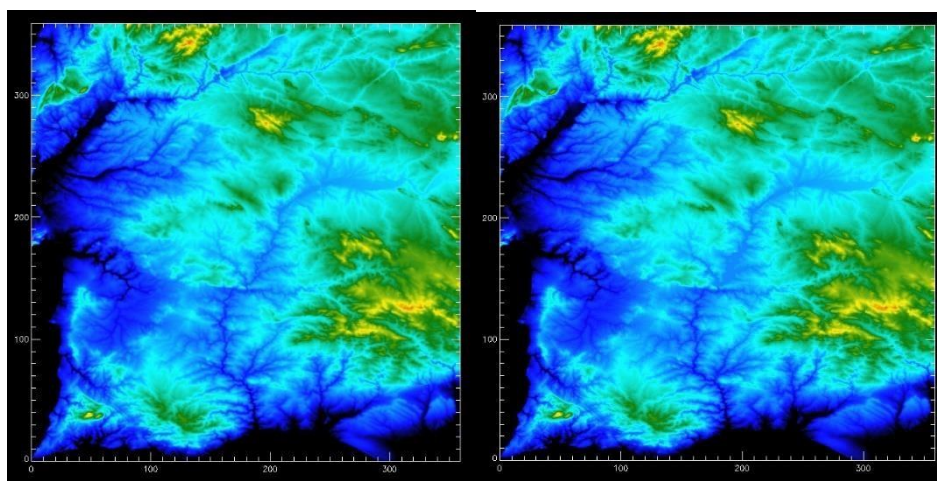


Figura 0.5 - Representação da base de dados GMTED2010_30 sem a fisiografia da albufeira de Alqueva (à esquerda) e com a fisiografia (à direita). Escala: mínimo – preto e máximo – laranja. Fonte: Policarpo, 2014 e Policarpo et al., 2017.

3.3 – Avaliação do desempenho do modelo

Apesar da previsão numérica do tempo ter evoluído bastante nos últimos tempos, continua longe de ser perfeita, sendo condicionada pelas incertezas inerentes ao conhecimento do estado da atmosfera num dado instante, nomeadamente as incertezas da observação meteorológica e a distribuição irregular das observações sobre o globo (erros na análise); e pelas limitações do modelo

devidas às aproximações aplicadas, às equações e à discretização espaço-temporal condicionada pela capacidade dos computadores utilizados (erros nos modelos).

Uma vez que os erros influenciam as previsões elaboradas pelos modelos numéricos, é importante identificá-los e avaliar o desempenho dos modelos de forma a oferecer produtos com melhor qualidade. À medida que os modelos se tornam mais complexos, torna-se necessário um método mais objetivo de avaliar o seu desempenho. As ferramentas de avaliação de desempenho de modelos, também chamadas de diagnóstico de modelo ou de verificação de modelo, fornecem uma medida objetiva da capacidade do modelo, e podem ser usadas pelos meteorologistas. Esta avaliação consiste na simples comparação da previsão do modelo com a observação real da atmosfera.

A exatidão do modelo pode ser avaliada através de medidas estatísticas resultantes da comparação objetiva das suas previsões e da observação real da atmosfera. As fontes de erros de previsão do modelo que definem essa exatidão podem ter componentes sistemáticas e aleatórias.

O erro total resume a magnitude de todos os erros da previsão, tanto os sistemáticos como os aleatórios. Embora o erro total possa fornecer uma avaliação mais completa da quantidade do erro, é difícil decifrar as contribuições das componentes sistemáticas e aleatórias.

$$\text{Erro Total} = \text{Erro Sistemático} + \text{Erro Aleatório}$$

Os erros sistemáticos ocorrem repetidamente e podem ser causados por fatores específicos do modelo (por exemplo, representação incorreta do terreno). Estes erros podem ser facilmente identificáveis e até corrigidos, nomeadamente através de técnicas de pós-processamento.

Os erros aleatórios são aparentemente imprevisíveis e não se conseguem corrigir facilmente, mas o seu efeito na previsão pode ser estatisticamente estimado, fornecendo uma medida de confiança da previsão.

3.3.1 - Índices de Avaliação

O desempenho do modelo pode ser avaliado utilizando diferentes medidas estatísticas, tais como RMSE, Bias e Desvio Padrão.

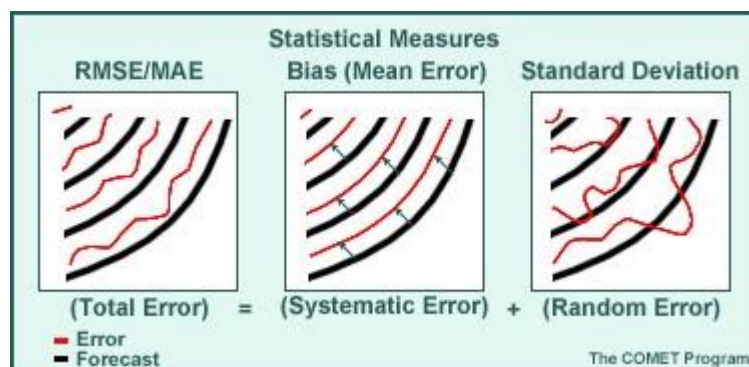


Figura 0.6 - Medidas estatísticas (Fonte: http://www.meted.ucar.edu/nwp/model_derivedproducts/)

A Figura 3.6 ilustra os erros encontrados nos modelos de previsão:

- O Bias (erro sistemático) representa um desvio sistemático da previsão;
- O erro aleatório representa as variações inconsistentes da previsão;
- O erro total é uma combinação das contribuições de ambos os tipos de erro.

Estas medidas de erro são apropriadas para previsões das variáveis escalares de temperatura, altura do geopotencial, pressão média ao nível do mar, velocidade do vento e precipitação. No entanto, são necessárias medidas especiais para parâmetros vetoriais, como o vento.

O RMSE, tal como se mostra na equação 3, mostra as diferenças individuais entre a previsão do modelo (p_n) e as observações (o_n), onde N é o número total de comparações. Elevando as diferenças ao quadrado força a tratar de forma igual os resultados negativos e os positivos. Por se tratar de uma função quadrática, evidencia o aparecimento de erros grandes, mesmo que pouco frequentes. Mede o erro total (sistemáticos e aleatórios) e é utilizado para avaliar a magnitude do erro.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (p_n - o_n)^2} \quad (3)$$

O Bias, tal como se mostra na equação 4, também conhecido como erro médio, é a média da diferença entre a previsão do modelo (p_n) e as observações (o_n), onde N é o número total de comparações. Mostra o desvio médio (ou tendência) do modelo em relação a uma variável. Pode apresentar resultados positivos (sobrestimação) ou negativos (subestimação). Quanto mais próximo de zero, melhor o resultado.

$$Bias = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N p_n - o_n \quad (4)$$

Tanto o Bias quanto o RMSE apresentam os resultados nas mesmas unidades que as variáveis em estudo.

Capítulo 4 – Análise e Discussão de Resultados

Este estudo consistiu, primeiramente numa avaliação global do desempenho do modelo, considerando todas as versões do AROME (ver Tabela 3.1, secção 3.2), seguindo-se uma avaliação mais detalhada da última versão do modelo, de forma a analisar o impacto da introdução da fisiografia da albufeira de Alqueva no modelo AROME. Para analisar este impacto foram utilizados os dados das observações durante o POI ALEX2014, bem como as previsões do modelo resultantes das simulações realizadas com o AROME CY38ALQ e o AROME CY38SAL.

4.1 – Índices de avaliação do modelo

O desempenho do modelo foi avaliado através do cálculo do RMSE e do Bias. Estas medidas estatísticas foram calculadas com base nas corridas das 00 UTC dos dias 21 a 25 de julho de 2014, para um alcance de previsão de 48h e para as seguintes versões do modelo (ver Tabela 3.1, secção 3.2):

- AROME de 46 níveis, ciclo 36 (CY36L46), em operações em 2014 e, por isso, aqui designado (e apenas aqui) como AROME_OPER;
- AROME de 46 níveis, ciclo 38 (CY38L46), em operações à data da escrita deste trabalho;
- AROME de 60 níveis, ciclo 38 (CY38L60), em pré-operações;
- AROME de 60 níveis, ciclo 38, com ECOCLIMAP_II_v2.3, **sem** a fisiografia implementada (CY38SAL), em pré-operações;
- AROME de 60 níveis, ciclo 38, com ECOCLIMAP_II_v2.3, **com** a fisiografia implementada (CY38ALQ), em pré-operações.

As observações consideradas nesta avaliação correspondem às estações do IPMA referidas na secção 3.1.1 e apresentadas na Figura 3.3 (Amareleja, Beja, Elvas, Évora, Estremoz, Portel, Reguengos e Viana do Alentejo). É, portanto, uma avaliação que considera a média espacial e temporal.

De uma forma geral, pode dizer-se que o AROME CY38L60 apresenta melhores resultados que o AROME_OPER (CY36L46) e que o AROME CY38L46. Quanto ao modelo em estudo (com uma versão mais recente da ECOCLIMAP), não se verificaram diferenças significativas entre as versões com (CY38ALQ) e sem a fisiografia da albufeira de Alqueva (CY38SAL). Esta situação pode dever-se à distância a que os pontos, correspondentes às estações do IPMA, se encontram da albufeira.

Para a Temperatura aos 2 m, T2M, as versões do modelo com 60 níveis (CY38L60, CY38SAL e CY38ALQ) apresentam melhores resultados de Bias e RMSE que as restantes, como se pode ver pelo Gráfico 4.1 e pelo Gráfico 4.2, respetivamente. O Bias mostra que as previsões do modelo tendem a sobrestimar a temperatura do ar junto à superfície, em especial a partir de h+18 (Gráfico 4.1). De notar que neste caso, os resultados de Bias são mais próximos de zero durante a manhã (entre h+6 e h+12 e também, entre h+30 e h+36).

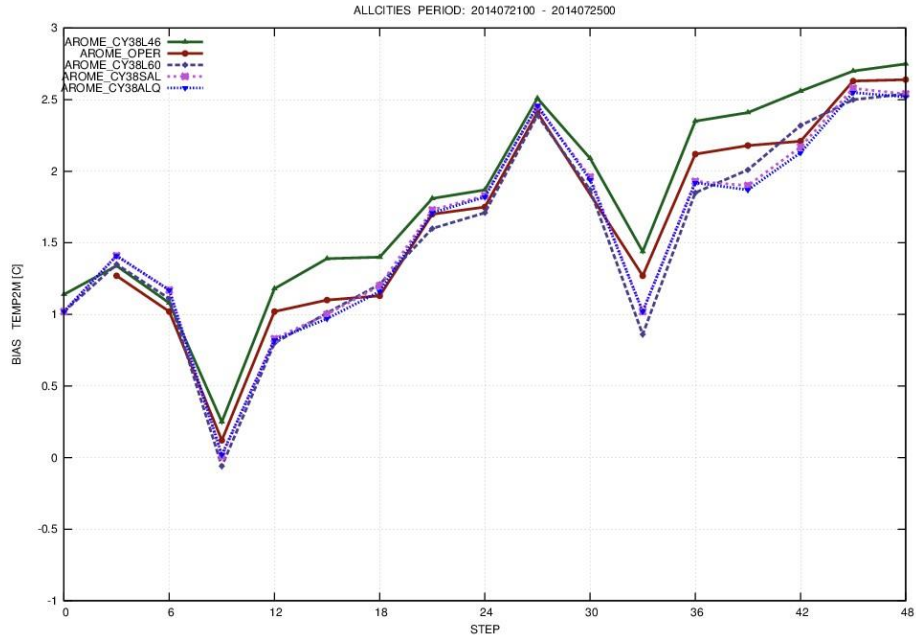


Gráfico 0.1 - BIAS referente à temperatura aos 2 m para diferentes versões do modelo AROME-PT2, com base nos runs das 00h do dia 21 ao dia 25 de julho 2014, para as Estações IPMA referidas anteriormente.

Também os valores de RMSE aumentam a partir do alcance de previsão h+18, como se pode ver na figura seguinte. O RMSE, à semelhança do BIAS, apresenta melhores resultados durante a manhã (Gráfico 4.2).

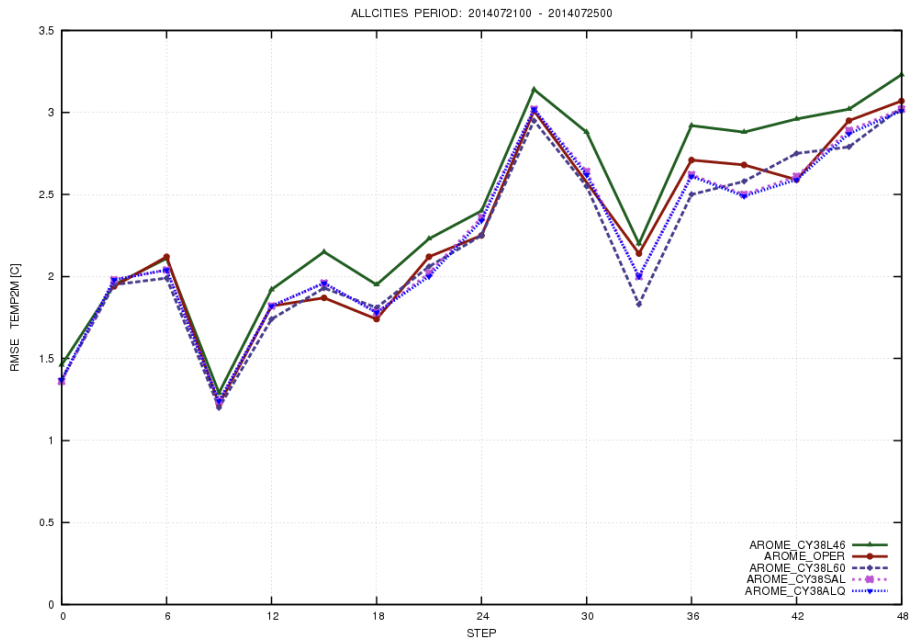


Gráfico 0.2 - RMSE referente à temperatura aos 2 m para diferentes versões do modelo AROME-PT2, com base nos runs das 00h do dia 21 ao dia 25 de julho 2014, para as Estações IPMA referidas anteriormente.

Pelo Gráfico 4.3 pode ver-se que, no que se refere à Temperatura à superfície, T_{sup} , de uma forma geral os modelos tendem a sobrestimar esta grandeza, particularmente durante a tarde. No entanto, ambos os modelos com a versão ECOCLIMAP_II_v2.3 (CY38SAL e CY38ALQ) apresentam valores negativos de Bias para h+12 e h+36, indicando uma subestimação desta variável.

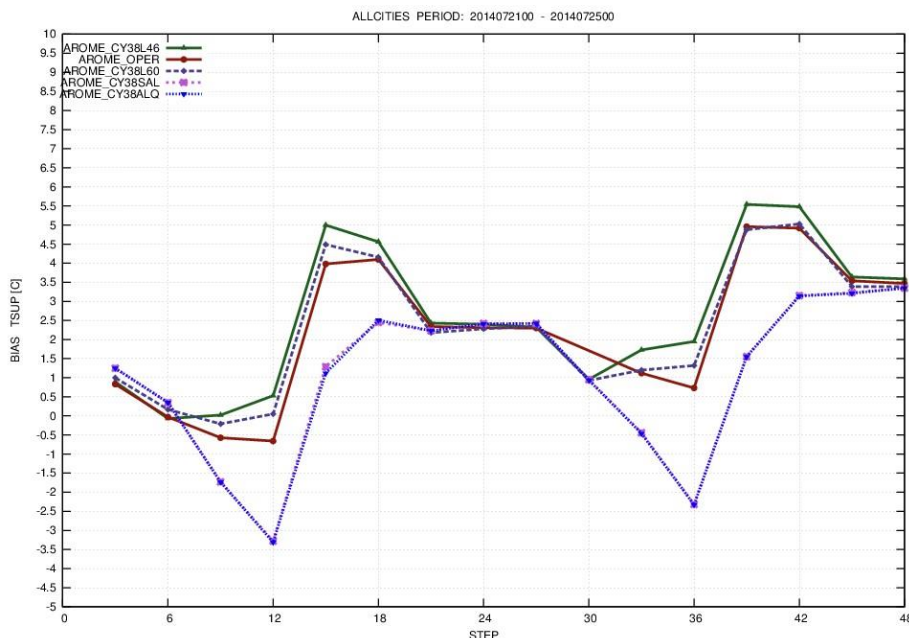


Gráfico 0.3 - BIAS referente à temperatura à superfície para diferentes versões do modelo AROME-PT2, com base nos runs das 00h do dia 21 ao dia 25 de julho 2014, para as Estações IPMA referidas anteriormente.

Relativamente ao RMSE (Gráfico 4.4) as duas versões do modelo com a versão ECOCLIMAP_II_v2.3 (CY38SAL e CY38ALQ) são as que apresentam valores mais próximos de zero e, portanto, melhores resultados.

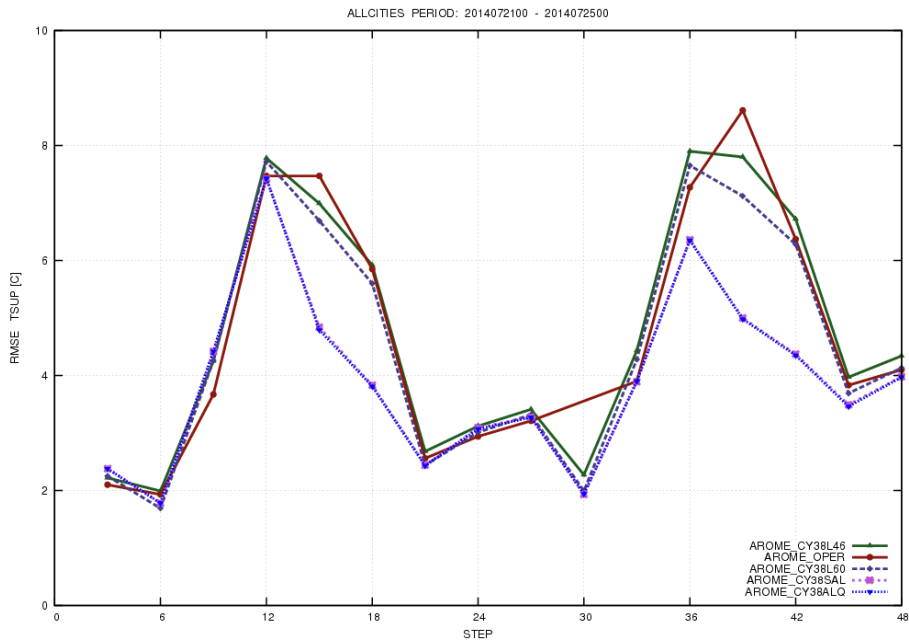


Gráfico 0.4 - RMSE referente à temperatura à superfície para diferentes versões do modelo AROME-PT2, com base nos runs das 00h do dia 21 ao dia 25 de julho 2014, para as Estações IPMA referidas anteriormente.

No Gráfico 4.5 e no Gráfico 4.6, referentes ao Bias e RMSE da Humidade Relativa do ar aos 2 m, HR2M, respetivamente, pode ver-se que o AROME_OPER e o AROME CY38L60 apresentam melhores resultados que os restantes, com valores mais próximos de zero. Ainda assim, todos os modelos subestimam a HR2M (valores de Bias negativos), em especial durante a noite e madrugada. Esta subestimação deve-se em parte à sobrestimação da temperatura.

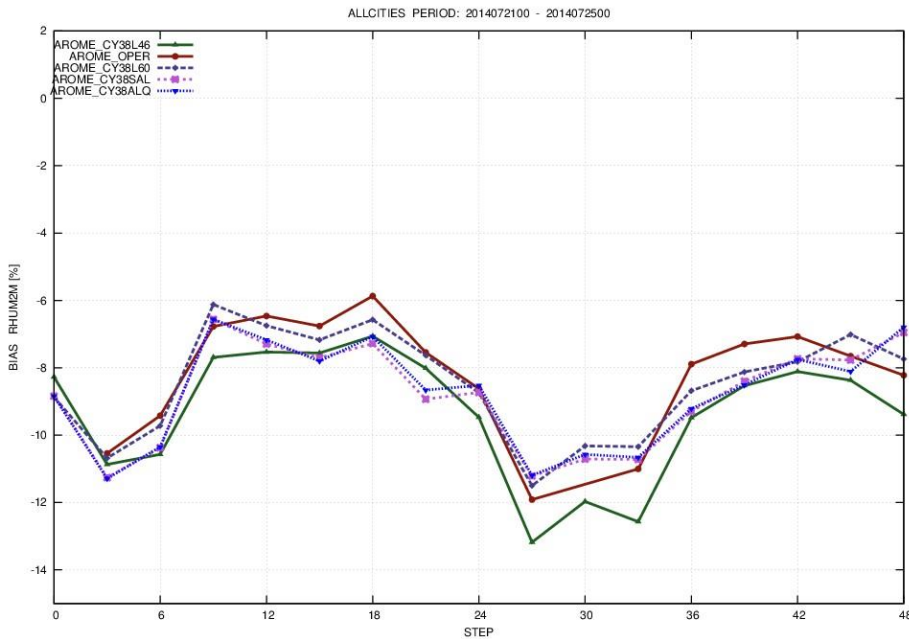


Gráfico 0.5 - Bias referente à Humidade Relativa aos 2 m para diferentes versões do modelo AROME-PT2, com base nos runs das 00h do dia 21 ao dia 25 de julho 2014, para as Estações IPMA referidas anteriormente.

Quanto ao RMSE, todos os modelos apresentam um erro mais elevado entre as 24 e as 30h da previsão do modelo, sendo mais uma vez o AROME_OPER e o AROME CY38L60 os que apresentam melhores resultados, de uma forma geral. Ainda assim, as diferenças entre as versões do modelo com 60 níveis são pouco significativas.

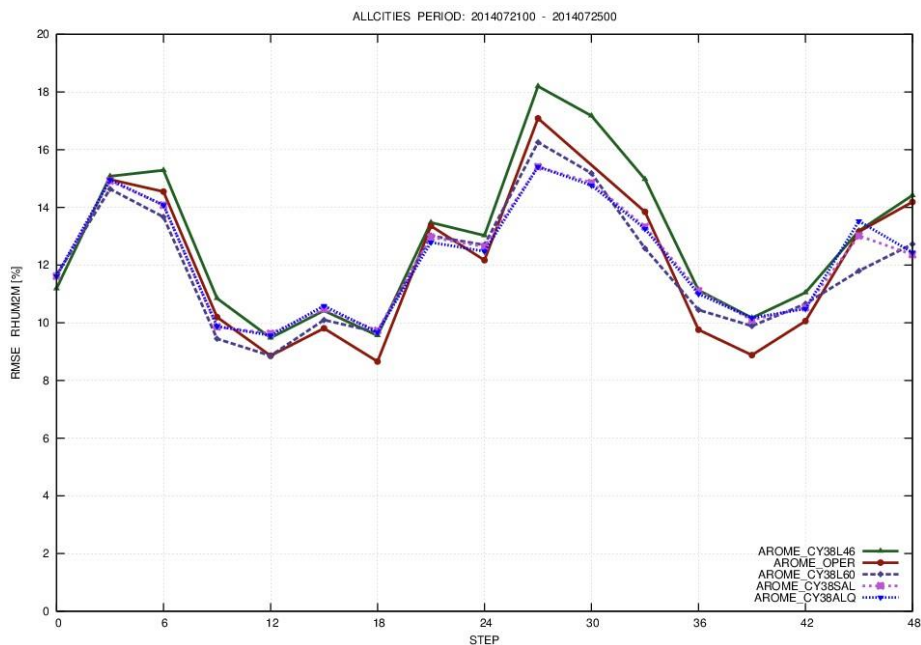


Gráfico 0.6 - RMSE referente à Humidade Relativa aos 2 m para diferentes versões do modelo AROME-PT2, com base nos runs das 00h do dia 21 ao dia 25 de julho 2014, para as Estações IPMA referidas anteriormente.

No que diz respeito à intensidade do vento, esta tende a ser ligeiramente sobrestimada no modelo CY38L60 e as versões do modelo com a ECOCLIMAP_II_v2.3 são as que, de uma forma geral, apresentam melhores resultados em termos de Bias, ainda que os valores sejam superiores a 1 m/s ao final da tarde e início da noite, como se pode ver pelo Gráfico 4.7, para h+0, entre h+18 e h+24, e entre h+42 e h+48.

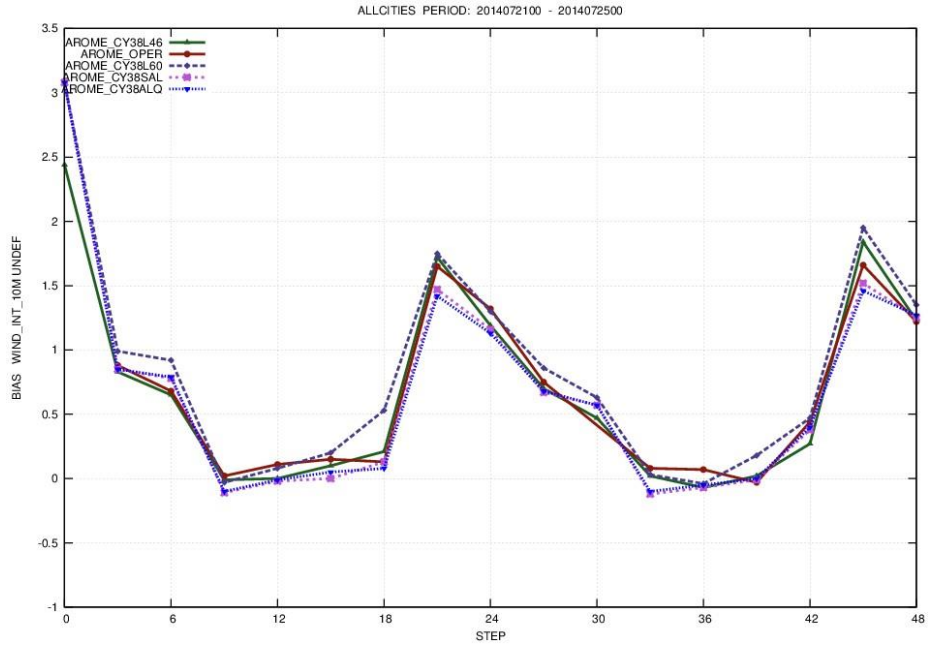


Gráfico 0.7 - BIAS referente à intensidade do vento para diferentes versões do modelo AROME-PT2, com base nos runs das 00h do dia 21 ao dia 25 de julho 2014, para as Estações IPMA referidas anteriormente.

Quanto ao RMSE referente à intensidade do vento, o AROME_OPER apresenta melhores resultados que os restantes. Também aqui o erro é maior ao final da tarde e início da noite, sendo menor nos períodos da manhã, como se vê no Gráfico 4.8. Esta situação pode estar relacionada com a entrada da brisa marítima, que se faz sentir na região ao final da tarde.

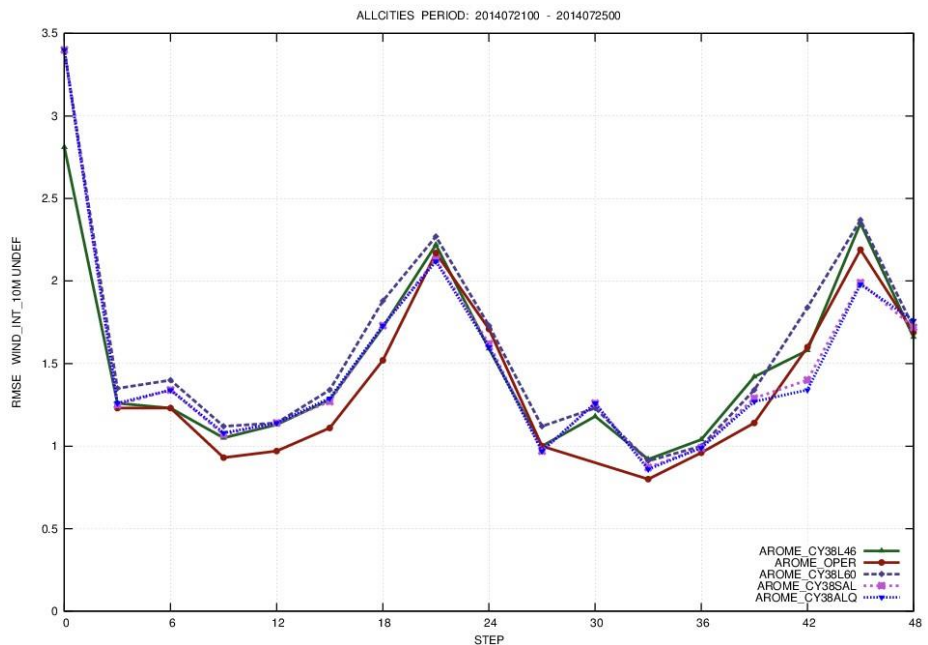


Gráfico 0.8 - RMSE referente à intensidade do vento para diferentes versões do modelo AROME-PT2, com base nos runs das 00h do dia 21 ao dia 25 de julho 2014, para as Estações IPMA referidas anteriormente.

4.2 – Casos de Estudo

O impacto da implementação da fisiografia da albufeira de Alqueva no modelo foi analisado através das cartas dos diferentes parâmetros meteorológicos, de tefigramas baseados nas sondagens observadas e nas previsões do modelo, dos dados das observações da campanha ALEX2014 e ainda, da criação e análise de cartas com as diferenças entre CY38ALQ e CY38SAL.

De uma forma geral, todos os parâmetros meteorológicos analisados sofreram ligeiras alterações com a implementação da fisiografia. De entre os dias em estudo, foram selecionados os dias 22 e 24 para uma análise mais aprofundada, uma vez que no dia 22 foi detetado sinal de brisa de lago (não tendo sido detetado sinal de brisa de terra) e no dia 24 ocorreu nebulosidade durante a noite e madrugada na região.

É de salientar que, neste trabalho as horas se referem a UTC e não a horas locais.

4.2.1 – Brisa de Lago

A brisa de lago é uma consequência das diferenças térmicas entre o solo e a água. Durante o dia, o solo aquece mais do que a água dando origem a um movimento do ar do lago para a terra, à semelhança do que ocorre na brisa marítima. Esta situação pode ocorrer também durante a noite, no sentido inverso, quando a temperatura da água é superior à do solo.

No intervalo de tempo em estudo (22 a 24 de julho de 2014), o sinal de brisa de lago no modelo com a fisiografia da albufeira foi particularmente evidente no dia 22. Este dia era caracterizado por uma situação de estabilidade com o vento sinóptico a soprar de noroeste e intensidade igual ou inferior a 10 nós sobre o continente, tendo sido detetada uma perturbação na direção do vento na região da albufeira durante o período de maior calor, entre as 12h e as 18h.

Para análise deste caso de estudo foram consideradas as cartas dos seguintes parâmetros meteorológicos: vento aos 10 m e pressão ao nível médio do mar (nmm); cartas de altitude (1000 aos 850hPa); temperatura aos 2 m; temperatura à superfície; e, por fim, humidade relativa aos 2 m. Aqui apresentam-se apenas as cartas mais relevantes, sendo as restantes remetidas para o Anexo I. Ainda para este caso de estudo, foram analisados os dados das observações da campanha ALEX2014 do dia 22 de julho de 2014.

É de salientar que o sinal da brisa diferiu a cada corrida do modelo, sendo mais evidente às 18h, na corrida das 00h do dia 21, para uma previsão de h+42. No ponto 1 do Anexo I mostram-se os resultados das corridas do modelo das 12h do dia 21 e das 00h do dia 22.

a) Vento aos 10 metros e Pressão ao nmm

Nas cartas de vento aos 10 m, o sinal de brisa foi identificado às 12, 15 e 18h do dia 22, sendo mais evidente às 18h. Como pode observar-se da Figura 4.1 à Figura 4.3, no modelo com a fisiografia da albufeira (CY38ALQ) nota-se que na região noroeste da albufeira, o vento tende a contrariar o sinóptico, soprando de sudeste (do lago para terra), sugerindo assim uma brisa de lago. Na região sudeste da albufeira, o vento mantém o sinóptico, noroeste, o que também poderá indicar uma

brisa de lago nessa margem. Esta situação foi registada pelas observações realizadas na campanha ALEX2014, tal como referido por Potes *et al.* (2017).

De notar que nas figuras referentes ao vento aos 10 m, as barbelas indicam a intensidade do vento, sendo que as áreas onde não existem barbelas dão indicação de vento calmo (aproximadamente zero nós).

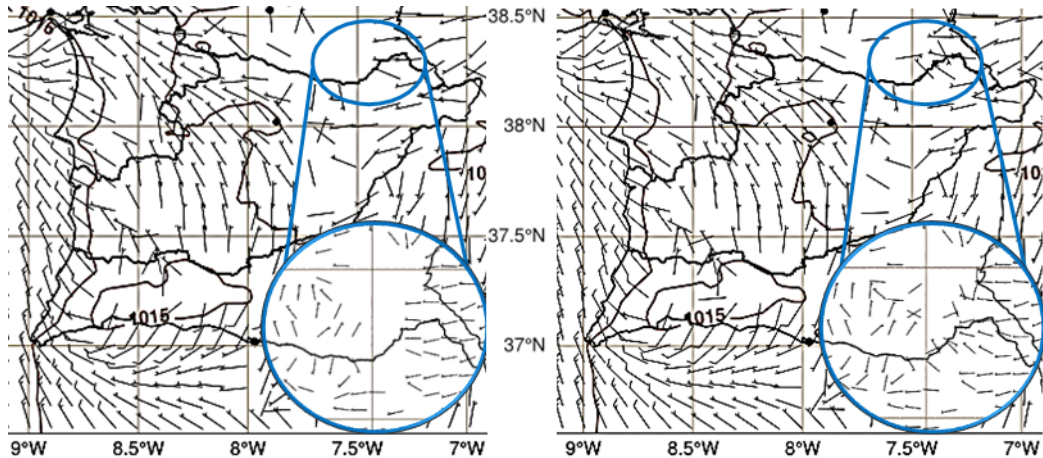


Figura 0.1 - Carta de pressão ao nmm e vento aos 10m, run das 00h de dia 21 julho, h+36h, válida para dia 22 julho às 12h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva (CY38SAL); À direita: com a fisiografia do Alqueva (CY38ALQ)

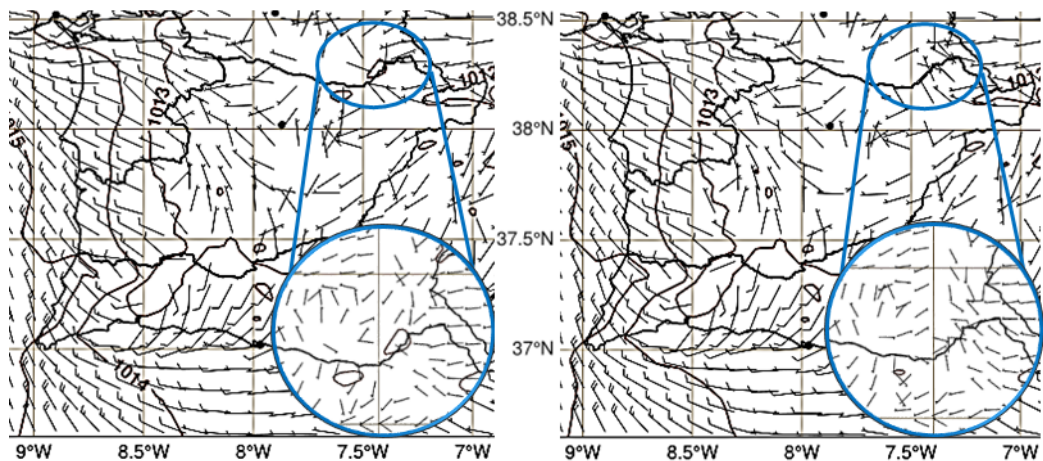


Figura 0.2 - Carta de pressão ao nmm e vento aos 10m, run das 00h de dia 21 julho, h+39h, válida para dia 22 julho às 15h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva (CY38SAL); À direita: com a fisiografia do Alqueva (CY38ALQ)

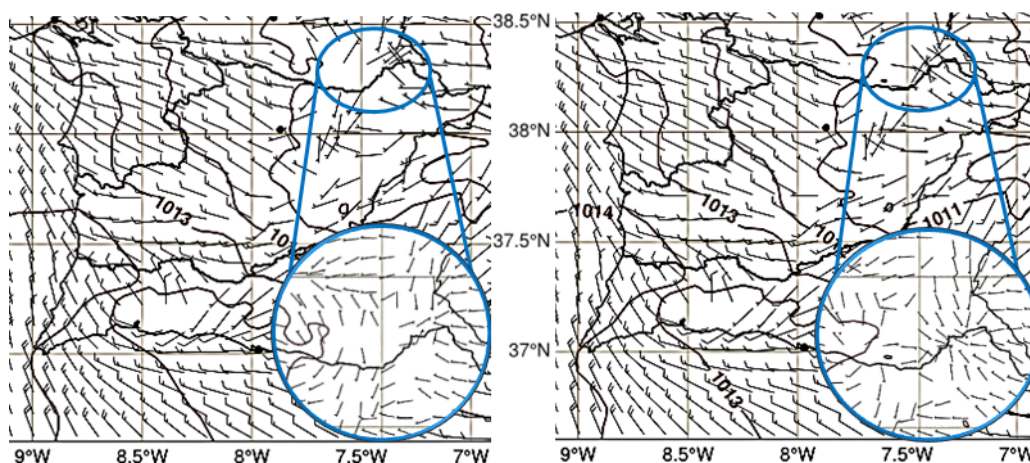


Figura 0.3 - Carta de pressão ao nmm e vento aos 10m, run das 00h de dia 21 julho, h+42h, válida para dia 22 julho às 18h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva (CY38SAL); À direita: com a fisiografia do Alqueva (CY38ALQ)

O sinal de brisa no dia 22 foi também detetado nos níveis superiores (1000 a 850hPa), sendo mais evidente aos 1000hPa, como seria de esperar. Esta análise encontra-se no ponto 2 do Anexo I.

Nos dias 23 e 24 a intensidade do vento foi superior a 10 nós não tendo sido detetado sinal de brisa de lago nas simulações do modelo.

b) Temperatura aos 2 metros

Quanto à Temperatura aos 2 m, numa superfície sem água e sem vegetação, como a que é representada pelo modelo na versão sem Alqueva (CY38SAL), esta tende a ser mais elevada durante o dia e mais baixa durante a noite, comparativamente a uma superfície com água ou vegetação (como a representada no modelo CY38ALQ). Esta situação deve-se à elevada inércia térmica da água, que ao aquecer menos durante o dia, devido à sua elevada capacidade térmica, impede que a temperatura do ar sobrejacente seja tão elevada durante o dia. O oposto ocorre durante a noite, a água ao arrefecer menos vai impedir que o ar sobrejacente arrefeça tanto.

No caso em estudo, durante a tarde, a temperatura no modelo com a fisiografia (CY38ALQ) apresenta uma diferença de aproximadamente 10°C em relação ao modelo sem a fisiografia (CY38SAL), como se pode ver pela Figura 4.4, criando um grande contraste térmico entre a terra e o lago.

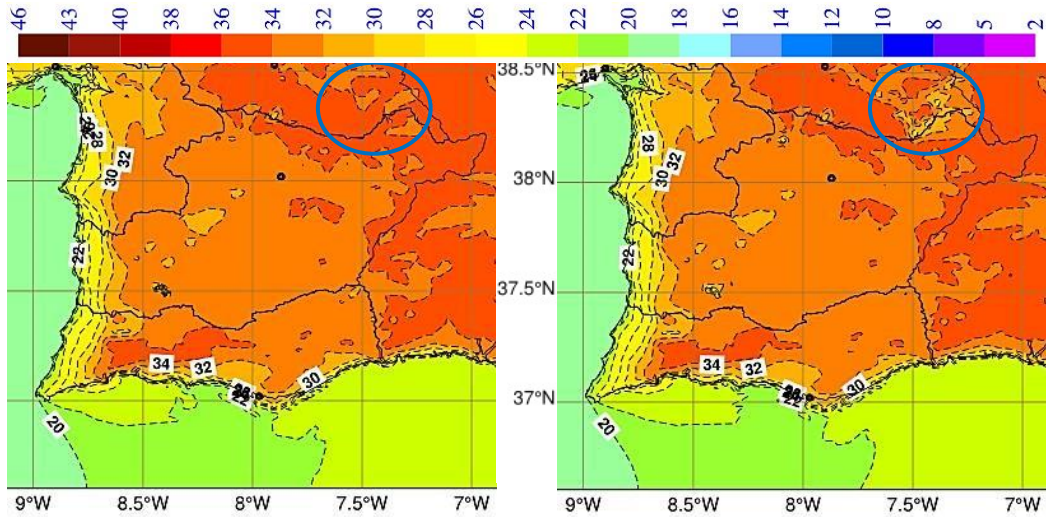


Figura 0.4 - Carta de temperatura (°C) aos 2 m, run das 00h de dia 21 julho, h+36, válida para dia 22 julho às 12h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva; À direita: com a fisiografia do Alqueva

Esta conclusão é mais perceptível na carta das diferenças representada na Figura 4.5, onde se vê que a temperatura sobre a albufeira é mais baixa cerca de 10°C em relação à temperatura do modelo sem a fisiografia. Ainda que a temperatura seja mais elevada às 15h e 18h, como se pode ver nas figuras do ponto 1 do Anexo I, é às 12h que as diferenças de T2M entre ambas as versões do modelo (CY38ALQ e CY38SAL) são maiores.

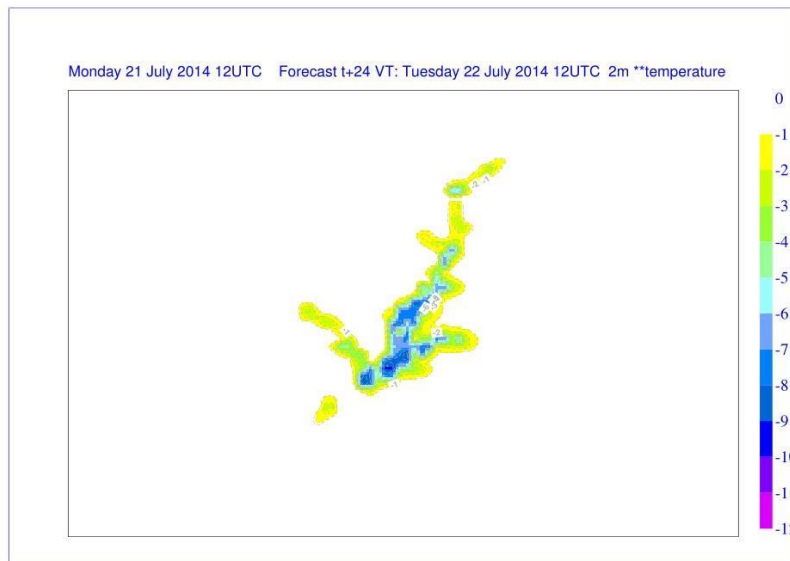


Figura 0.5 - Carta das diferenças para a temperatura (°C) aos 2 m, válida para dia 22 de julho às 12h.

Nos dias 23 e 24 a temperatura não foi tão elevada como no dia 22, diminuindo assim o contraste térmico terra-lago. A maior intensidade do vento sinóptico aliada a este menor aquecimento, e consequente menor contraste térmico, contribui para a ausência de sinal de brisa nas simulações do modelo, bem como nas observações, dos dias 23 e 24.

Analisando as cartas de temperatura referentes ao dia em causa, também esta difere entre cada corrida do modelo, sendo o contraste terra-lago mais acentuado nas corridas do dia 21 às 00h e 12h, o que pode justificar o menor sinal de brisa em corridas mais próximas do evento. Como referido anteriormente, estas cartas podem ser visualizadas no ponto 1 do Anexo I.

c) Temperatura à superfície

Quando comparado com a T2M, para esta situação do dia 22, a temperatura à superfície apresenta valores bem mais elevados. Como se pode ver na Figura 4.6 (e nas figuras do ponto 1 do Anexo I), é notória a diferença de temperatura entre o modelo sem a fisiografia e o modelo com a fisiografia, que chega a ser de cerca de 20°C sobre a região da albufeira.

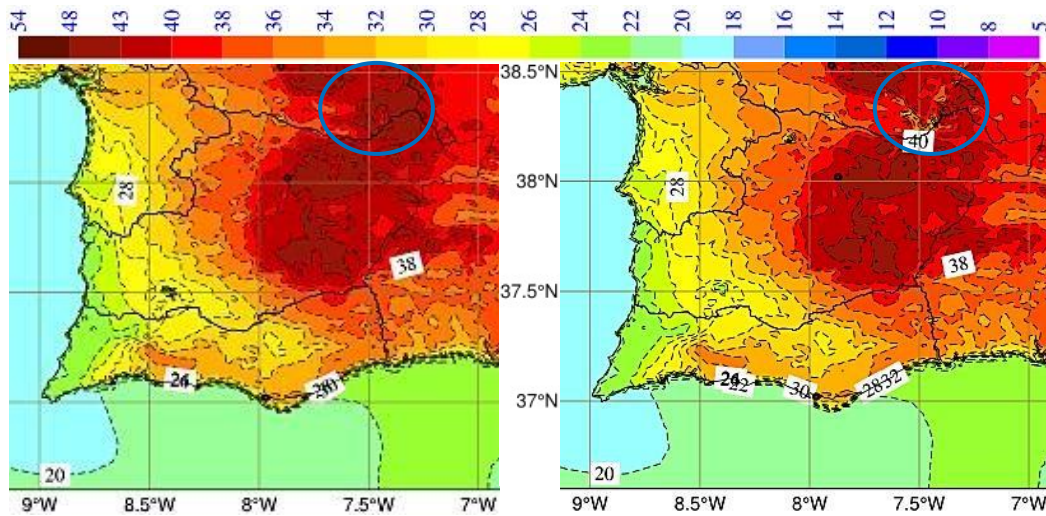


Figura 0.6 - Carta de temperatura (°C) à superfície, run das 00h de dia 21 julho, h+42, válida para dia 22 julho às 18h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva; À direita: com a fisiografia do Alqueva

A Figura 4.7 representa a situação de brisa às 18h, onde se pode ver uma diferença negativa bastante significativa sobre a albufeira, chegando a atingir os 22°C localmente.

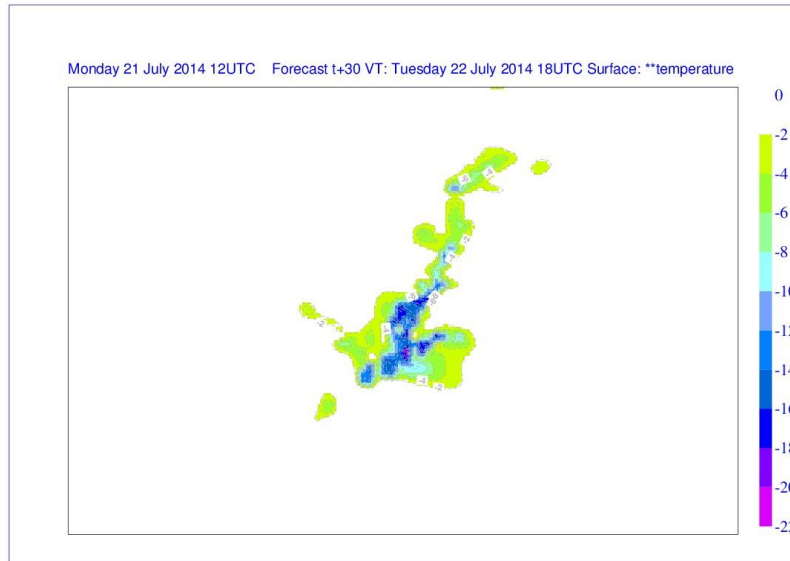


Figura 0.7 - Carta das diferenças para a temperatura (°C) à superfície, válida para dia 22 de julho às 18h.

d) Humidade Relativa aos 2 metros

Sendo a humidade relativa aos 2 m uma variável muito influenciada pelo tipo de cobertura de solo, foi necessário dar especial atenção à análise das cartas relativas a esta variável. A existência de uma grande massa de água, numa região com défice hídrico, tende a provocar o aumento da evaporação. Na Figura 4.8, referente ao período em que a brisa é mais evidente no modelo (18h), pode ver-se que mesmo durante o período de maior calor, a HR2M na região da albufeira é superior na carta obtida com a fisiografia do Alqueva, apresentando valores entre 20 a 65%. Estes valores são bastante superiores aos valores da carta obtida sem a fisiografia de Alqueva que apresenta valores de HR2M entre 10 a 20%, para o mesmo período (18h).

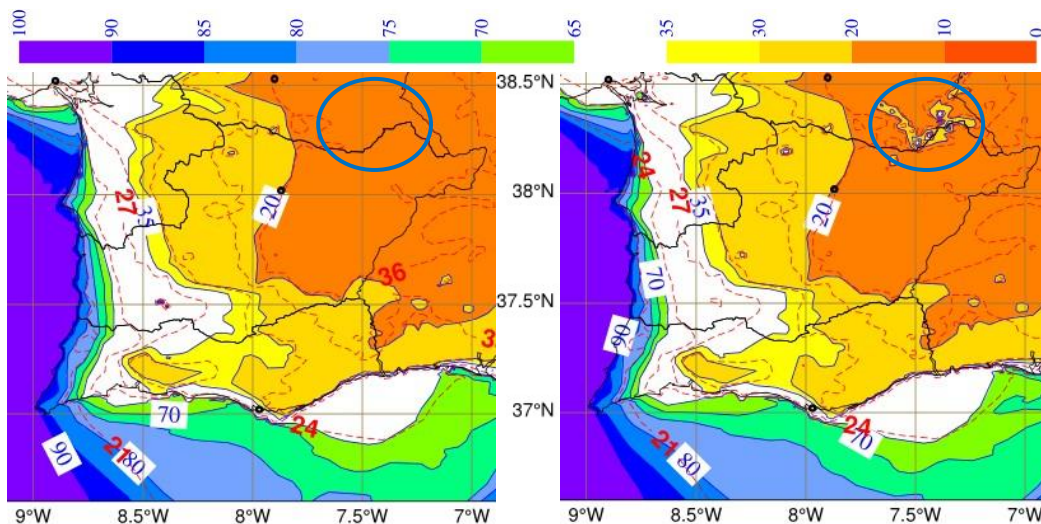


Figura 0.8 - Carta de temperatura (°C) e humidade relativa aos 2 m, run das 00h de dia 21 julho, h+42, válida para dia 22 julho às 18h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva; À direita: com a fisiografia do Alqueva

Em todos os casos analisados, a HR2M apresenta valores superiores no modelo com a fisiografia implementada, como seria de esperar. Este aumento é mais evidente durante o dia, apresentando uma diferença de cerca de 80% sobre a albufeira, como é bastante perceptível na carta das diferenças de HR2M da Figura 4.9.

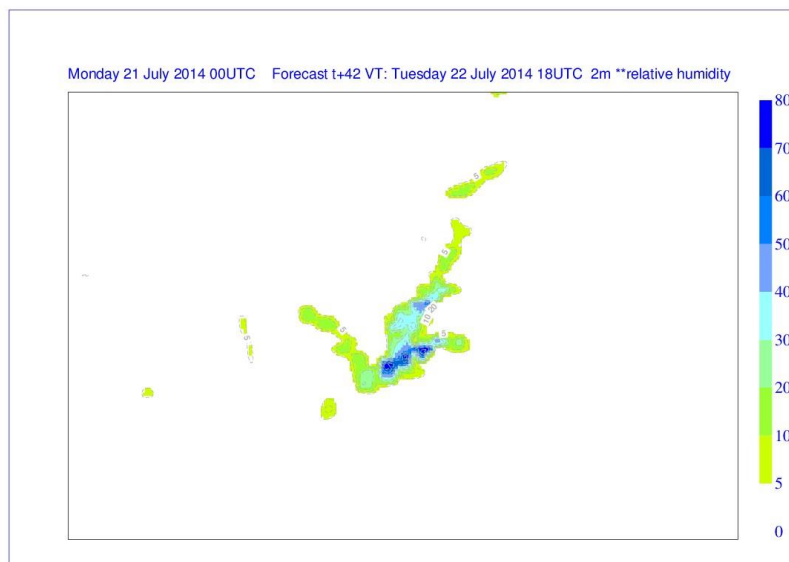


Figura 0.9 - Carta das diferenças para a Humidade Relativa, válida para dia 22 de julho às 18h.

Uma vez que se trata da humidade relativa, há que ter em conta que este acentuado aumento durante o dia não se deve apenas ao aumento da evaporação, mas está também associado a uma menor temperatura do ar sobre a albufeira. Durante a noite, apesar de o aumento de HR2M não ser tão acentuado como durante o dia, é mais evidente que este aumento se deve à maior quantidade de vapor de água existente no local, pois apesar de a temperatura do ar ser um pouco mais elevada, o que deveria fazer com que a HR2M diminuísse, esta continua a ser maior, no modelo com Alqueva (CY38ALQ), como se pode ver na secção da referente à nebulosidade (secção 4.2.3, Figura 4.14).

e) Observações e Análise Numérica do AROME

Para melhor perceber o caso em estudo foram analisadas as observações das estações Barbosa e Cid Almeida (campanha ALEX2014), com a resolução de um minuto, uma vez que se encontram em margens opostas da albufeira, como se pode ver na Figura 3.1 da secção 3.1.1. Assim, mostram-se de seguida os gráficos referentes à intensidade e direção do vento observados em ambas as estações ao longo do dia 22 de julho, e comparam-se estes resultados com os resultados obtidos da simulação do modelo AROME CY38SAL e AROME CY38ALQ, nos pontos do modelo correspondentes a estas estações, estes com resolução horária. Estes pontos do modelo são os pontos mais próximos das coordenadas das estações Barbosa e Cid Almeida, encontrados na malha do modelo e, para a obtenção destes resultados, foi utilizado o *run* do dia 21 de julho às 00h. No Anexo II encontram-se todos os dados que permitiram a elaboração destes gráficos, bem como os gráficos para cada uma das estações e para cada um dos modelos em separado.

De referir que os dados de vento das estações Barbosa e Cid Almeida foram obtidos a sensivelmente 2 m de altitude, enquanto os dados do modelo são estimados para 10 m. É ainda de salientar que os dados das observações de minuto a minuto, para ambas as estações, foram obtidos em ftp://nas.cge.uevora.pt/alex2014_dados/Meteorology/.

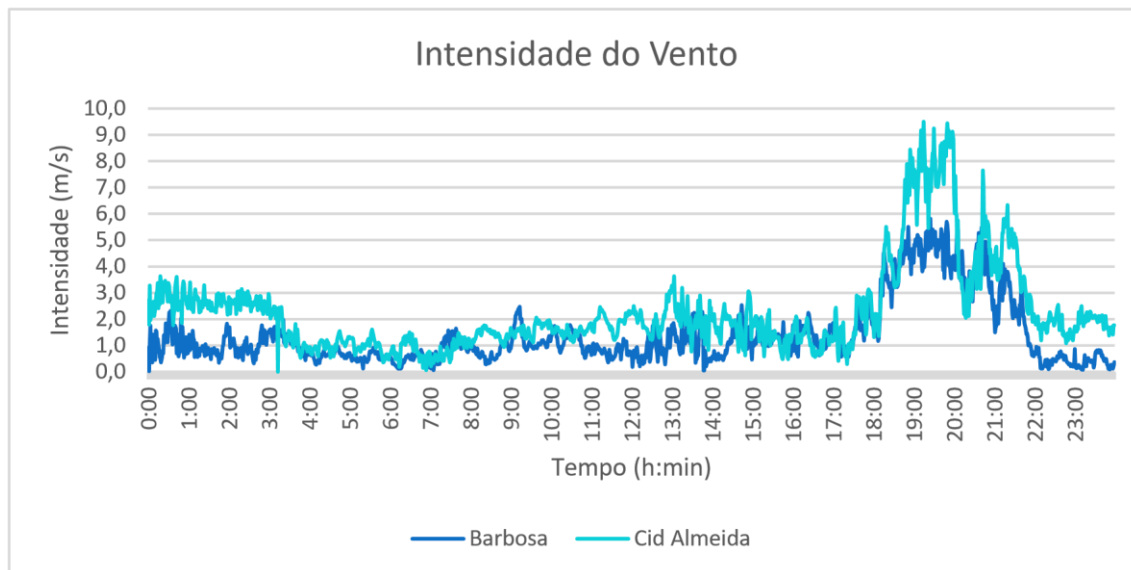


Gráfico 0.9 - Intensidade do Vento observado nas estações, no dia 22 de julho de 2014.

Pelo gráfico acima nota-se, em primeiro lugar, que ambas as estações reportavam vento fraco durante a madrugada e início da manhã, tendo ocorrido uma intensificação a partir das 18h. Esta intensificação pode estar associada à chegada da brisa marítima na região em estudo. Nota-se também que o vento em Cid Almeida era geralmente mais intenso que em Barbosa.

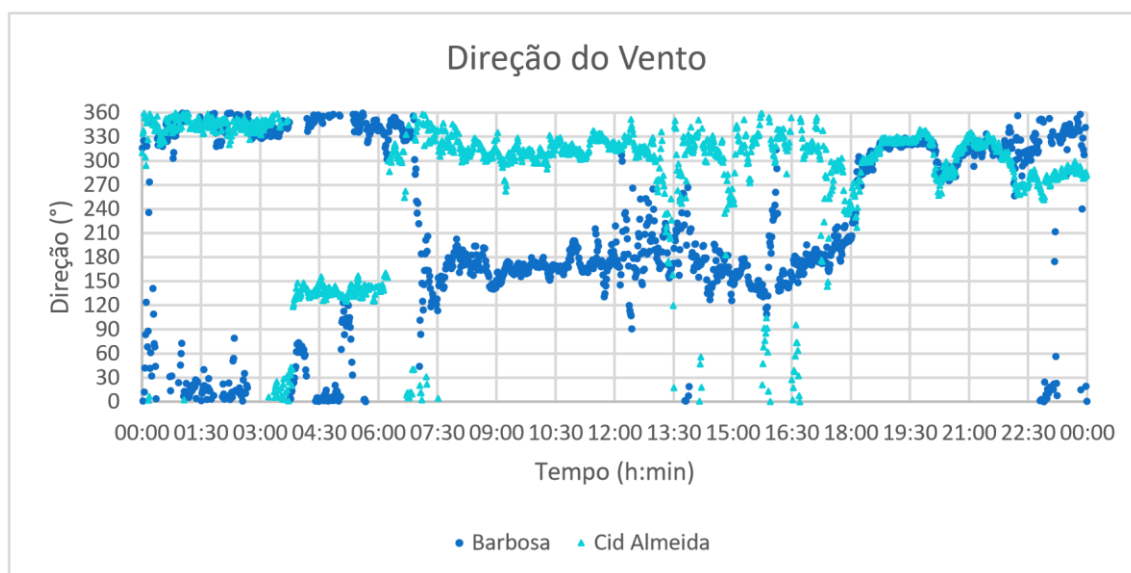


Gráfico 0.10 - Direção do Vento observado nas estações, no dia 22 de julho de 2014.

Quanto à direção, pode ver-se pelo Gráfico 4.10 que em Cid Almeida, o vento soprava predominantemente do quadrante norte. Já em Barbosa, entre as 07h e as 18h, o vento soprava do quadrante sul e dada a localização desta estação (margem norte da albufera), o vento soprava do lago para terra, podendo ser interpretado como sinal de brisa de lago. A partir das 18h, como referido anteriormente, por influência da brisa marítima, ambas as estações reportavam vento de noroeste.

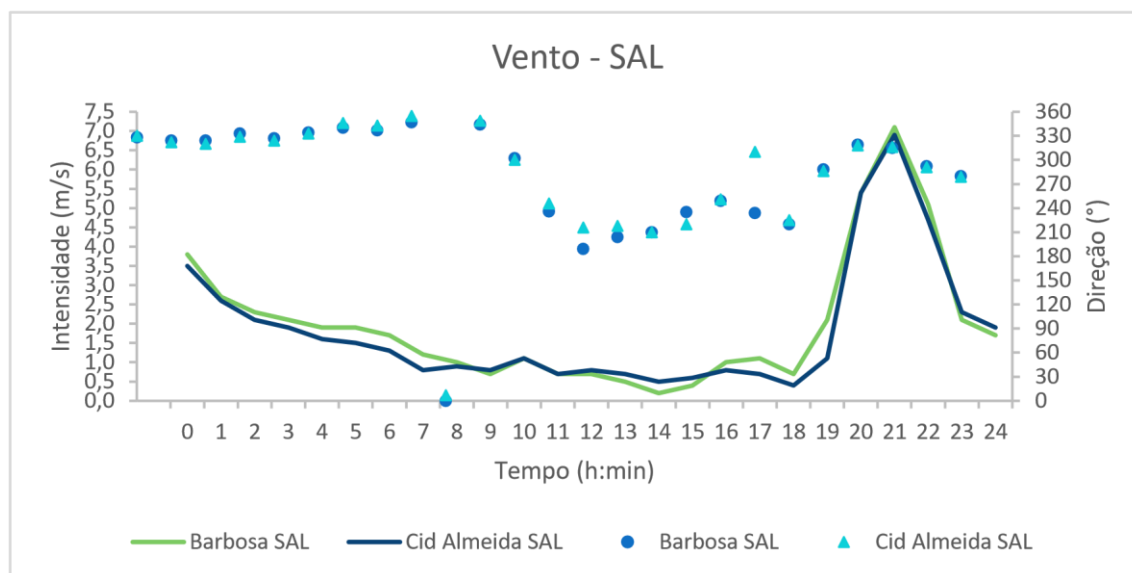


Gráfico 0.11 - Vento (direção e intensidade) resultante da simulação do modelo AROME CY38SAL (sem Alqueva), para dia 22 de julho 2014.

Pelo Gráfico 4.11, referente ao modelo AROME CY38SAL, não se verificam diferenças significativas entre Barbosa e Cid Almeida, tanto em termos de direção como de intensidade do vento. Esta situação pode dever-se à curta distância entre os dois pontos correspondentes às estações e ao facto de ambos os pontos do modelo incluírem frações de terra e frações de lago, representando um vento médio numa área de 2.5x2.5 km², não distinguindo variações de vento que ocorrem a uma escala inferior.

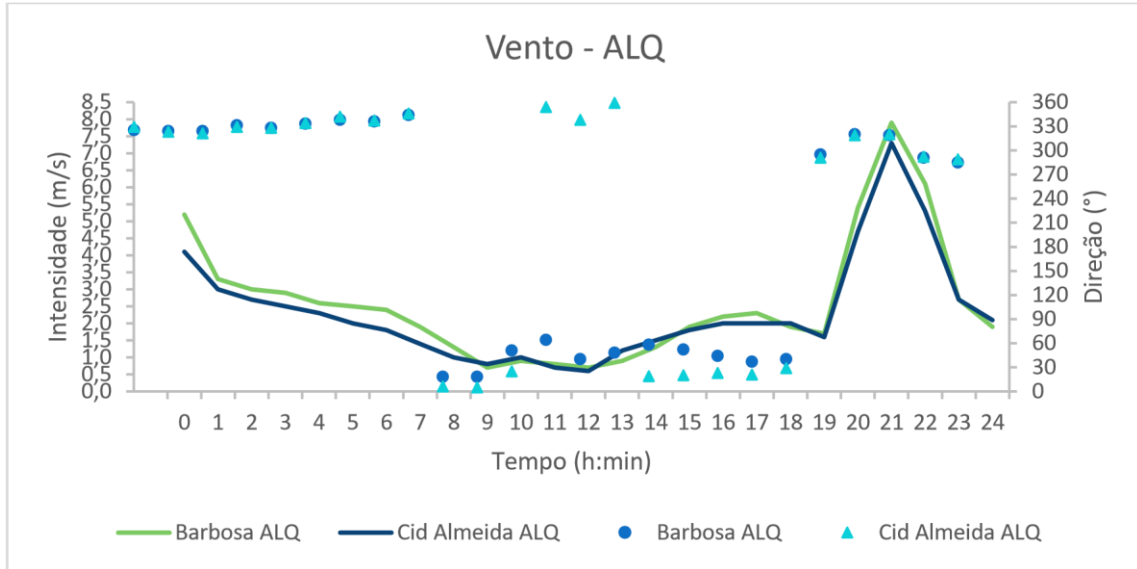


Gráfico 0.12 - Vento (direção e intensidade) resultante da simulação do modelo AROME CY38ALQ (Alqueva), para dia 22 de julho 2014.

Tal como se viu no Gráfico 4.11, também o modelo AROME CY38ALQ apresenta poucas diferenças entre as duas estações, como se pode ver pelo Gráfico 4.12.

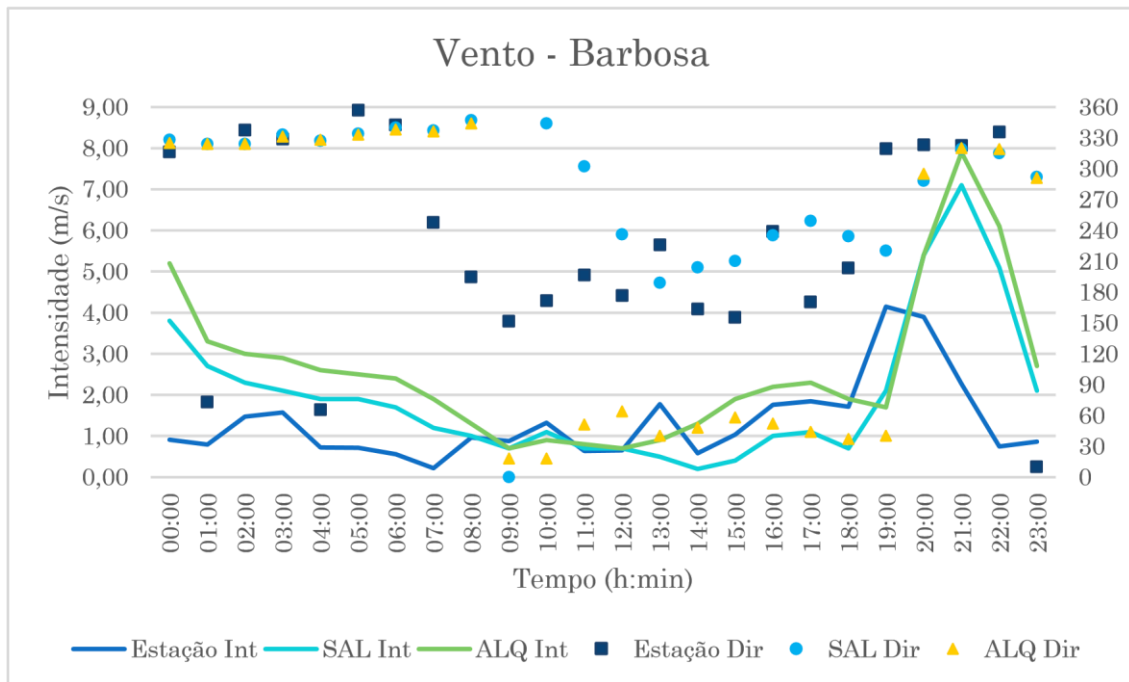


Gráfico 0.13 - Vento (direção e intensidade) em Barbosa (observado e simulado), no dia 22 de julho 2014.

No Gráfico 4.13 são comparados os dados das observações com os resultados das simulações do modelo (com e sem Alqueva) para a estação de Barbosa. De forma a poder comparar as observações (minuto a minuto) com os resultados dos modelos (hora a hora), foram consideradas

apenas as observações horárias nesta análise. É de notar que ambos os modelos sobrestimaram a intensidade do vento, em especial a partir das 20h, dando a chegada da brisa marítima um pouco mais tarde do que na realidade ocorreu. Quanto à direção, no modelo CY38SAL o vento sopra do quadrante sul durante a tarde, à semelhança do que se verificou nas observações, e no modelo CY38ALQ o vento sopra de nordeste nesse mesmo período, chegando mesmo a soprar de leste. Este vento de leste pode ser uma indicação de brisa, pois ainda que não corresponda aos dados observados na estação, há uma contrariação do vento sinóptico, passando a soprar do lago para a terra.

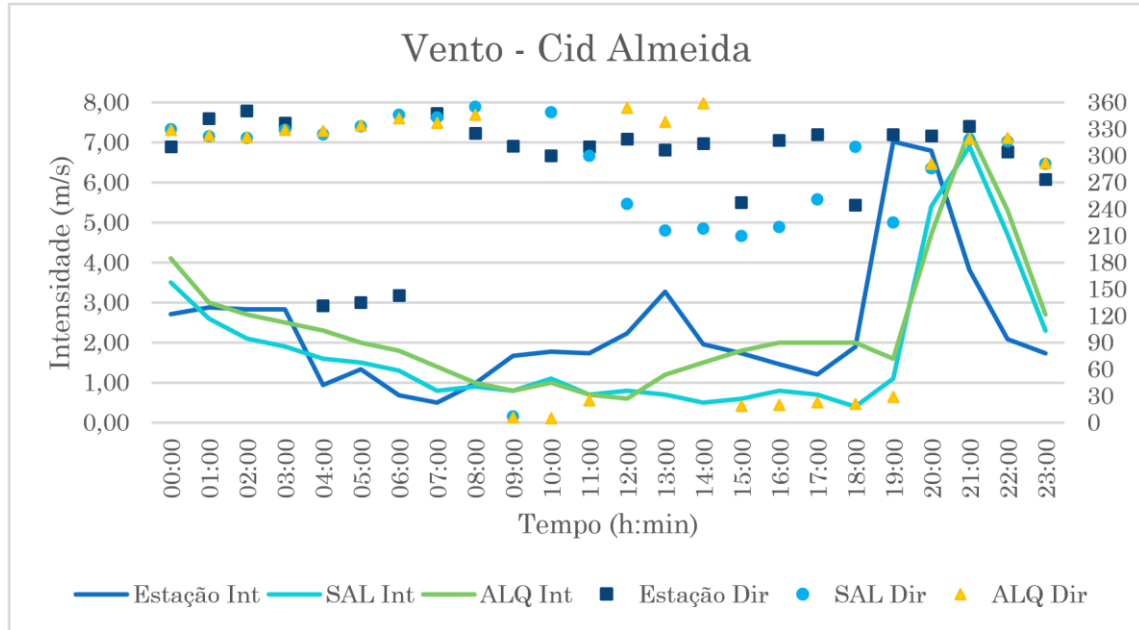


Gráfico 0.14 - Vento (direção e intensidade) em Cid Almeida (observado e simulado), no dia 22 de julho 2014.

Relativamente a Cid Almeida, no Gráfico 4.14 estão reunidos os dados das observações e das simulações do modelo (com e sem Alqueva). Tal como foi feito para Barbosa, também aqui se consideraram apenas as observações horárias das observações. Como se pode observar pela análise do gráfico, a intensidade do vento foi subestimada, em especial pelo modelo sem Alqueva (CY38SAL), e durante a tarde. Tal como aconteceu em Barbosa, tanto o modelo CY38SAL como CY38ALQ davam uma intensificação do vento apenas a partir das 19h, tendo esta efetivamente ocorrido logo a partir das 18h. Quanto à direção do vento, tal como ocorreu para Barbosa, no modelo sem Alqueva (CY38SAL) o vento sopra do quadrante sul durante a tarde, enquanto no modelo com Alqueva (CY38ALQ), para o mesmo o período, o vento sopra de nordeste, tendo na realidade soprado de noroeste (observações) durante esse período.

4.2.2 – Brisa de Terra

Ainda que a brisa de lago tenha sido detetada e identificada, durante a tarde do dia 22 de julho, nas observações da campanha ALEX2014 e no modelo com a fisiografia da albufeira de Alqueva implementada (CY38ALQ), não foi detetado qualquer sinal de brisa de terra nessas observações, nem no modelo AROME CY38ALQ. Este facto pode dever-se ao menor contraste térmico que se faz

sentir entre a terra e o lago durante a noite, como se pode ver nas cartas das diferenças das figuras seguintes, referentes à temperatura aos 2 m e à temperatura à superfície.

a) Temperatura aos 2 metros

Como se viu, durante o dia a T2M sobre a albufeira é menor no modelo com a fisiografia implementada (CY38ALQ). Durante a noite, apesar das diferenças serem menos significativas, a situação inverte-se sendo a temperatura sobre a albufeira ligeiramente mais elevada. A Figura 4.10 representa essa situação, onde se pode ver um aumento de apenas cerca de 3°C, em relação ao modelo sem a fisiografia (CY38SAL).

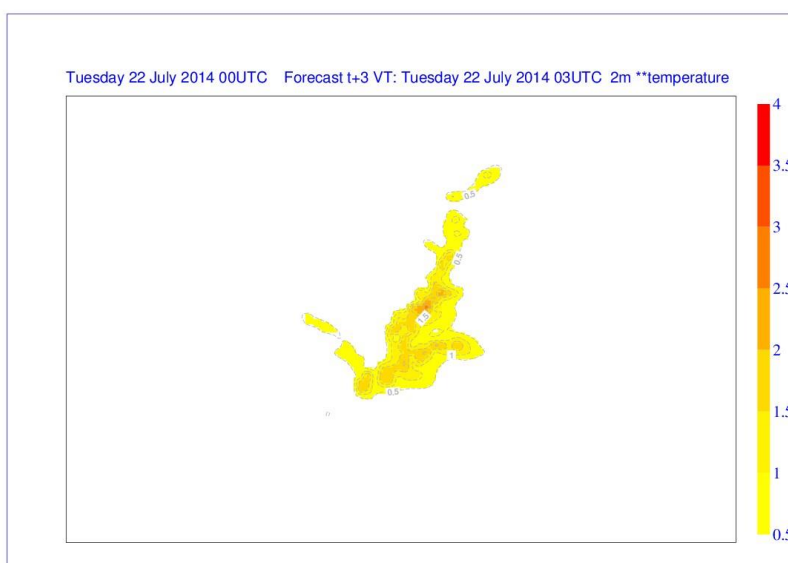


Figura 0.10 - Carta das diferenças para a temperatura (°C) aos 2 m, válida para dia 22 de julho às 03h.

b) Temperatura à superfície

Relativamente à temperatura à superfície, durante a noite apresenta diferenças consideráveis, ainda que inferiores às que ocorrem durante a tarde. Assim, no exemplo da Figura 4.11, a temperatura à superfície é cerca de 14°C mais elevada que no modelo sem a fisiografia (CY38SAL).

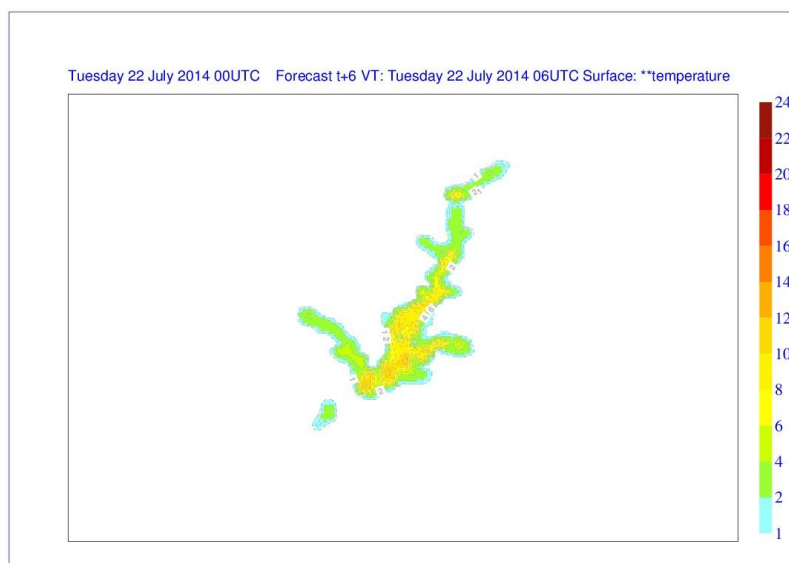


Figura 0.11 - Carta das diferenças para a temperatura (°C) à superfície, válida para dia 22 de julho às 06h.

4.2.3 – Nebulosidade

Durante o período considerado, a nebulosidade surgiu apenas durante a noite de 24 de julho, na região em estudo. Esta nebulosidade, com a base abaixo dos 2000 m (nebulosidade baixa), foi advetada para o local.

Neste caso de estudo, a diferença entre as versões do modelo CY38ALQ e CY38SAL é menos acentuada em corridas mais próximas do evento, à semelhança do ocorrido no caso da brisa de lago. Assim, apresentam-se aqui as cartas mais relevantes referentes à corrida das 12h do dia 22 de julho, e as restantes apresentam-se no ponto 1 do Anexo III.

Para melhor perceber esta situação foram ainda analisados os tefigramas baseados nas sondagens e os tefigramas previstos por ambas as versões do modelo.

a) Nebulosidade baixa

Na situação em que se deu a ocorrência de nebulosidade baixa na região em estudo, a existência da fisiografia da albufeira no modelo contribuiu para a dissipação e/ou atenuação da nebulosidade, contrariamente ao que seria de esperar. À partida, a existência de uma grande massa de água e, consequentemente, mais humidade, deveria potenciar a formação de nebulosidade. No entanto, se esta nebulosidade for advetada, como no caso em estudo, a sua passagem sobre uma superfície menos fria, como no caso da albufeira durante a noite e madrugada, contribui para a sua dissipação. Caso esta situação tivesse ocorrido durante o dia, muito possivelmente ter-se-ia dado o oposto, pois a temperatura sobre a albufeira estaria menos quente, potenciando a formação de nebulosidade.

A dissipação que ocorre no modelo com a fisiografia (CY38ALQ) é mais evidente na carta das 06h do dia 24, como se pode ver pela Figura 4.12 e pela carta das diferenças na Figura 4.13, tendo em atenção que os tons mais claros correspondem a menor nebulosidade.

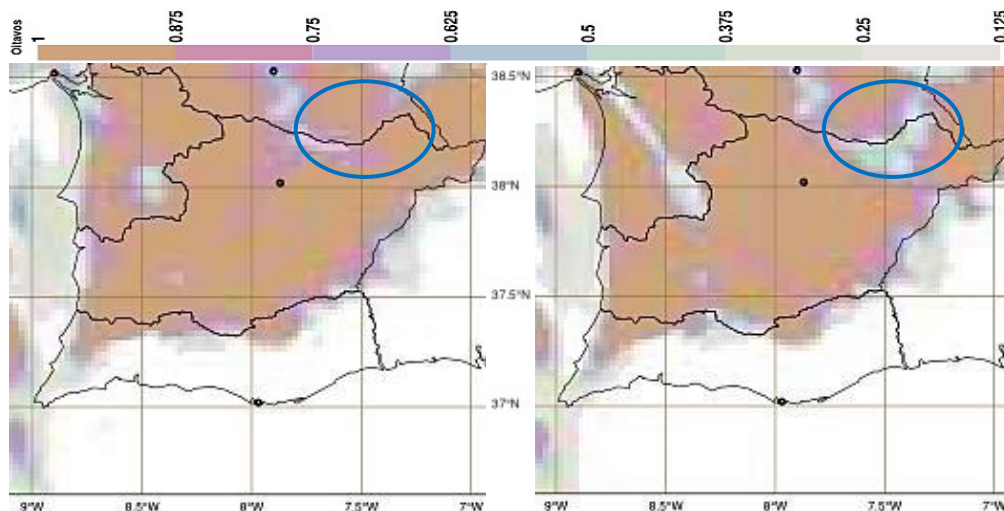


Figura 0.12 - Carta de nebulosidade baixa, run das 12h de dia 22 julho, h+42, válida para dia 24 julho às 06h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva; À direita: com a fisiografia do Alqueva

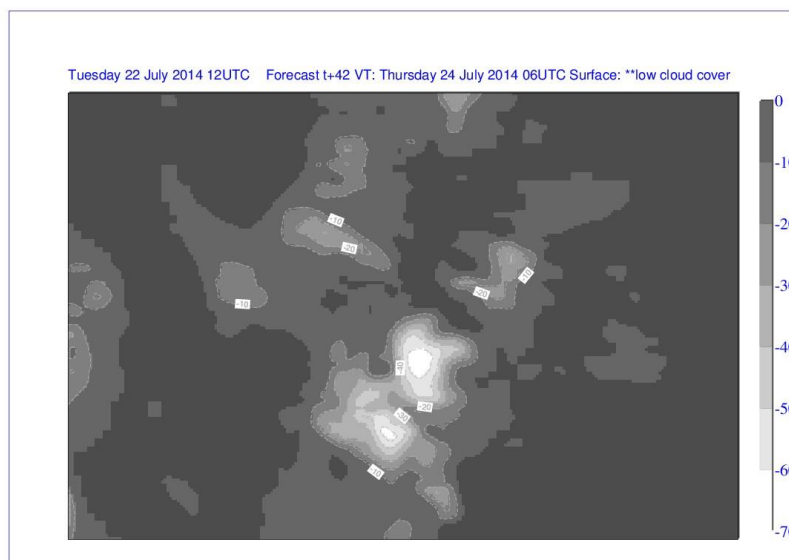


Figura 0.13 - Carta das diferenças entre o modelo com a fisiografia da albufeira e o modelo sem a fisiografia, válida para dia 24 de julho às 06h.

É ainda de salientar que, tal como referido anteriormente no caso da brisa de lago, a HR2M apresenta valores superiores no modelo com a fisiografia implementada (CY38ALQ) durante o dia (como se viu na Figura 4.9), ainda que durante a noite essa diferença não seja tão significativa, como se pode ver na Figura 4.14. Nesta figura, referente ao período em ocorreu nebulosidade, pode ver-se que a diferença de HR2M em relação ao modelo sem a fisiografia (CY38SAL) é da ordem dos 10%. Isto indica que o aumento da temperatura durante a noite sobre a albufeira, com o consequente aumento da humidade específica de saturação, se sobrepõe ao efeito do aumento da evaporação, resultando numa diminuição da nebulosidade.



Figura 0.14 - Carta das diferenças para a Humidade Relativa, válida para dia 24 de julho às 06h.

b) Nebulosidade Total

A nebulosidade total, como seria de esperar reflete o que acontece com a nebulosidade baixa, havendo dissipação da nebulosidade no modelo com a fisiografia da albufeira (CY38ALQ), como se pode ver na Figura 4.15.

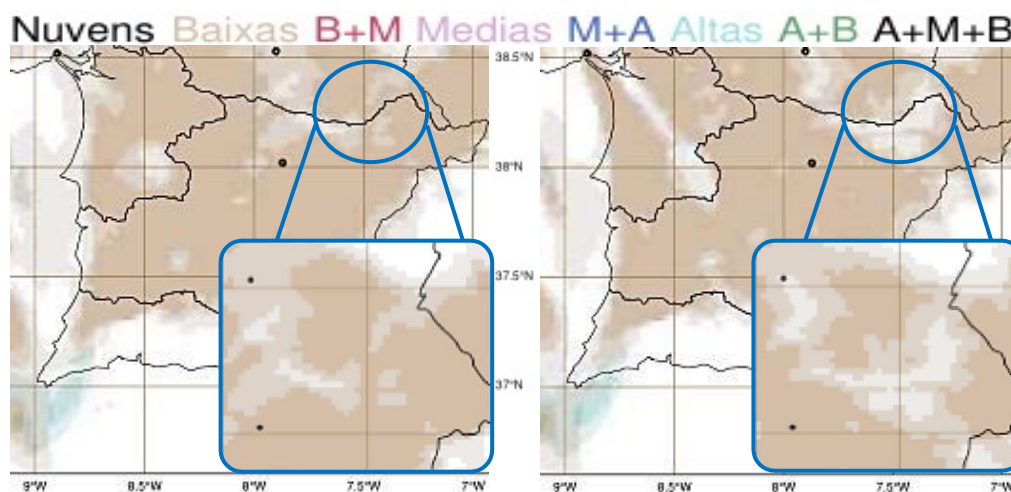


Figura 0.15 - Carta de nebulosidade total, run das 12h de dia 22 julho, h+42, válida para dia 24 julho às 06h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva; À direita: com a fisiografia do Alqueva

c) Perfil vertical

O perfil vertical com base nas observações e nas previsões do modelo foi traçado recorrendo ao tefigrama. No que diz respeito à nebulosidade, como seria de esperar, os tefigramas observados refletem o aumento de nebulosidade que ocorreu a partir das 00h do dia 24 de julho, com um máximo às 06h, e começando a dissipar às 09h. De seguida, apresenta-se o tefigrama baseado na sondagem realizada às 06h do dia 24, sendo os restantes apresentados no ponto 2 do Anexo III.

Estas sondagens foram realizadas, como referido no capítulo 3, secção 3.1.2, num local em terra junto à albufeira.

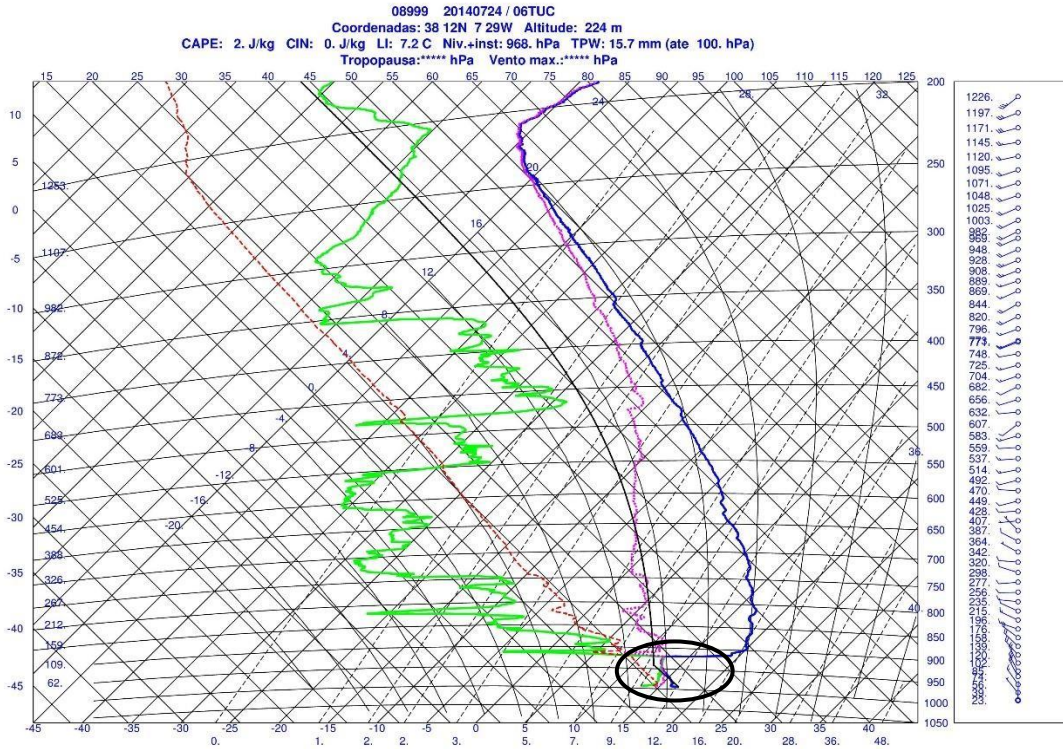


Figura 0.16 – Tefigrama observado às 06h de dia 24 julho

Pela análise da Figura 4.16 não há dúvidas da existência de uma camada de nuvens entre os 950 e os 925 hPa, sensivelmente. Aos 950 hPa a curva da temperatura do ponto de orvalho (a verde) e a curva de estado (a azul) estão coladas, indicando uma saturação entre esse nível e os 925 hPa.

Relativamente aos tefigramas previstos pelo modelo, estes dão indicação de uma menor saturação, ainda assim, refletem o aumento de nebulosidade com um máximo às 06h, tal como representado pelos tefigramas observados.

De seguida, apresentam-se os tefigramas do modelo com e sem a fisiografia do Alqueva válidos para as 06h, sendo os restantes apresentados no Anexo III. Estes tefigramas foram construídos tendo em conta as coordenadas do local onde foram realizadas as sondagens.

Tal como se verificou na análise das cartas de nebulosidade, é de notar uma diferença entre os tefigramas da Figura 4.17 e da Figura 4.18, havendo uma maior saturação no tefigrama do modelo sem a fisiografia implementada (Figura 4.18). Esta observação suporta a teoria de que a albufeira, neste caso, contribui para a dissipação da nebulosidade.

De referir que, para a elaboração destes tefigramas, foi utilizado o *run* das 12h de dia 22 julho, sendo este, como se tinha visto, o que apresenta maiores discrepâncias entre um modelo e o outro.

Análise e Discussão de Resultados

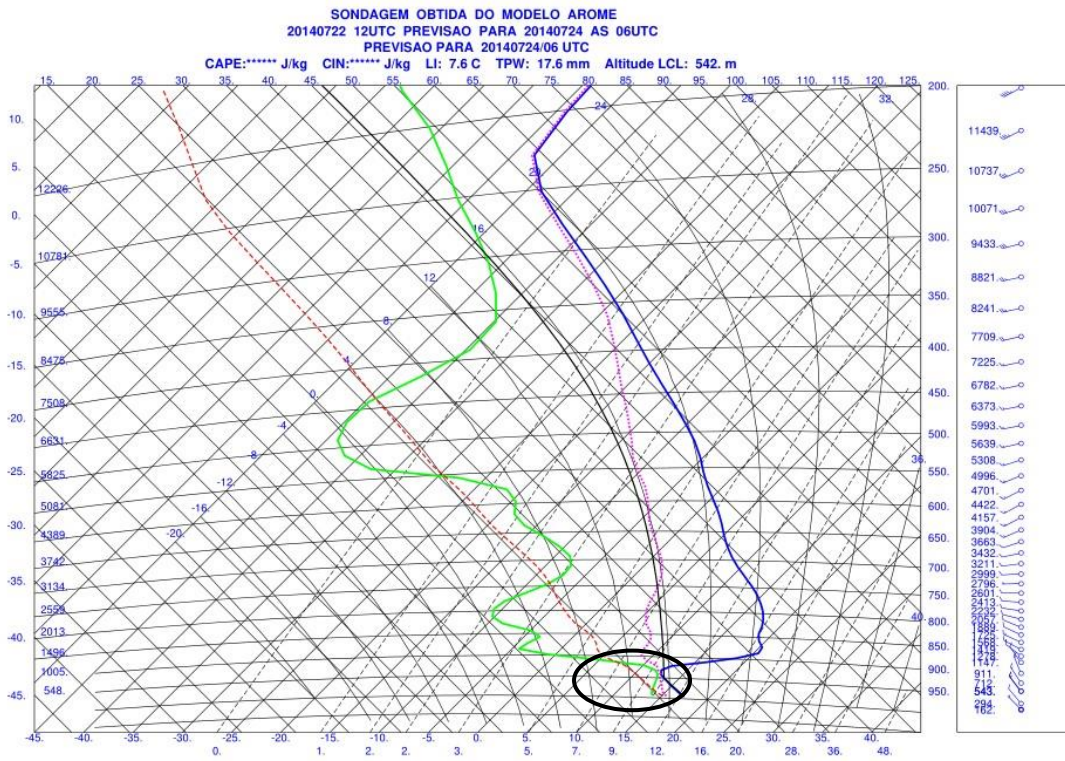


Figura 0.17 - Tefigrama válido para as 06h de dia 24 julho (com Alqueva - CY38ALQ)

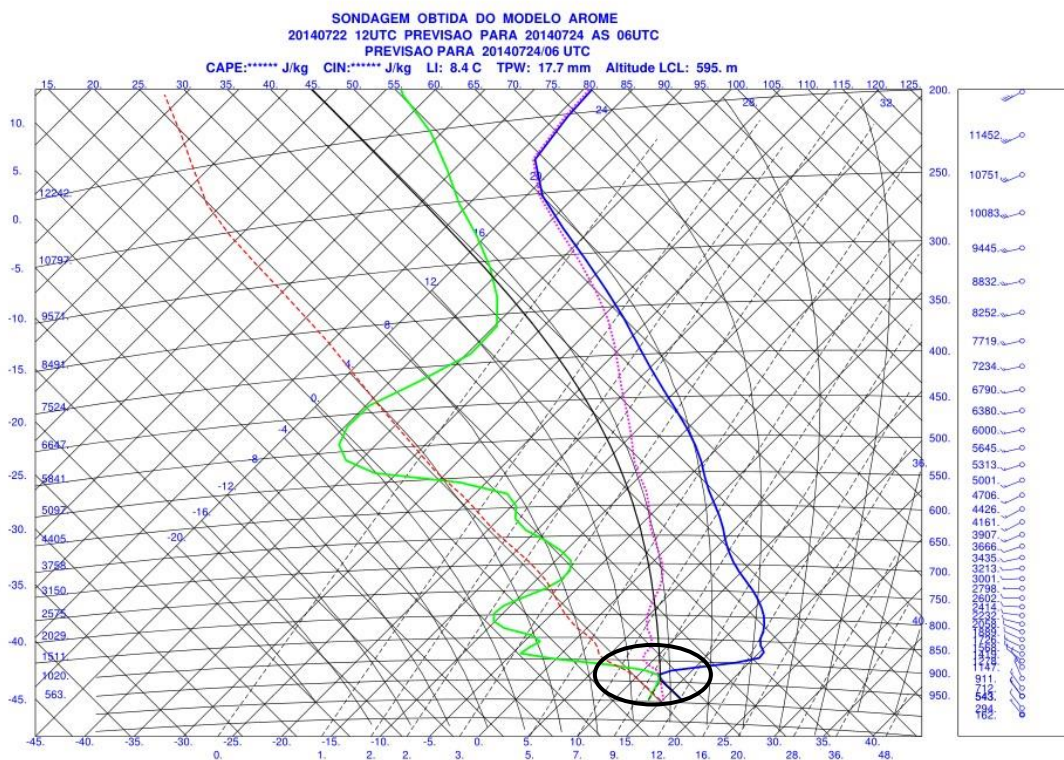


Figura 0.18 - Tefigrama válido para as 06h de dia 24 julho (sem Alqueva - CY38SAL)

Pela análise das duas figuras anteriores pode ver-se que, na Figura 4.18 a curva da temperatura do ponto de orvalho (a verde) e a curva de estado (a azul) estão juntas, sensivelmente aos 925 hPa, o que não se verifica na Figura 4.17, em que as curvas não se chegam a tocar. Comparando a Figura 4.18 com a Figura 4.16, nota-se que a espessura da camada nebulosa prevista é menor do que a que foi observada, uma vez que a extensão vertical em que as duas curvas se colam é inferior no tefigrama previsto pelo modelo.

Conclusões

O presente trabalho contribuiu para verificar o impacto da introdução da fisiografia da albufeira de Alqueva no modelo AROME. Para tal, foram comparadas as previsões do modelo para a região da albufeira (ver mapa da Figura 3.3) com e sem a fisiografia implementada, tomando como referência as observações da rede de estações do IPMA e da campanha ALEX2014, durante o período de 22 a 24 de julho de 2014. Antes desta verificação, foi ainda realizada uma avaliação de desempenho do modelo, considerando o mesmo período da campanha e a mesma área, tendo-se comparado as versões do modelo em operações e em pré-operações, à data da escrita deste trabalho. Para o efeito, foram utilizadas as medidas estatísticas Bias e RMSE.

Começando pela avaliação de desempenho do modelo, os resultados obtidos não foram totalmente os esperados. Por um lado, o modelo AROME CY38L60 (aumento do número de níveis verticais para 60), de uma forma geral, apresentou melhores resultados que as versões anteriores (AROME_OPER e AROME CY38L46), o que era esperado dada a sua maior resolução vertical. Por outro lado, o AROME CY38L60 também apresentou resultados melhores que as versões CY38SAL e CY38ALQ, ambas com a versão mais recente da ECOCLIMAP_II, e os mesmos 60 níveis verticais.

Confrontando as previsões dos modelos com e sem a fisiografia da albufeira de Alqueva (CY38ALQ e CY38SAL, respetivamente) com os dados registados nas estações do IPMA, verificou-se que as diferenças entre os modelos não foram significativas. Tendo em conta que as observações consideradas foram as correspondentes às estações do IPMA, este resultado indicia que à distância a que essas estações se encontram da albufeira, a introdução de Alqueva não exerce uma influência significativa. Por outro lado, este resultado mostra que a introdução de Alqueva não vai introduzir nenhum efeito indesejável nas previsões operacionais.

Numa análise mais local e detalhada do impacto da implementação da fisiografia da albufeira de Alqueva no modelo, viu-se que, de uma forma geral, todos os parâmetros meteorológicos analisados sofreram alterações locais, tendo-se identificado dois efeitos.

O primeiro efeito refere-se ao vento, tendo sido detetado sinal de brisa no modelo com a fisiografia (CY38ALQ), entre as 12 e as 18h de dia 22 de julho, um dia de céu limpo e em que o vento de escala sinóptica (de noroeste) era muito fraco na região. Verificou-se que, na região noroeste da albufeira, o vento soprava de quadrante sul, portanto, do lago para terra, sugerindo uma brisa de lago. Na região sudeste da albufeira, o vento também soprava do lago para terra, neste caso de noroeste. Esta situação foi confirmada pelas observações realizadas nesse dia, na campanha ALEX2014, como se mostrou através da apresentação dos gráficos das observações. Ainda que o sinal de brisa tenha sido bem identificado nas cartas meteorológicas (área mais abrangente), ao pormenor, selecionando os pontos correspondentes às duas estações da campanha, o sinal de brisa não correspondeu exatamente ao que foi observado nas estações, como se viu na apresentação dos gráficos referentes aos modelos AROME CY38SAL e AROME CY38ALQ. No entanto, apesar dos resultados não terem correspondido exatamente às observações, analisando as duas versões do modelo (CY38SAL e CY38ALQ) pode concluir-se que a introdução da fisiografia de Alqueva teve impacto no modelo, tendo sido observado uma mudança considerável na direção do vento em Barbosa. No ponto correspondente a esta estação, o vento que soprava do quadrante sul no

modelo CY38SAL, passou a soprar do quadrante leste no modelo CY38ALQ, portanto do lago para a terra, dando indicação de brisa de lago.

É de referir que, a distância entre as duas estações consideradas é inferior a 2 km e que a resolução horizontal do modelo é de 2,5x2,5 km², sendo expectável que o modelo não representasse bem a brisa. Além disso, deve ainda ter-se em conta que o ponto do modelo correspondente à estação Barbosa se encontra muito próximo do lago, contendo frações de terra e lago.

Para além do vento, outros parâmetros meteorológicos sofreram alterações com a implementação da fisiografia da albufeira, nomeadamente, a humidade relativa aos 2 m, que aumentou significativamente sobre a albufeira, e a temperatura (aos 2 m e à superfície), que durante o dia não foi tão elevada, como se viu no caso do dia da brisa de lago. Durante o período em estudo, o dia 22 foi o que apresentou um maior contraste de temperatura à superfície entre a terra e o lago, no modelo AROME CY38ALQ. Nos restantes dias, não foi detetado sinal de brisa, pois o vento foi superior a 10 nós, e o contraste de temperatura terra-lago não foi tão acentuado. Além de tudo isto, verificou-se ainda que o sinal de brisa diferiu a cada *run* do modelo, tendo sido mais evidente às 18h, no *run* das 00h do dia 21, para uma previsão de h+42, portanto, mais distante do evento. De salientar, também, que durante a noite não foi detetado qualquer sinal de brisa de terra nas observações, nem no modelo AROME CY38ALQ, dado o menor contraste térmico terra-lago existente. Durante a noite, a temperatura sobre a albufeira é ligeiramente mais elevada no modelo com Alqueva (CY38ALQ), contrariamente ao que ocorre durante o dia. Quanto à humidade relativa, também esta apresenta valores ligeiramente mais elevados durante a noite, no modelo com Alqueva, no entanto, muito inferiores aos que se verificaram durante o dia.

O segundo efeito é relativo à nebulosidade baixa que ocorreu na noite e madrugada de 24 de julho, como se confirmou pela análise dos tefigramas baseados nas sondagens desse dia. Nesta situação, foi detetada uma diferença entre os dois modelos (CY38SAL e CY38ALQ) na região da albufeira, em que o modelo sem Alqueva (CY38SAL) previa mais nebulosidade que o modelo com Alqueva (CY38ALQ) para a mesma hora, como se verificou pela análise dos tefigramas previstos por ambos os modelos. O modelo com a fisiografia (CY38ALQ) previa uma dissipação e/ou atenuação da nebulosidade sobre a albufeira. Tendo em conta a análise do tefograma baseado nas sondagens, o modelo sem a fisiografia (CY38SAL) aproximou-se mais da realidade, pelo menos no ponto correspondente ao da sondagem. Não havendo outras sondagens disponíveis para outros pontos da região da albufeira, não é possível concluir se a albufeira contribuiu ou não para a dissipação da nebulosidade, como previsto pelo modelo AROME CY38ALQ.

Além destes dois efeitos, tendo em conta a análise de outros parâmetros meteorológicos entre o período de 22 a 24 de julho de 2014, pode concluir-se que mesmo durante a noite, a diferença entre os modelos AROME CY38SAL e CY38ALQ é evidente, no que diz respeito a temperatura e humidade relativa. Quanto à temperatura (aos 2 m e à superfície), esta apresenta valores mais baixos durante o dia e um pouco mais elevados durante a noite, no modelo AROME CY38ALQ, como se viu analisando as cartas das diferenças. Já a humidade relativa prevista pelo modelo AROME CY38ALQ é bastante superior em relação ao modelo AROME CY38SAL, em especial durante o dia. Esta situação explica-se, não só pelo aumento de evaporação devido à existência da albufeira, mas também devido a uma menor temperatura do ar durante o dia (no modelo CY38ALQ) sobre a albufeira. À noite, mesmo com o aumento da temperatura, a humidade relativa é mais elevada (no

modelo CY38ALQ), sendo, neste caso, mais evidente que se deve a uma maior quantidade de vapor de água existente no local.

Em suma, pode concluir-se que o AROME CY38L60 é superior às versões anteriores do modelo e, apesar dos resultados não terem sido os esperados nos modelos com a versão ECOCLIMAP_II_v2.3, a implementação da fisiografia é uma mais-valia, como foi possível verificar nos casos de estudo apresentados e pela análise dos vários parâmetros meteorológicos. De notar que a avaliação de desempenho do modelo, bem como a análise do impacto da introdução da albufeira de Alqueva, foram realizadas apenas para a região da albufeira e área circundante e para um período muito curto de tempo, não sendo possível tirar conclusões generalizáveis.

No futuro, é importante que seja realizado um estudo semelhante para um período correspondente ao inverno, com o intuito de avaliar o modelo, com e sem a fisiografia, quanto à previsão, por exemplo, de nevoeiro e precipitação. Seria também interessante fazer a verificação do modelo numa situação de instabilidade, de forma a verificar se o lago potencia o desenvolvimento vertical da nebulosidade. Além do referido, será necessário melhorar a representação da superfície, atualizando a ECOCLIMAP de forma a contemplar as alterações no uso dos solos decorrentes da introdução da albufeira.

Para retirar conclusões mais completas, para além dos estudos sugeridos, é necessário realizar a verificação dos resultados dos modelos, sempre comparando com as observações, para um período de tempo mais largo e para uma maior área espacial.

Página intencionalmente em branco

Bibliografia

- Arakawa, A. & Lamb, V.R. (1977). "Computational design of the basic dynamical processes of the UCLA general circulation model". *Methods of Computational Physics*. 17. New York: Academic Press. pp. 173–265
- Balsamo, G., Salgado, R., Dutra, E., Boussetta, S., Stockdale, T. & Potes, M. (2012). On the contribution of lakes in predicting near-surface temperature in a global weather forecasting model. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*. 64, 15829, DOI: 10.3402/tellusa.v64i0.15829
- Bechtold, P., Cuijpers, J., Mascart, P. & Trouilhet, P. (1995). Modelling of trade-wind cumuli with a low-order turbulence model—toward a unified description of Cu and Sc clouds in meteorological models. *J. Atmos. Sci.*, 52, 455–463.
- Belamari, S. & Pirani, A. (2007). Validation of the optimal heat and momentum fluxes using the ORCA2-LIM global ocean-ice model. Marine environment and security for the European area. Integrated Project (MERSEA IP), Deliverable D4.1.3, 88 pp.
- Bengtsson, L., Andrae, U., Aspelien, T., Batrak, Y., Calvo, J., Rooy, W., Gleeson, E., et al. (2017). "The HARMONIE-AROME Model Configuration in the ALADINHIRLAM NWP System." *Monthly Weather Review* (February 9, 2017): MWR–D–16–0417.1. doi:10.1175/MWR-D-16-0417.1.
- Betts, R. A. (2000). "Offset of the potential carbon sink from boreal forestation by decreases in surface albedo." *Nature*., 408, 187–190.
- BJERKNES, V. (1999). "Das Problem der Wettervorhersage, Betrachtet vom Standpunkte der Mechanik und der Physik", in *Meteor. Zeit.*, 21, 1904, pp. 1-7 (Translation by Y. Mintz: "The Problem of Weather Forecasting as a Problem in Mechanics and Physics". Los Angeles, 1954. Reprinted in M. A. Shapiro and S. Grønås. *The Life Cycles of Extratropical Cyclones*. Boston, American Meteorological Society, 1999, pp. 1-4).
- Boniface, K., Ducrocq, V., Jaubert, G., Yan, X., Brousseau, P., Masson, F., Chéry, J. & Doerflinger, E. (2009). Impact of highresolution data assimilation of GPS zenith delay assimilation on Mediterranean heavy rainfall forecasting. *Ann. Geophys.*, 27, 2739–2753.
- Bougeault, P. (1982). Cloud-ensemble relations based on the gamma probability distribution for the higher-order models of the planetary boundary layer. *J. Atmos. Sci.*, 39, 2691–2700.
- Bouteloup, Y., Seity, Y. & Bazile, E. (2011): Description of the PDF based sedimentation scheme used in operation in all Météo-France NWP models. *Tellus*, in press.
- Brankovic, C., Palmer, T. & Ferranti, L. (1994). "Predictability of Seasonal Atmospheric Variations", in *Journal of Climate*, 7, 1994, pp. 217-37.
- Brankovic, C. et al. (1997). "Atmospheric Seasonal Predictability and Estimates of Ensemble Size", in *Monthly Weather Review*, 125, 1997, pp. 859-74.
- Brousseau, P., & Coauthors (2008). A prototype convective-scale data assimilation system for operation: The AROME-RUC. HIRLAM Tech. Rep. 68, 23–30.

- Bubnová, R., Hello, G., Bénard, P., & Geleyn, J.-F. (1995). Integration of the fully elastic equations cast in the hydrostatic pressure terrain-following in the framework of the ARPEGE/ALADIN NWP system. *Mon. Weather Rev.* 123, 515–535.
- Chase, T.N., Pielke, R.A., Kittel, T.G.F., Nemani, R. & Running, S.W. (1996). The sensitivity of a general circulation model to global changes in leaf area index. *J. Geophys. Res.*, 101, 7393-7408.
- Chase, T.N., Pielke, R.A., Kittel, T.G.F., Nemani, R.R. & Running, S.W. (2000): Simulated impacts of historical land cover changes on global climate. *Climate Dynamics*, 16, 93-105
- Courtier, P., Thépaut, J.-N. & Hollingsworth, A. (1994). A strategy for operational implementation of 4D-VAR using an incremental approach. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 120, 1367–1387.
- Danielson, J., & Gesch, D. (2011). Global multi-resolution terrain elevation data 2010 (GMTED2010). Tech. Rep. Open-File Report 20111073, U.S. Geological Survey. 26 p.
- Dutra, E., Stepanenko, V. M., Balsamo, G., Viterbo, P., Miranda, P. M. & co-authors. (2010): An offline study of the impact of lakes on the performance of the ECMWF surface scheme. *Boreal Env. Res.* 15, 100-112.
- Ebert, E., & Curry, J. A. (1992). A parameterization of ice cloud optical properties for climate models. *J. Geophys. Res.*, 97, 3831–3835.
- FAO (2006). World reference base for soil resources 2006, A framework for international classification, correlation and communication. Tech. Rep. World soil resources report No. 103, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Faroux, S., Kaptué Tchuenté, A. T., Roujean, J.-L., Masson, V., Martin, E. & Le Moigne, P. (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. *Geoscientific Model Development*, 6 (2), 563–582, doi:10.5194/gmd-6-563-2013, URL <http://www.geosci-model-dev.net/6/563/2013/>.
- Fischer, C., Montmerle, T., Berre, L., Auger, L. & Stefanescu, S.E. (2005). An overview of the variational assimilation in the Aladin/FranceNWP system. *Q. J. Roy. Meteor. Soc.* 131, 3477–3492.
- Gesh, D., Verdin, K. & Greenlee, S. (1999). New Land Surface Digital Elevation Model Covers the Earth, *EOS Trans. Am. Geophys. Un.*, 80, pp. 69-70.
- Giard, D. & Bazile, E. (2000). Implementation of a new assimilation scheme for soil and surface variables in a global NWP model. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 997–1015.
- Jung, Y., Park, J., Kang B., Song, S. & Kwon B. (2012). Development of Weather Characteristics Analysis System for Dam Construction Area. *Energy Future: The Role of Impact Assessment*. 32nd Annual Meeting of the International Association for Impact Assessment. IAIA12 Conference Proceedings.
- Kain, J. S. & Fritsch, J. M. (1990): A one-dimensional entraining/detraining plume model and its application in convective parameterizations. *J. Atmos. Sci.*, 47, 2784–2802.
- Lafore, J.-P., Stein, J., Asencio, N., Bougeault, P., Ducrocq, V., Duron, J., Fischer, C., Héreil, P., Mascart, P., Masson, V., Pinty, J. P. , Redelsperger, J. L. , Richard, E. & Vilà-Guerau de Arellano J.

- (1998). The Meso-NH atmospheric simulation system. Part I: Adiabatic formulation and control simulations. *Ann. Geophys.*, 16, 90–109.
- Le Moigne, P. (2012). SURFEX scientific documentation. Note de centre du Groupe de Météorologie a Moyenne Echelle, 87, Météo-France, CNRM, Toulouse, France, on-line available at: <http://www.cnrm.meteo.fr/surfex/>
- LYNCH, P. (2008). “The Origins of Computer Weather Prediction and Climate Modeling”, in *Journal of Computational Physics*, 227, 2008, pp. 3.431-44, 2007.
- Martin, G. M., Johnson, D. W. & Spice, A. (1994). The measurement and parameterization of effective radius of droplets in warm stratocumulus. *J. Atmos. Sci.*, 51, 1823–1842.
- Masson, V. (2000): A physically-based scheme for the urban energy budget in atmospheric models. *Bound.-Layer Meteor.*, 94, 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.
- Masson, V., Le Moigne, P., Martin, E., Faroux, S., Alias, A., et al. (2013). The SURFEXv7.2 land and ocean surface platform for coupled or offline simulation of Earth surface variables and fluxes. *Geoscientific Model Development*, European Geosciences Union, 2013, 6, pp.929-960. <10.5194/gmd-6-9292013>. <hal-00968042>
- Miranda, P.M., Abreu, F. e Salgado, R., (1995). “Estudo de Impacte Ambiental do Alqueva” (Relatório final). Relatório Técnico do ICAT
- Mironov, D., Heise, E., Kourzeneva, E., Ritter, B., Schneider, N. & Terzhevik, A. (2010). Implementation of the lake parametrization scheme Flake into the numerical weather prediction model COSMO. *Boreal environment research*, 15, pp. 218-230.
- Mlawer, E. J., Taubman, S. J., Brown, P., Iacono, M. J. & Clough, S. A. (1997). Radiative transfer for inhomogeneous atmospheres: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave. *J. Geophys. Res.*, 102, 16 663–16 682.
- Montmerle, T. & Faccani, C. (2009). Mesoscale assimilation of radial velocities from Doppler radars in a preoperational framework. *Mon. Wea. Rev.*, 137, 1939–1953.
- Morcrette, J.-J. & Fouquart, Y. (1986). The overlapping of cloud layers in shortwave radiation parameterizations. *J. Atmos. Sci.*, 43, 321–328.
- Nachtergaele, F., van Velthuisen, H., Verelst, L. & Wiberg, D. (2012). Harmonized World Soil Database, Version 1.2, FAO, IIASA, ISRIC, ISSCAS, JRC, disponível em: <http://www.iiasa.ac.at/Research/LUC/External-World-soil-database/HTML/> (último acesso: 18 Abril 2017)
- Nascimento, M. (2015). A camada limite planetária na região da barragem do Alqueva, Dissertação de Mestrado em Ciências Geofísicas. Lisboa: Faculdade de Ciências
- Noilhan, J. & Planton, S. (1989). simple parameterization of land surface processes for meteorological models. *Mon. Wea. Rev.*, 117, 536–549.
- Ou, S. C. & Liou, K.-N. (1995). Ice microphysics and climatic temperature feedback. *Atmos. Res.*, 35, 127–138.

- Pielke, R.A. (2001). Influence of the spatial distribution of vegetation and soils on the prediction of cumulus convective rainfall. *Rev. Geophys.*, 39, 151-177.
- Pielke, R.A. & Avissar, R. (1990). Influence of landscape structure on local and regional climate. *Landscape Ecology*, 4, 133-155.
- Policarpo, C. (2014). Simulações numéricas sobre a formação e evolução de nevoeiros na região Alentejo, Dissertação de Mestrado em Ciências da Terra da Atmosfera e do Espaço. Évora: Universidade de Évora, Departamento de Física.
- Policarpo, C., Salgado, R. & Costa, M. J. (2017). Numerical Simulations of Fog Events in Southern Portugal. *Advances in Meteorology*, vol. 2017, Article ID 1276784, 16 pages, doi:10.1155/2017/1276784.
- Potes M., Salgado R., Costa M. J., Morais M., Bortoli D., Kostadinov I. & Mammarella I. (2017). Lake–atmosphere interactions at Alqueva reservoir: a case study in the summer of 2014, *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 69:1, 1272787
- Richardson, Lewis F. (1922). *Weather Prediction by Numerical Process*. Cambridge, Cambridge University Press, 1922. Reprinted by Dover Publications, New York, 1965, with a new Introduction by Sydney Chapman.
- Rontu, L., Wastl, C. & Niemelä, S. (2016). Influence of the Details of Topography on Weather Forecast–Evaluation of HARMONIE Experiments in the Sochi Olympics Domain over the Caucasian Mountains. *Front. EarthSci.*4:13. doi: 10.3389/feart.2016.00013
- Salgado, R. (2006). *Interação Solo - Atmosfera em Clima Semi-Árido*. Dissertação de Dputoramento em Física. Évora: Universidade de Évora, Departamento de Física.
- Salgado, R. & Le Moigne, P. (2010). Coupling of the FLake modelo to the Surfex externalized surfasse model. *Boreal Env. Res.* 15.
- Salgado, R., Potes, M., Albino, A., Apolinário, J., Barbosa, S., Bárias, S., Beliche, P., Bortoli, D., Canhoto, P., Costa, M. J., Fernandes, R.M., Harrison, G., Ilhéu, A., Le Moigne, P., Lima, R., Lopes, F., Lopes, T., Marques, J., Melgão, M., Miranda, P. M., Morais, M., Murteira, M., Nicoll, K., Novais, M. H., Nunes, S., Parrondo, M. C., Penha, A., Pereira, S., Policarpo, C., Prior, V., Rodrigues, C. M., Rosado, J., Sá, A., Serafim, A., Silva, H., Soares, P. M. M., Tlemçani, M. & Zavattieri, A. (2015). Interactions lake-atmosphere: The ALEX 2014 field campaign and numerical simulations. LAKE2015: 4th Workshop on Workshop on “Parameterization of Lakes in Numerical Weather Prediction and Climate Modelling, 07-09 May 2015, Évora, Portugal.
- Seity Y., Brousseau P., Malardel S., Hello G., Bénard P., Bouttier F., Lac C. & Masson V. (2011). *The AROME-France Convective-Scale Operational Model*. *Mon. Wea. Rev.* 139, 976-991. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/2010MWR3425.1>
- Simmons, A. & Burridge, D. M. (1981). An energy and angularmomentum conserving finitedifference scheme and hybrid vertical coordinates. *Mon. Wea. Rev.*, 109, 758–766.
- Soares, P. M. M., Miranda, P.M.A., Siebesma, A. P. & Teixeira, J. (2004). An eddy-diffusivity/massflux parameterization for dry and shallow cumulus convection. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 130, 3055–3079.

Bibliografia

Yan, X., Ducrocq, V., Jaubert, G., Brousseau, P., Poli, P., Champollion, C., Flamant, C. & Boniface, K. (2009). Benefit of GPS zenith delay assimilation on high-resolution quantitative precipitation forecast of the COPS CASES IOP9. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 135, 1788–1800.

INTERNET

http://www.meted.ucar.edu/nwp/model_derivedproducts/, acessado em 12 de novembro 2016.

<https://www.ipma.pt/pt/enciclopedia/otempo/previsao.numerica/index.html>, acessado em 12 de novembro 2016.

<https://www.ipma.pt/pt/educativa/observar.tempo/index.jsp?page=ema.index.xml>, acessado em 19 de abril 2017.

http://www.cm-santiagocacem.pt/wp-content/uploads/MAPA03_Unidades-de-Paisagem.jpg, acessado em 10Fev2017 <https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/> acessado em 09de fevereiro 2017.

<http://www.edia.pt/pt/o-que-e-o-alqueva/o-territorio/103>, acessado em 10 de fevereiro 2017.

<http://salvador-nautico.blogspot.pt/2015/11/alqueva.html> acessado em 10de fevereiro 2017.

<http://www.edia.pt/pt/o-que-e-o-alqueva/o-territorio/103> acessado em 10de fevereiro 2017.

<http://www.alqueva.com.pt/pt/#/regadio/area-em-exploracao/campanha-de-rega/4>, acessado em 10de fevereiro 2017.

<http://www.alqueva.com.pt/pt/#/regadio/area-em-exploracao/mapa-de-evolucao/10>, acessado a 10de fevereiro 2017.

<http://www.alqueva.com.pt/pt/#/regadio/ocupacao-cultural/11>, acessado em 10 de fevereiro 2017.

<http://bejayarrabaldes.blogspot.pt/search?q=alqueva>, acessado em 07 de março 2017.

http://salvador-nautico.blogspot.pt/2015_11_01_archive.html?view=classic, acessado em 07 de março 2017.

<https://www.ipma.pt/pt/enciclopedia/otempo/previsao.numerica/index.html?page=arome.xml>, acessado em 23 de março 2017.

ftp://nas.cge.uevora.pt/alex2014_dados/Meteorology/, acessado em 05 de maio 2017.

Página intencionalmente em branco

ANEXOS

Página intencionalmente em branco

ANEXO I – BRISA DE LAGO

I.1. Sinal de brisa de lago para as várias corridas do modelo

Como se pode ver nas figuras que se seguem referentes ao vento, existe realmente uma perturbação acentuada do vento no entanto, o sinal da brisa não é tão evidente como o que aparece na corrida das 00h de dia 21.

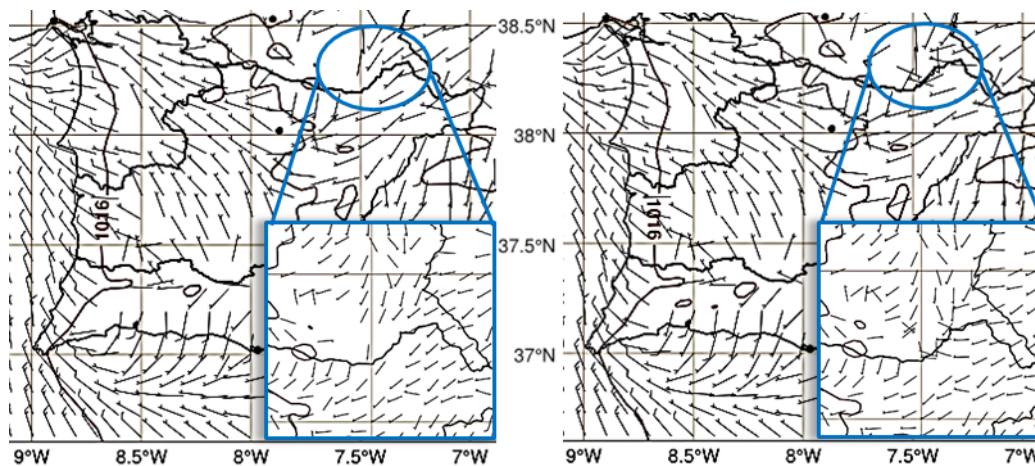


Figura I.1 - Carta de pressão ao nmm e vento aos 10m, run das 12h de dia 21 julho, h+24h, válida para dia 22 julho às 12h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva (CY38SAL); À direita: com a fisiografia do Alqueva (CY38ALQ)

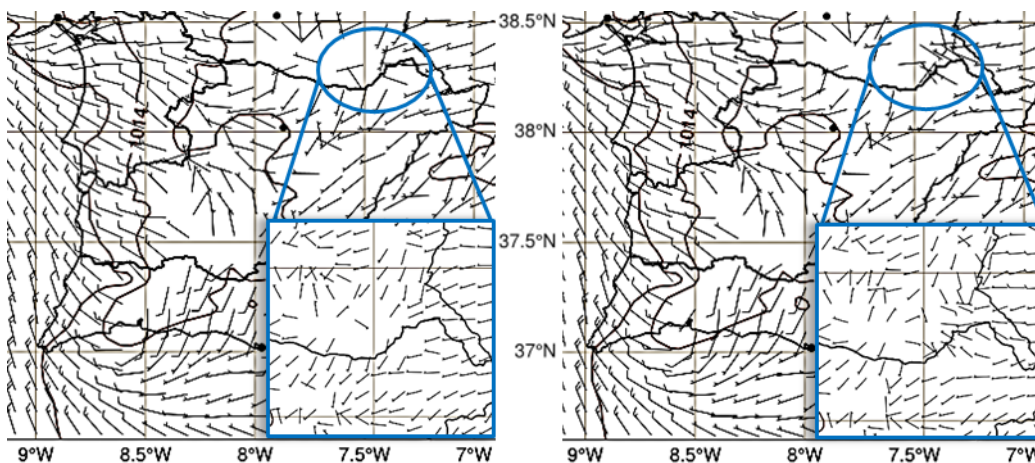


Figura I.2 - Carta de pressão ao nmm e vento aos 10m, run das 12h de dia 21 julho, h+27h, válida para dia 22 julho às 15h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva (CY38SAL); À direita: com a fisiografia do Alqueva (CY38ALQ)

Anexo I

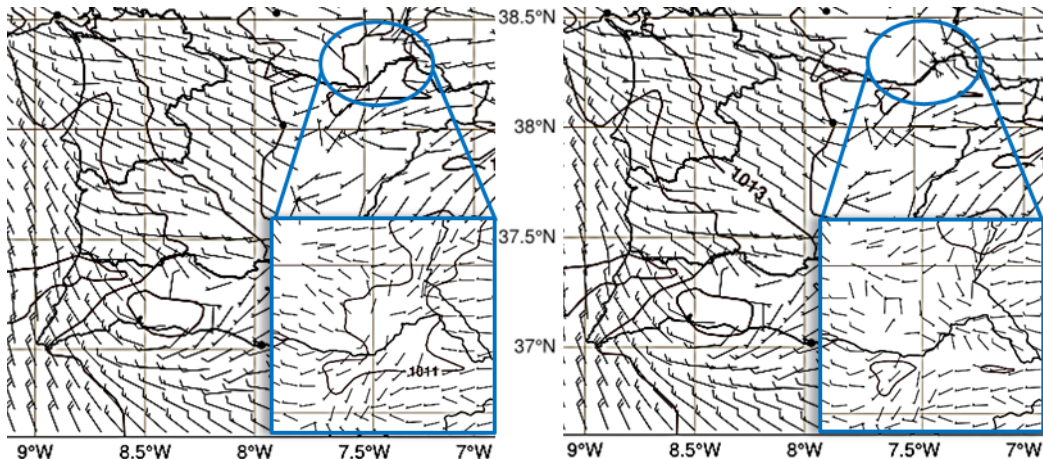


Figura I.3 - Carta de pressão ao nmm e vento aos 10m, run das 12h de dia 21 julho, h+30h, válida para dia 22 julho às 18h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva (CY38SAL); À direita: com a fisiografia do Alqueva (CY38ALQ)

No que diz respeito à temperatura aos 2 m e à temperatura à superfície, nota-se que à medida que a previsão se aproxima do período em causa, o contraste térmico terra-lago vai sendo menos acentuado, como se pode verificar nas figuras seguintes referentes às várias corridas do modelo com previsão para o dia 22 às 15h.

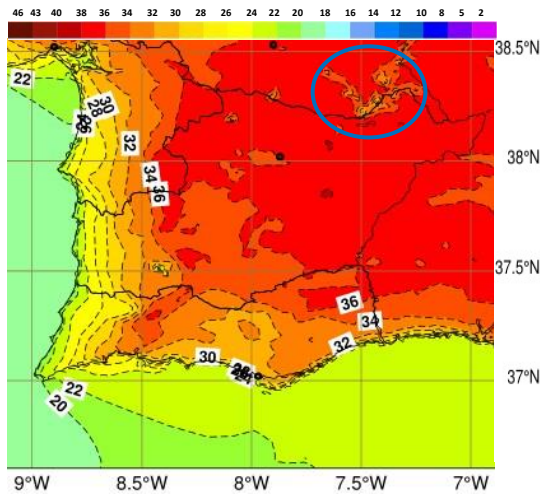


Figura I.4 - Carta de temperatura (°C) aos 2 m, run das 00h de dia 21 julho, h+39 válida para dia 22 julho às 15h (CY38ALQ)

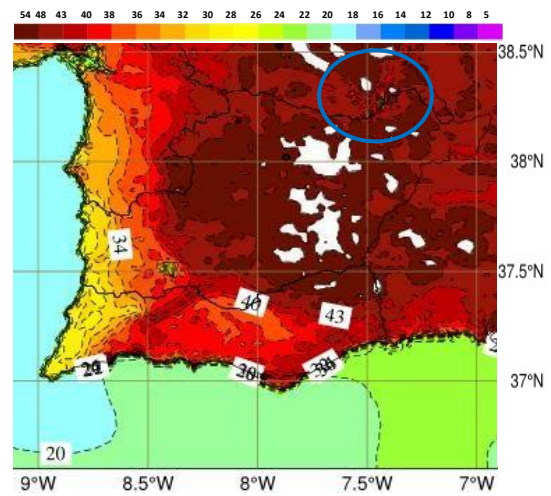


Figura I.5 - Carta de temperatura (°C) à superfície, run das 00h de dia 21 julho, h+39, válida para dia 22 julho às 15h (CY38ALQ)

Brisa de Lago

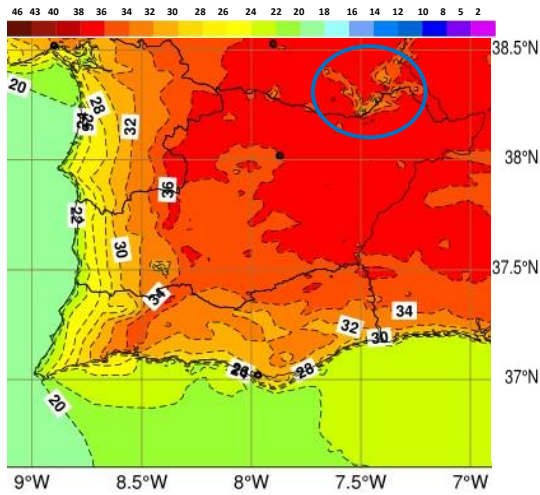


Figura I.6 - Carta de temperatura (°C) aos 2 m, run das 12h de dia 21 julho, h+27 válida para dia 22 julho às 15h (CY38ALQ)

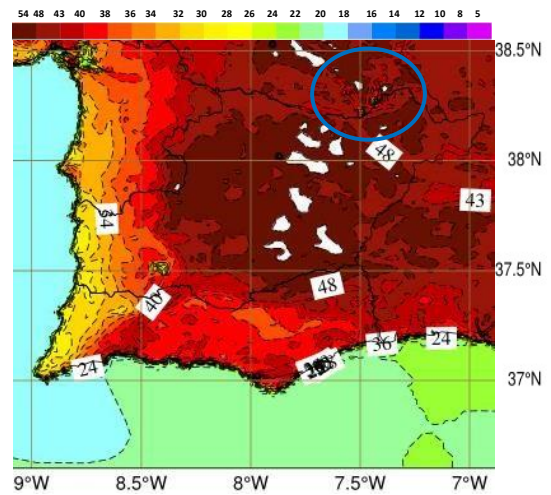


Figura I.7 - Carta de temperatura (°C) à superfície, run das 12h de dia 21 julho, h+27, válida para dia 22 julho às 15h (CY38ALQ)

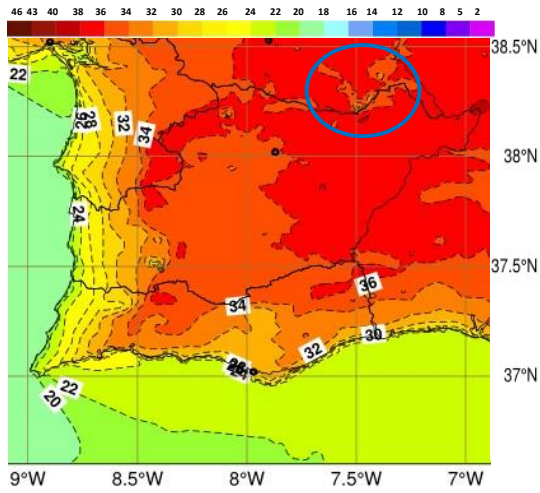


Figura I.8 - Carta de temperatura (°C) aos 2 m, run das 00h de dia 22 julho, h+15 válida para dia 22 julho às 15h (CY38ALQ)

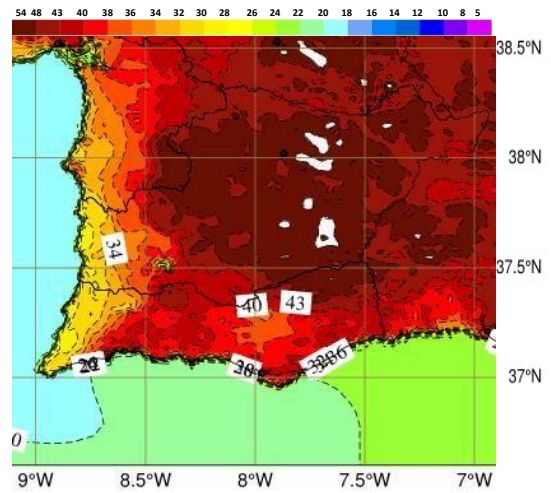


Figura I.9 - Carta de temperatura (°C) à superfície, run das 00h de dia 22 julho, h+15, válida para dia 22 julho às 15h (CY38ALQ)

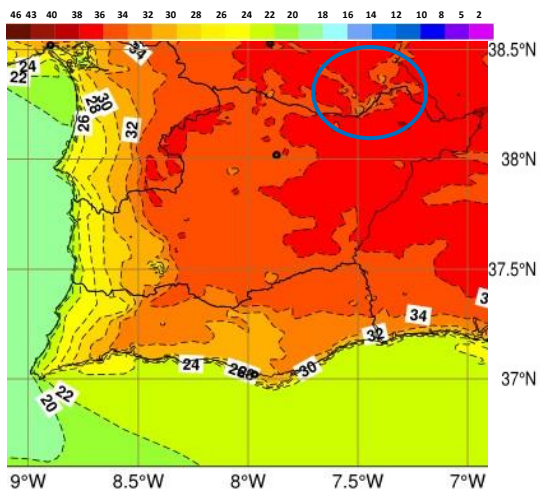


Figura I.10 - Carta de temperatura (°C) aos 2 m, run das 12h de dia 22 julho, h+03 válida para dia 22 julho às 15h (CY38ALQ)

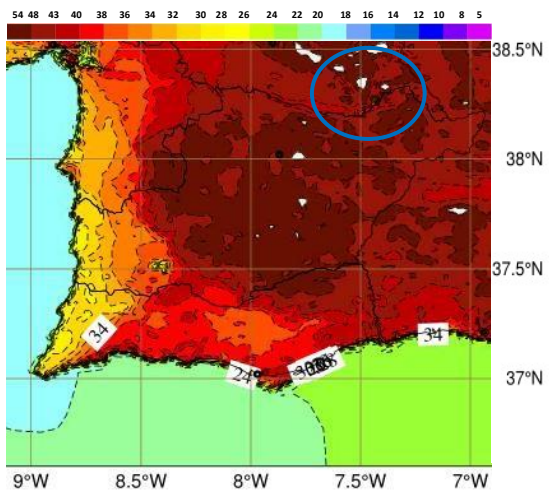


Figura I.11 - Carta de temperatura (°C) à superfície, run das 12h de dia 22 julho, h+03, válida para dia 22 julho às 15h (CY38ALQ)

Mesmo na previsão para as 18h é notável a diminuição do contraste térmico terra-lago ao longo das corridas do modelo, como se pode ver nas figuras seguintes.

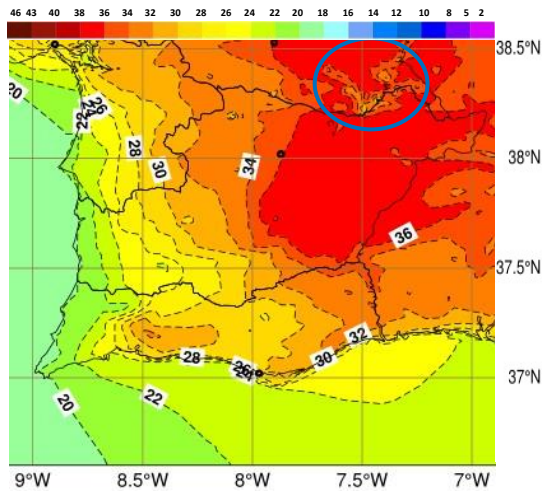


Figura I.12 - Carta de temperatura (°C) aos 2 m, run das 00h de dia 21 julho, h+42 válida para dia 22 julho às 18h (CY38ALQ)

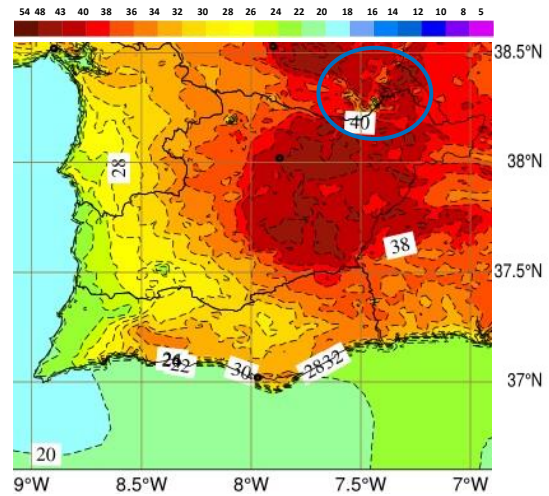


Figura I.13 - Carta de temperatura (°C) à superfície, run das 00h de dia 21 julho, h+42, válida para dia 22 julho às 18h (CY38ALQ)

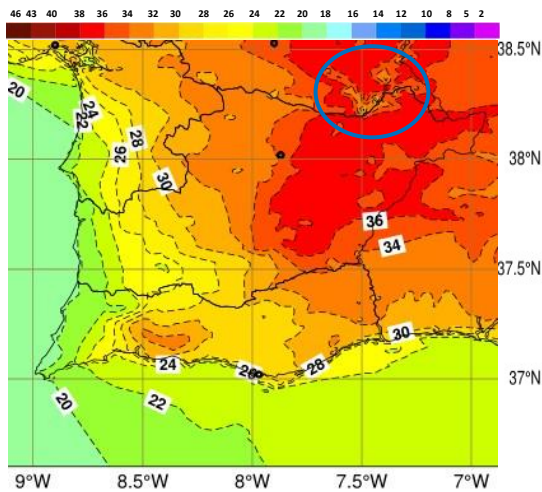


Figura I.14 - Carta de temperatura (°C) aos 2 m, run das 12h de dia 21 julho, h+30 válida para dia 22 julho às 18h (CY38ALQ)

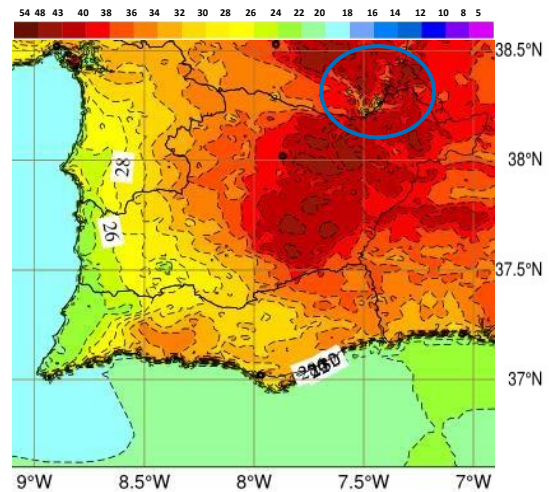


Figura I.15 - Carta de temperatura (°C) à superfície, run das 12h de dia 21 julho, h+30, válida para dia 22 julho às 18h (CY38ALQ)

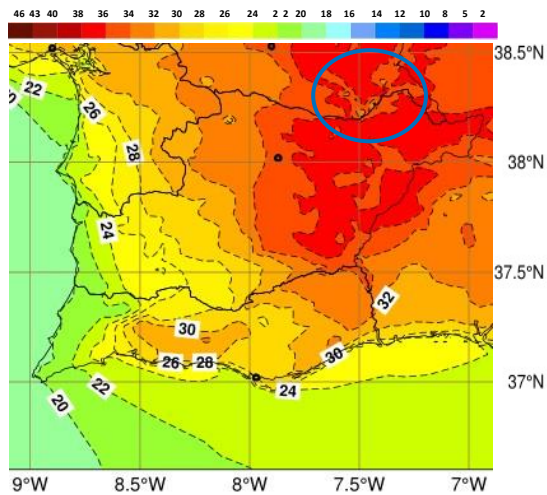


Figura I.16 - Carta de temperatura (°C) aos 2 m, run das 00h de dia 22 julho, h+18 válida para dia 22 julho às 18h (CY38ALQ)

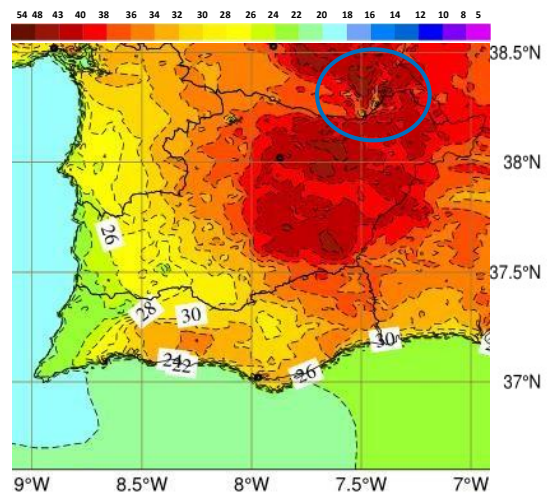


Figura I.17 - Carta de temperatura (°C) à superfície, run das 00h de dia 22 julho, h+18, válida para dia 22 julho às 18h (CY38ALQ)

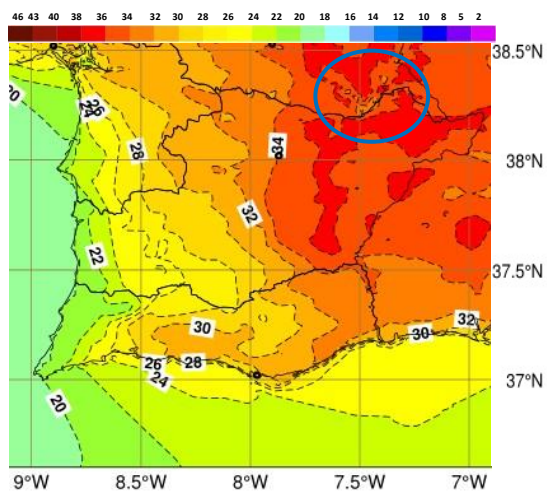


Figura I.18 - Carta de temperatura (°C) aos 2 m, run das 12h de dia 22 julho, h+06 válida para dia 22 julho às 18h (CY38ALQ)

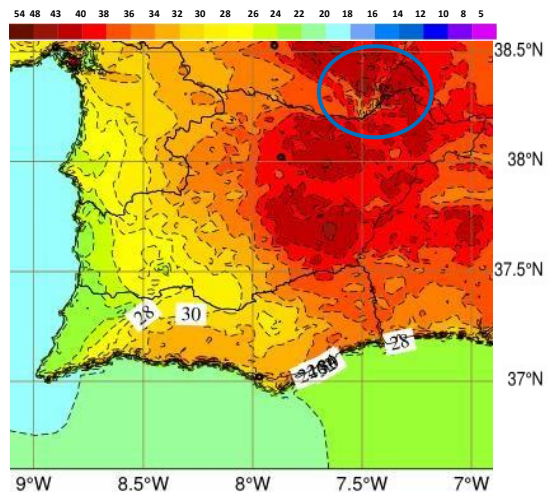


Figura I.19 - Carta de temperatura (°C) à superfície, run das 12h de dia 22 julho, h+06, válida para dia 22 julho às 18h (CY38ALQ)

I.2 - Outros parâmetros meteorológicos analisados

Aqui apresentam-se as restantes cartas analisadas, que não se encontram no corpo principal desta dissertação, nomeadamente, as cartas de altitude e de temperatura aos 2 m e à superfície, referentes ao run das 00h de dia 21 de julho.

a) Cartas de altitude (1000 aos 850hPa)

Apesar da existência de brisa não ser tão evidente nos níveis mais altos, é de notar uma perturbação do vento na região da albufeira, como se pode ver nas figuras a seguir representadas.

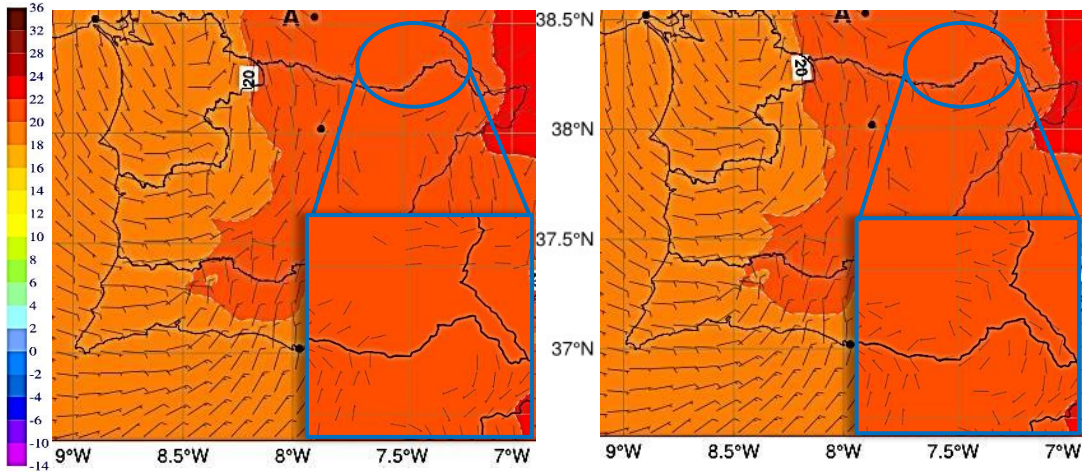


Figura I.20 - Carta do geopotencial (dampg), temperatura (°C) e vento (kt) aos 850hPA, run das 00h de dia 21 julho, h+39, válida para dia 22 julho às 15h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva (CY38SAL); À direita: com a fisiografia do Alqueva (CY38ALQ)

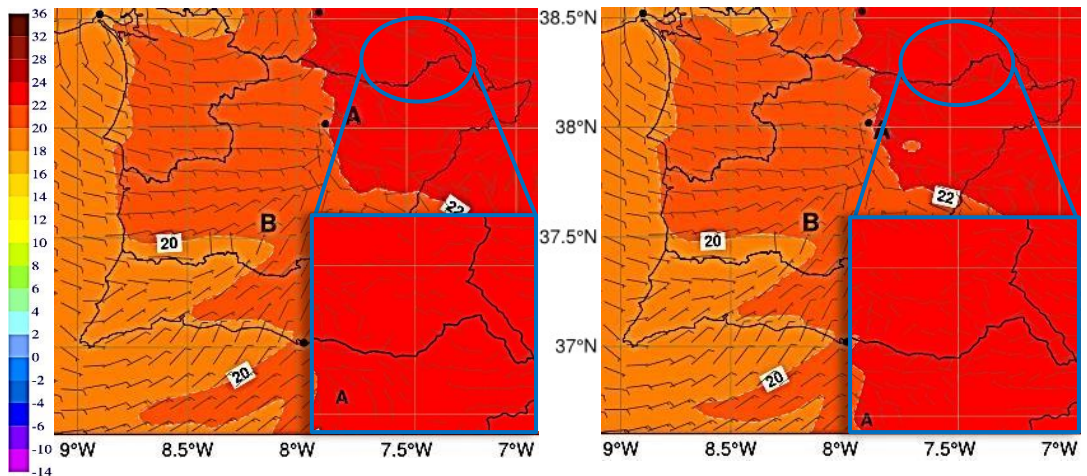


Figura I.21 - Carta do geopotencial (dampg), temperatura (°C) e vento (kt) aos 850hPA, run das 00h de dia 21 julho, h+42, válida para dia 22 julho às 18h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva (CY38SAL); À direita: com a fisiografia do Alqueva (CY38ALQ)

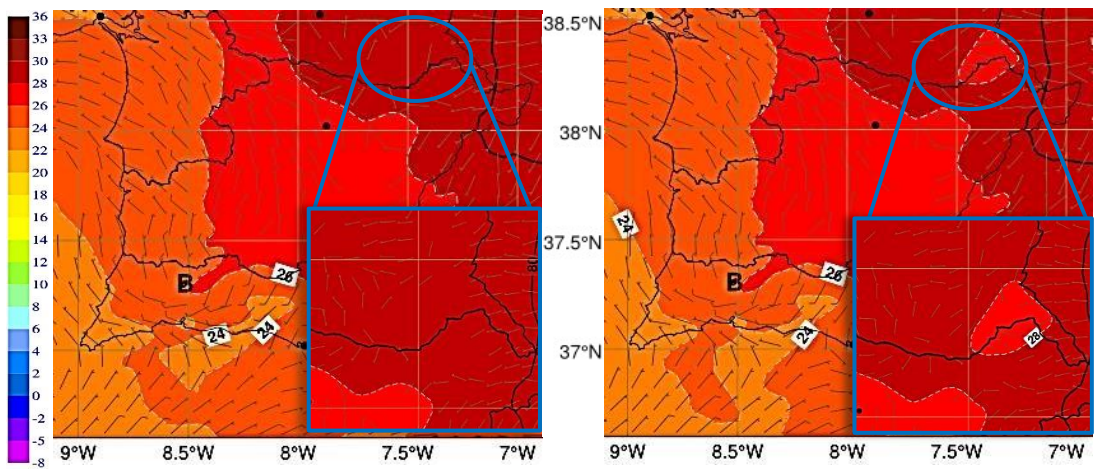


Figura I.22 - Carta do geopotencial (dampg), temperatura (°C) e vento (kt) aos 925hPA, run das 00h de dia 21 julho, h+39, válida para dia 22 julho às 15h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva (CY38SAL); À direita: com a fisiografia do Alqueva (CY38ALQ)

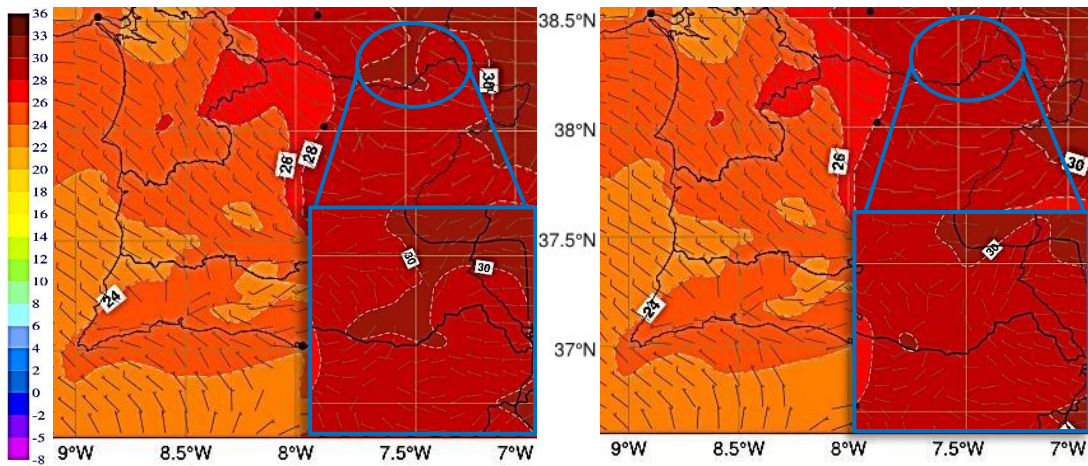


Figura I.23 - Carta do geopotencial (dampg), temperatura (°C) e vento (kt) aos 925hPA, run das 00h de dia 21 julho, h+42, válida para dia 22 julho às 18h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva (CY38SAL); À direita: com a fisiografia do Alqueva (CY38ALQ)

Aos 950hPa já se consegue identificar o efeito da brisa nas cartas com a fisiografia do modelo. O vento sopra de SW na região norte da albufeira, soprando de NW na região sul (Figura I.24 a Figura I.26).

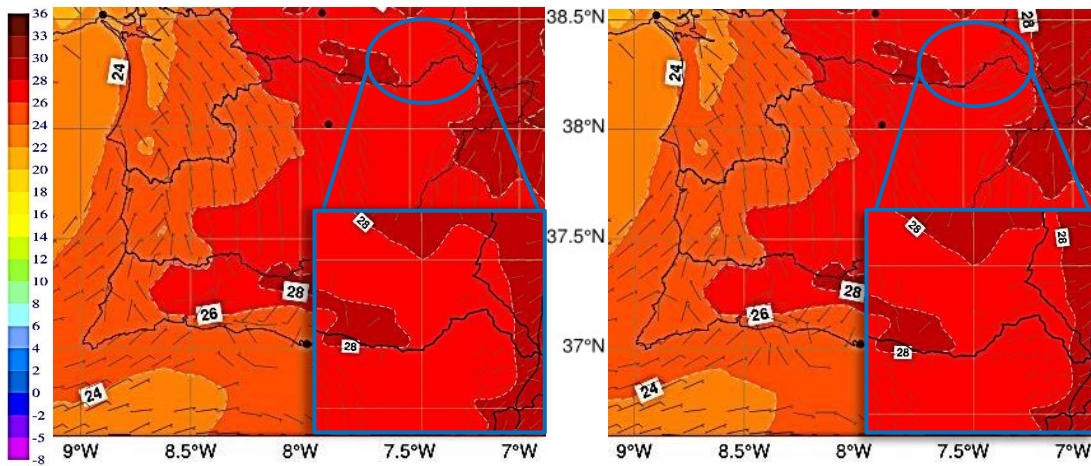


Figura I.24 - Carta do geopotencial (dampg), temperatura (°C) e vento (kt) aos 950hPA, run das 00h de dia 21 julho, h+36, válida para dia 22 julho às 12h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva (CY38SAL); À direita: com a fisiografia do Alqueva (CY38ALQ)

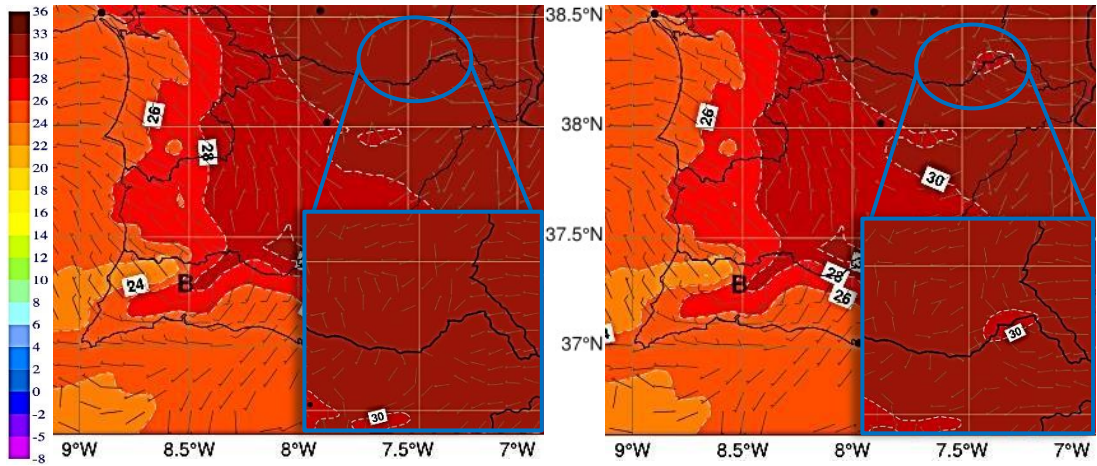


Figura I.25 - Carta do geopotencial (dampg), temperatura (°C) e vento (kt) aos 950hPA, run das 00h de dia 21 julho, h+39, válida para dia 22 julho às 15h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva (CY38SAL); À direita: com a fisiografia do Alqueva (CY38ALQ)

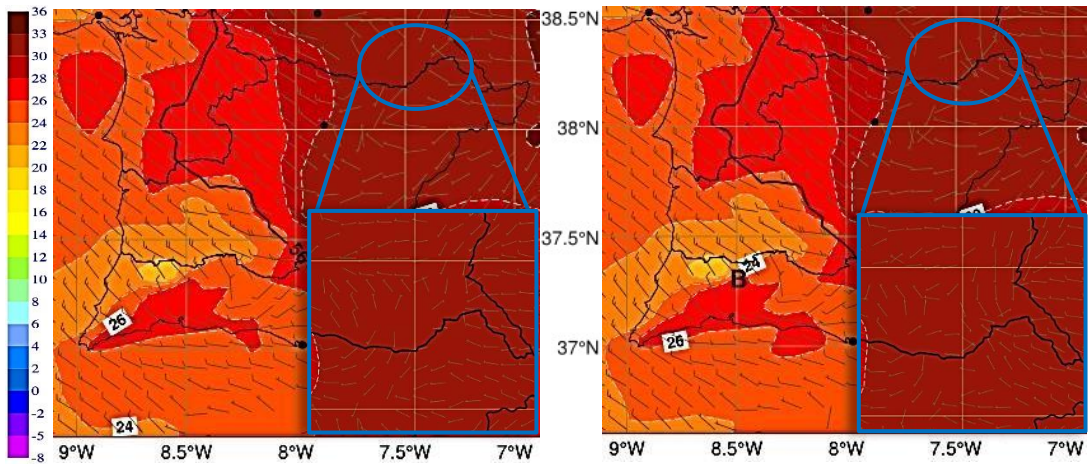


Figura I.26 - Carta do geopotencial (dampg), temperatura (°C) e vento (kt) aos 950hPA, run das 00h de dia 21 julho, h+42, válida para dia 22 julho às 18h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva (CY38SAL); À direita: com a fisiografia do Alqueva (CY38ALQ)

Como seria de esperar, aos 100hPa o efeito do lago no vento faz-se sentir mais que nos níveis superiores. Assim, pode ver-se a perturbação do vento causada pelo efeito de brisa, Da Figura I.27 à Figura I.29.

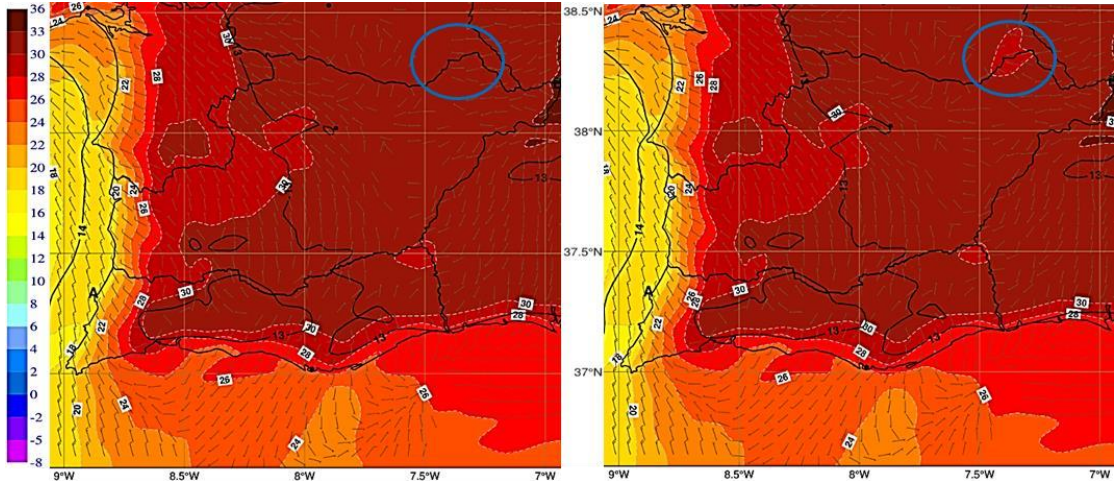


Figura I.27 - Carta do geopotencial (dampg), temperatura (°C) e vento (kt) aos 1000hPA, run das 00h de dia 21 julho, h+36, válida para dia 22 julho às 12h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva (CY38SAL); À direita: com a fisiografia do Alqueva (CY38ALQ)

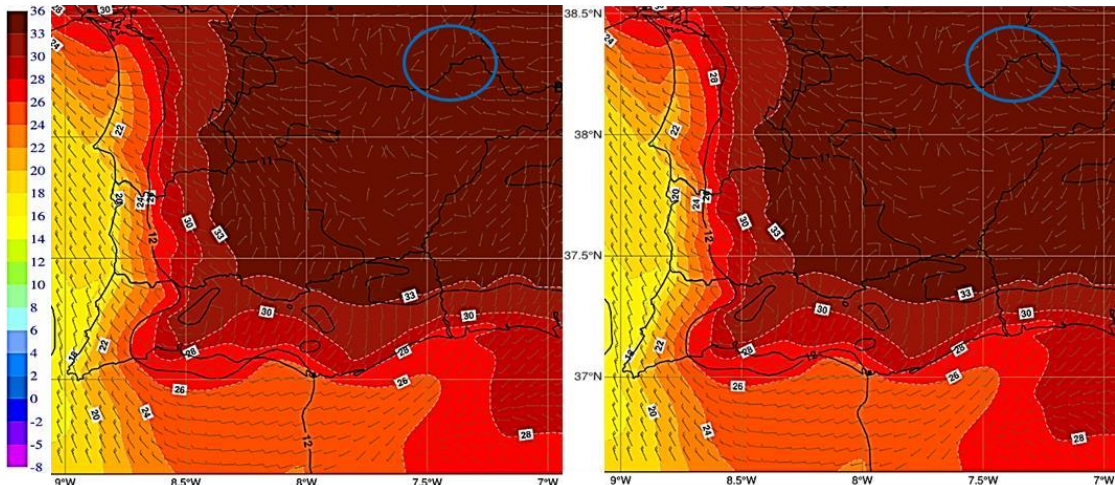


Figura I.28 - Carta do geopotencial (dampg), temperatura (°C) e vento (kt) aos 1000hPA, run das 00h de dia 21 julho, h+39, válida para dia 22 julho às 15h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva (CY38SAL); À direita: com a fisiografia do Alqueva (CY38ALQ)

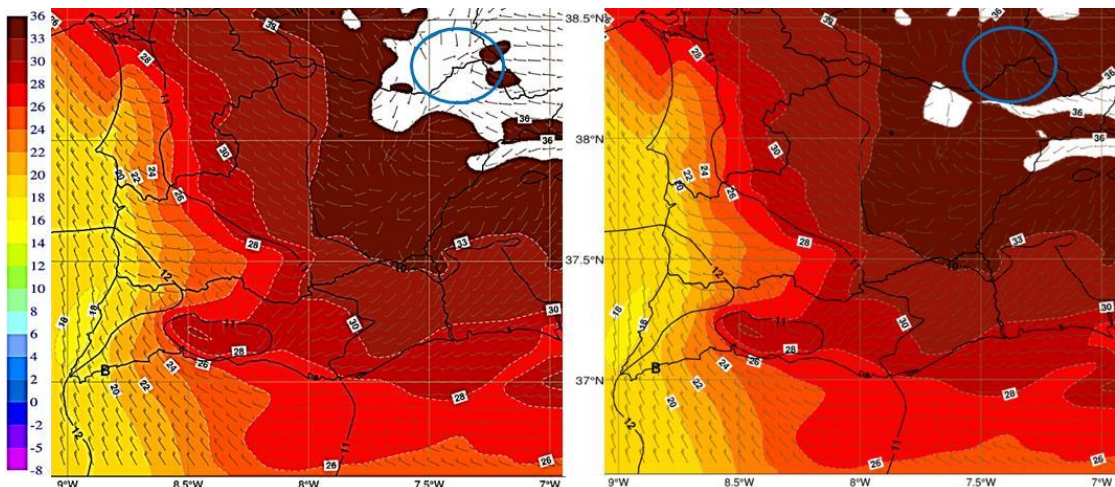


Figura I.29 - Carta do geopotencial (dampg), temperatura (°C) e vento (kt) aos 1000hPA, run das 00h de dia 21 julho, h+42, válida para dia 22 julho às 18h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva (CY38SAL); À direita: com a fisiografia do Alqueva (CY38ALQ)

fisiografia do Alqueva (CY38ALQ)

b) Temperatura aos 2 metros

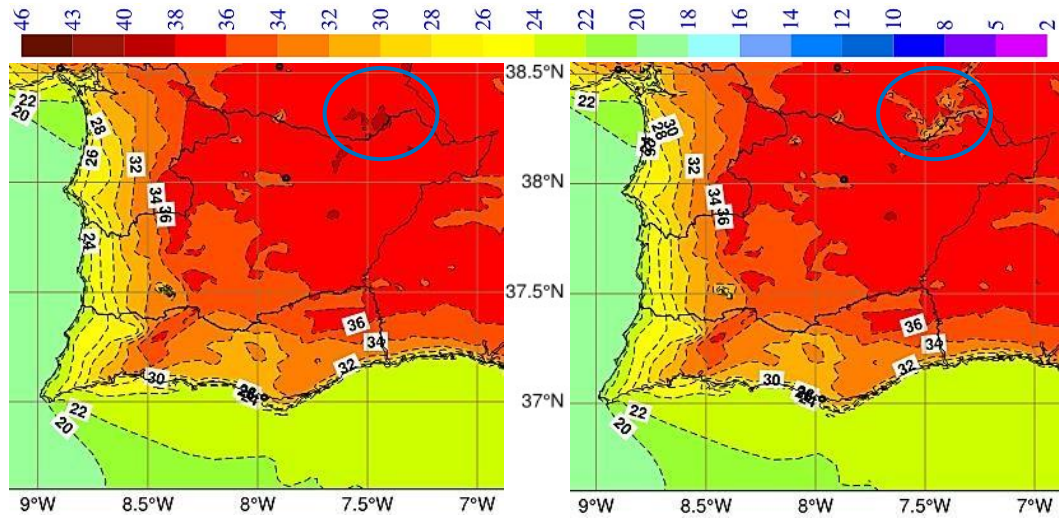


Figura I.30 - Carta de temperatura (°C) aos 2 m, run das 00h de dia 21 julho, h+39, válida para dia 22 julho às 15h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva (CY38SAL); À direita: com a fisiografia do Alqueva (CY38ALQ)

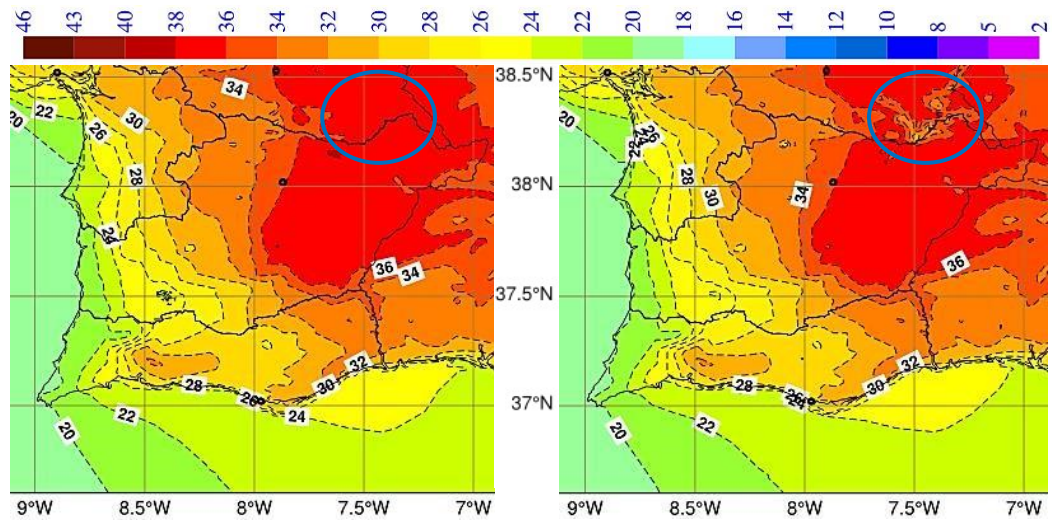


Figura I.31 - Carta de temperatura (°C) aos 2 m, run das 00h de dia 21 julho, h+42, válida para dia 22 julho às 18h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva (CY38SAL); À direita: com a fisiografia do Alqueva (CY38ALQ)

c) Temperatura à superfície

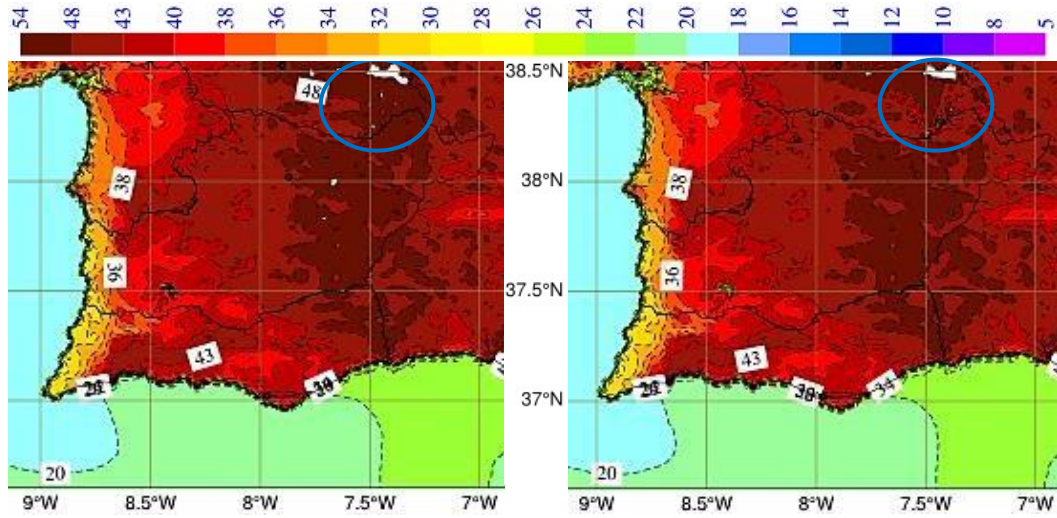


Figura I.32 - Carta de temperatura (°C) à superfície, run das 00h de dia 21 julho, h+36, válida para dia 22 julho às 12h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva (CY38SAL); À direita: com a fisiografia do Alqueva (CY38ALQ)

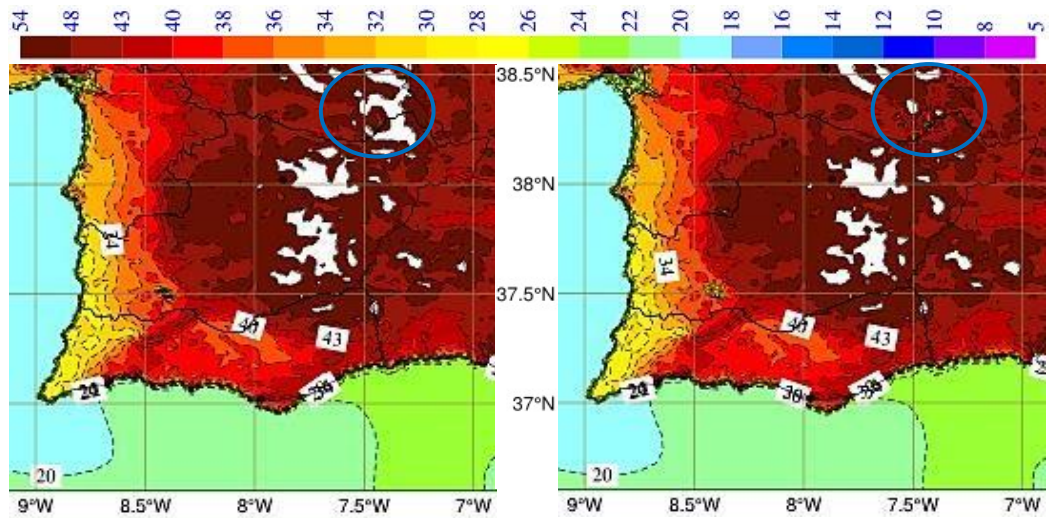


Figura I.33 - Carta de temperatura (°C) à superfície, run das 00h de dia 21 julho, h+39, válida para dia 22 julho às 15h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva (CY38SAL); À direita: com a fisiografia do Alqueva (CY38ALQ)

Página intencionalmente em branco

ANEXO II – DADOS DE VENTO

II.1 - Dados das observações

Tal como referido, os dados de vento com escala ao minuto, para as duas estações (Barbosa e Cid Almeida) podem ser obtidos em ftp://nas.cge.uevora.pt/alex2014_dados/Meteorology/. A partir desses dados foram realizados os gráficos seguintes.

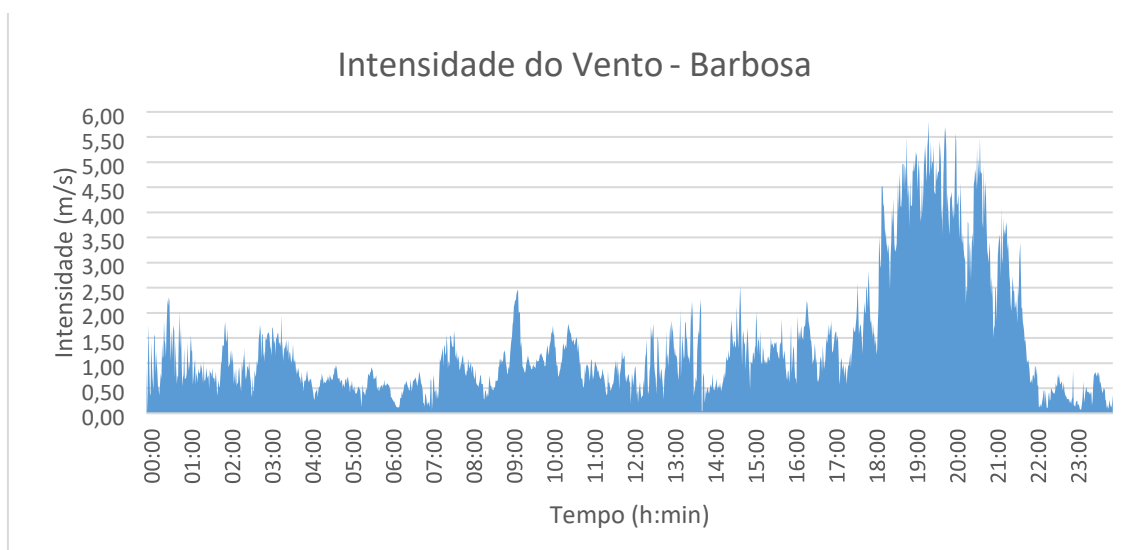


Gráfico II.1 – Intensidade do vento observado em Barbosa no dia 22 de julho

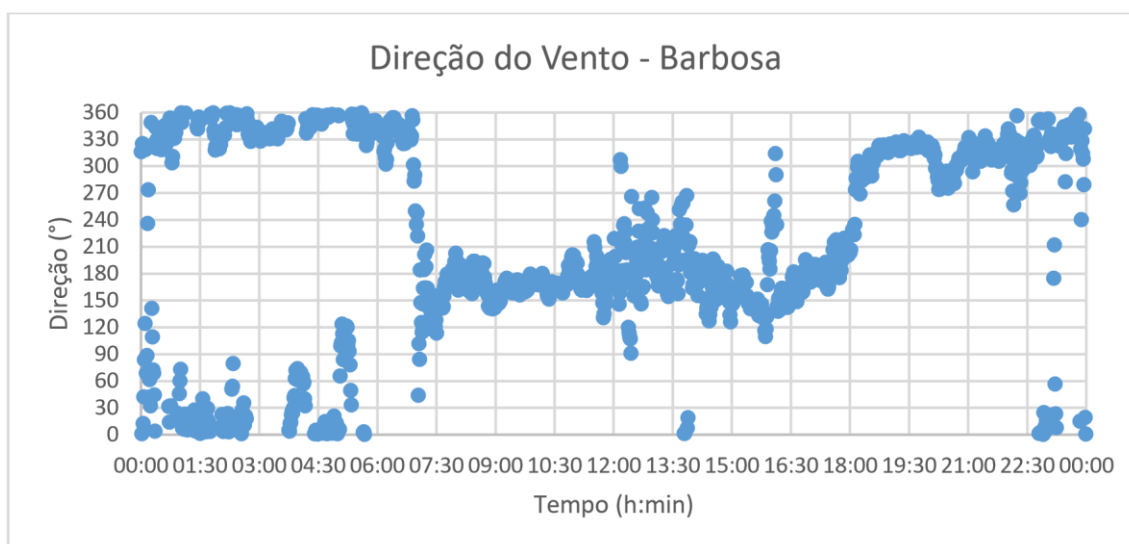


Gráfico II.2 - Direção do vento observada em Barbosa no dia 22 de julho

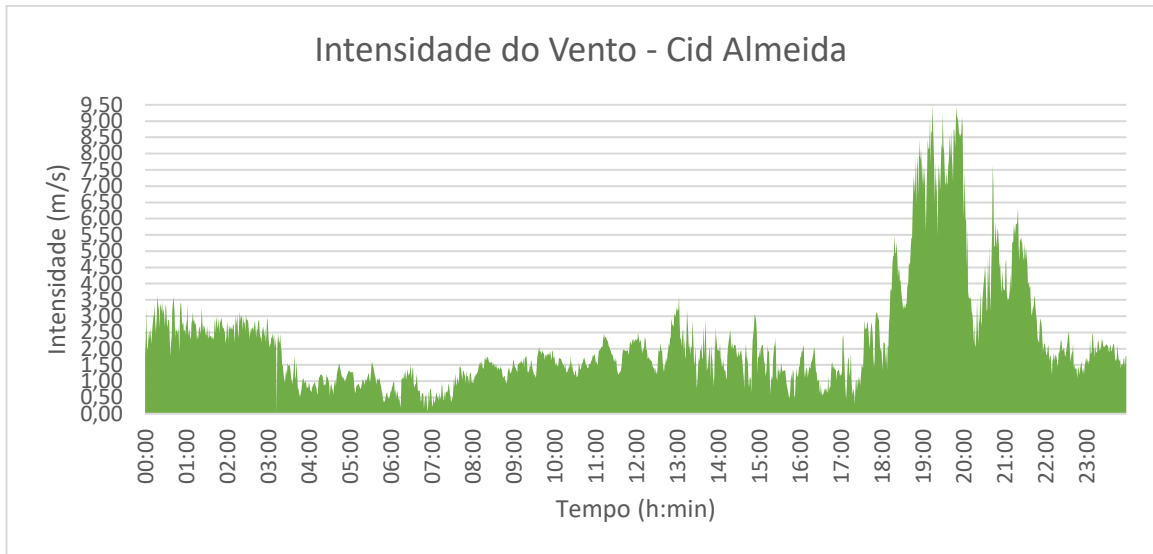


Gráfico II.3 - Intensidade do vento observado em Cid Almeida no dia 22 de julho

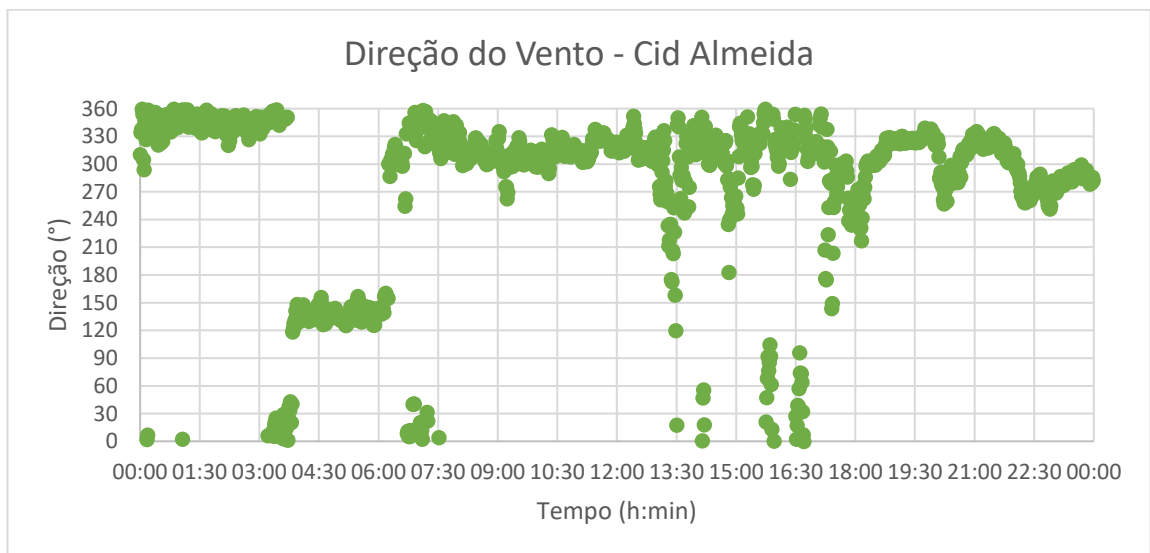


Gráfico II.4 - Direção do vento observada em Cid Almeida no dia 22 de julho

II.2 - Dados de vento simulados pelos modelos AROME CY38SAL e AROME CY38ALQ

Dados de Vento

Tabela II.0.1 – Dados de vento simulados pelo AROME CY38SAL para dia 22 de julho em Barbosa

Barbosa SAL		
Hora	Intensidade (m/s)	Direção (°)
0	3,8	328
1	2,7	324
2	2,3	324
3	2,1	333
4	1,9	327
5	1,9	334
6	1,7	340
7	1,2	337
8	1	347
9	0,7	0
10	1,1	344
11	0,7	302
12	0,7	236
13	0,5	189
14	0,2	204
15	0,4	210
16	1	235
17	1,1	249
18	0,7	234
19	2,1	220
20	5,4	288
21	7,1	319
22	5,1	315
23	2,1	292

Tabela II.0.2 - Dados de vento simulados pelo AROME CY38SAL para dia 22 de julho em Cid Almeida

Barbosa ALQ		
Hora	Intensidade (m/s)	Direção (°)
0	5,2	325
1	3,3	324
2	3	324
3	2,9	331
4	2,6	328
5	2,5	333
6	2,4	338
7	1,9	336
8	1,3	344
9	0,7	18
10	0,9	18
11	0,8	51
12	0,7	64
13	0,9	40
14	1,3	48
15	1,9	58
16	2,2	52
17	2,3	44
18	1,9	37
19	1,7	40
20	5,4	295
21	7,9	320
22	6,1	319
23	2,7	291

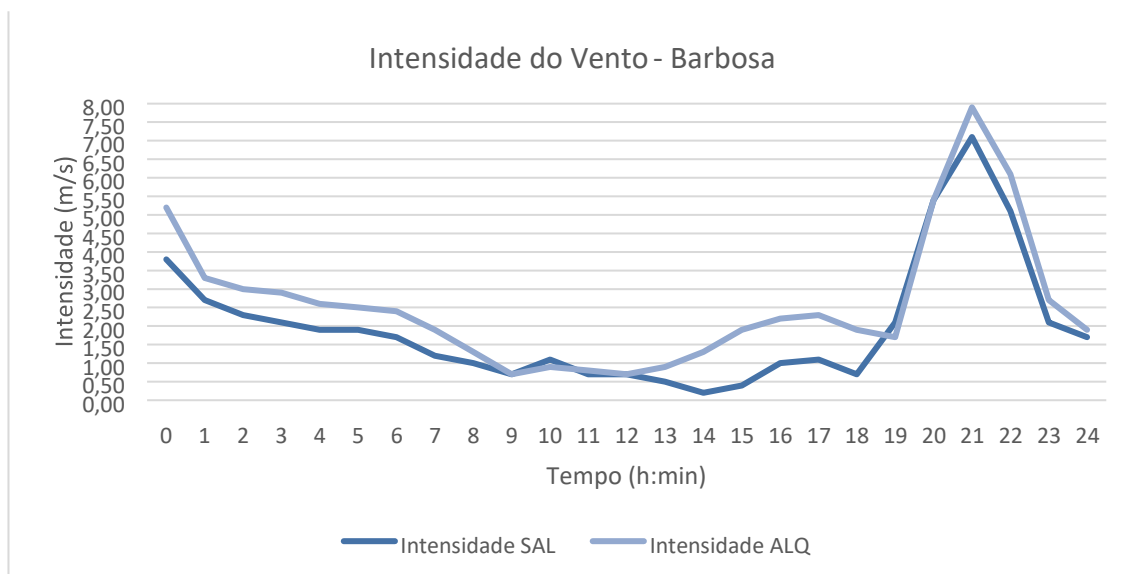


Gráfico II.5 – Intensidade do Vento para dia 22 de julho em Barbosa, simulado pelos modelos com (CY38ALQ) e sem Alqueva (CY38SAL)

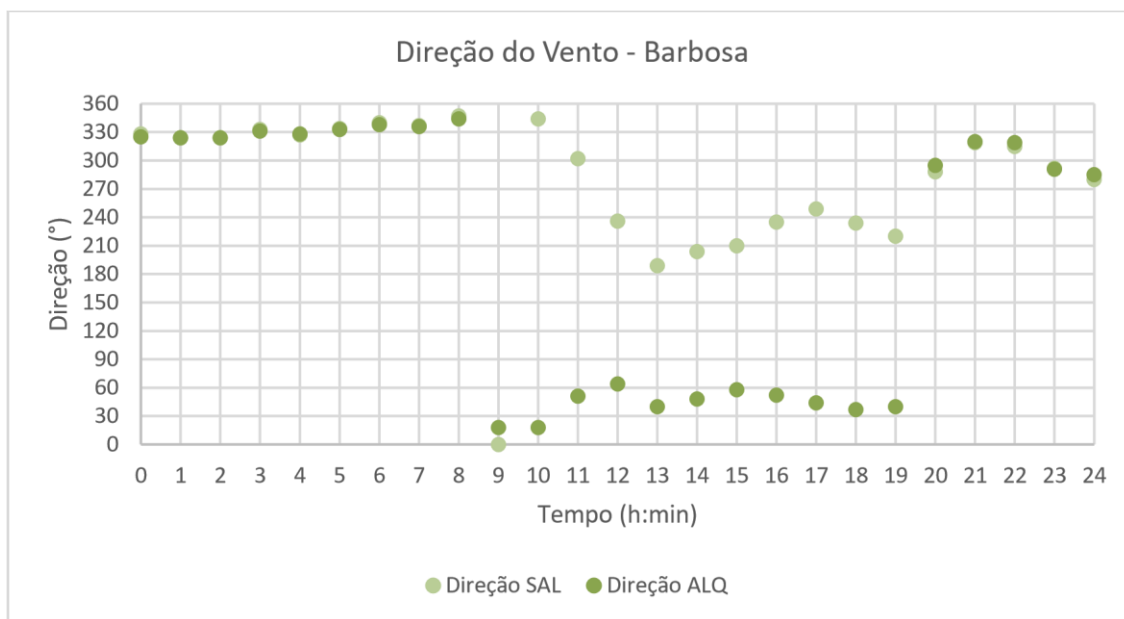


Gráfico II.6 – Direção do Vento para dia 22 julho em Barbosa, simulado pelos modelos com (CY38ALQ) e sem Alqueva (CY38SAL)

Dados de Vento

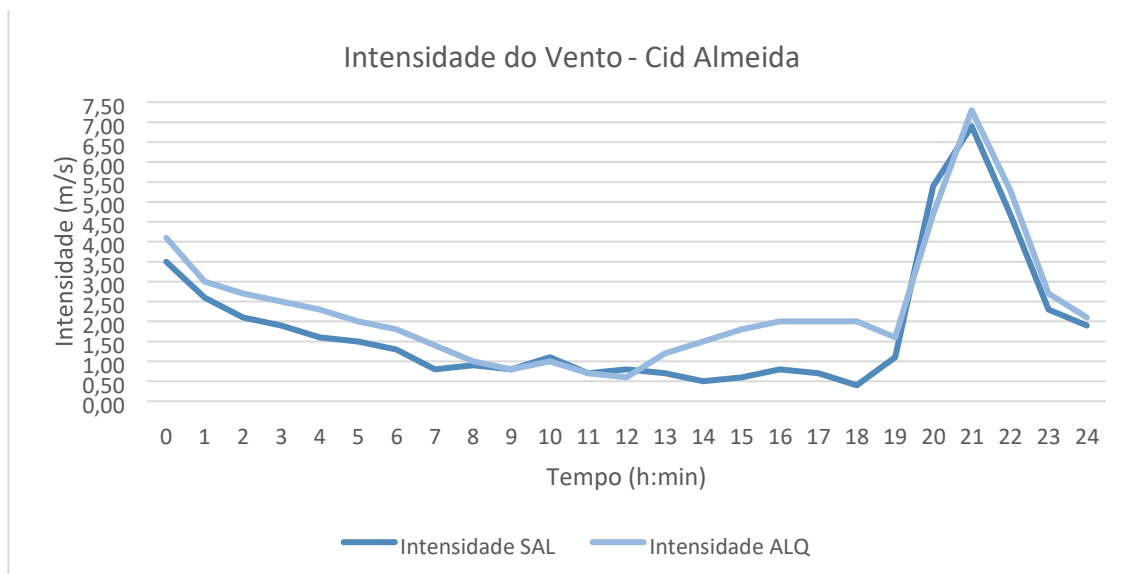


Gráfico II.5 – Intensidade do Vento para dia 22 de julho em Cid Almeida, simulado pelos modelos com (CY38ALQ) e sem Alqueva (CY38SAL)

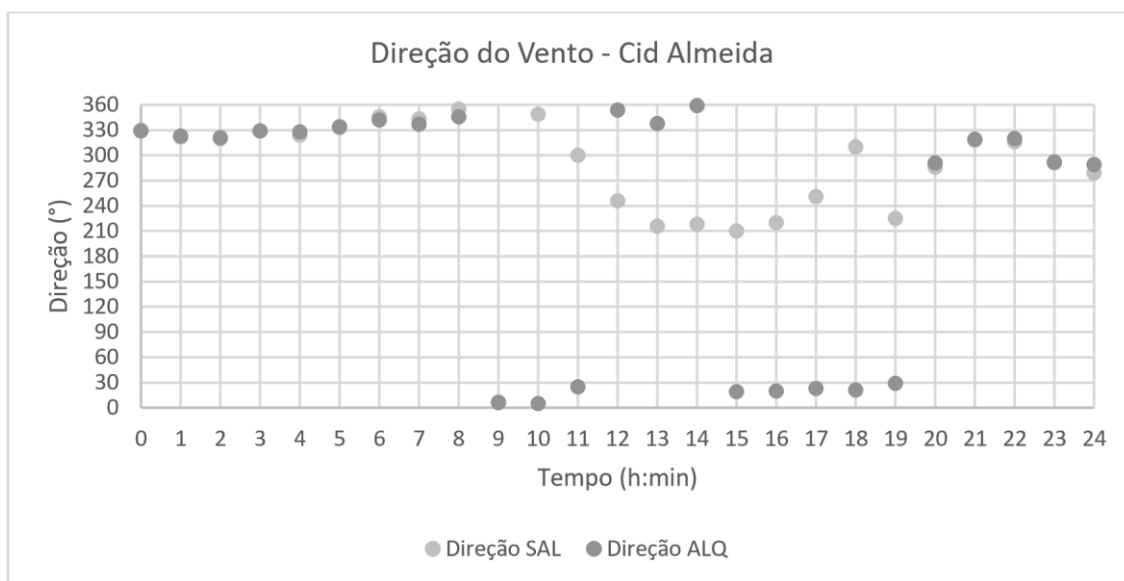


Gráfico II.6 - Direção do Vento para dia 22 de julho em Cid Almeida, simulado pelos modelos com (CY38ALQ) e sem Alqueva (CY38SAL)

Página intencionalmente em branco

ANEXO III – NEBULOSIDADE

III.1 - Cartas meteorológicas

De seguida apresentam-se as cartas de nebulosidade baixa e de nebulosidade total, relativas à madrugada de dia 24 de julho de 2014, para os restantes runs de ambos os modelos (CY38SAL e CY38ALQ), não apresentadas no corpo desta dissertação.

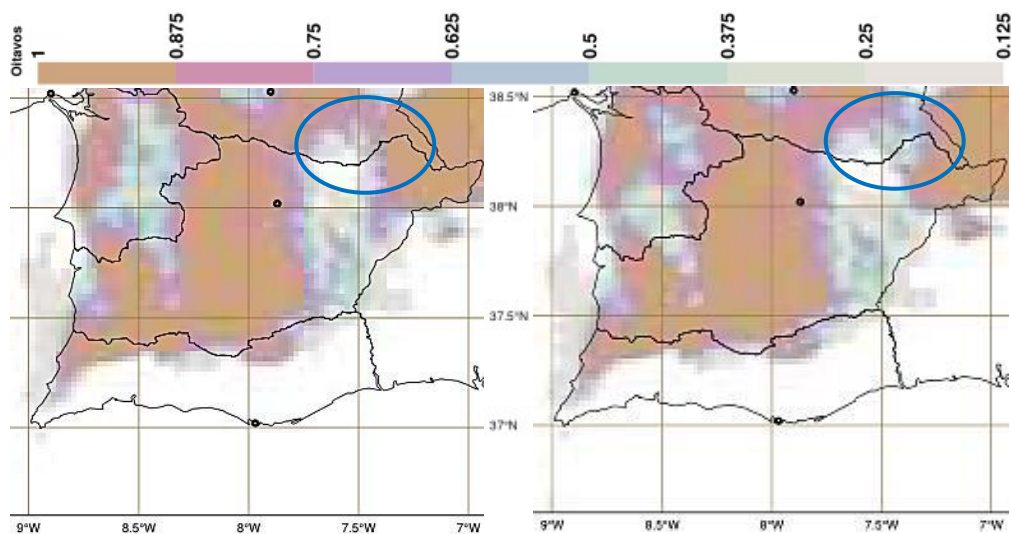


Figura III.1 - Carta de nebulosidade baixa, run das 00h de dia 23 julho, h+30, válida para dia 24 julho às 06h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva (CY38SAL); À direita: com a fisiografia do Alqueva (CY38ALQ)

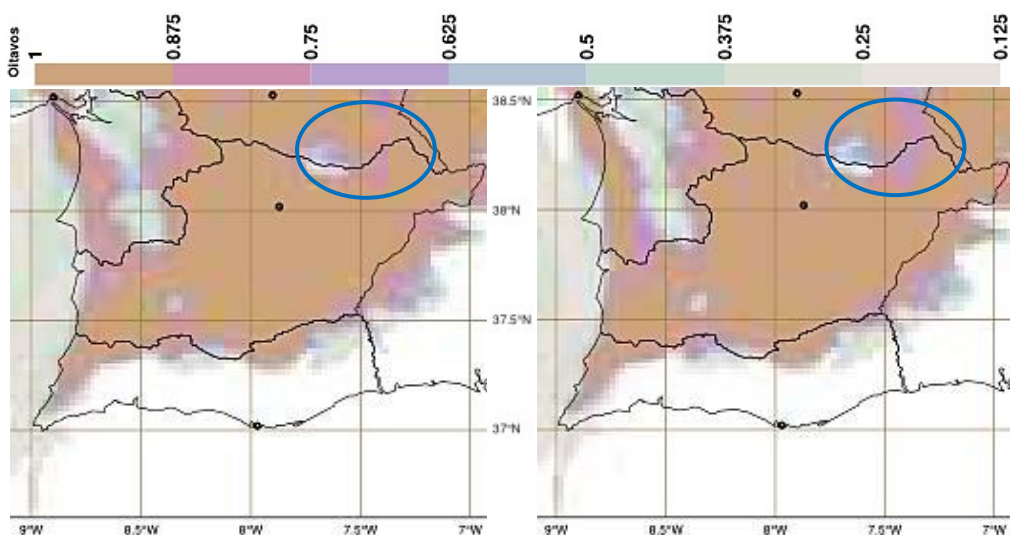


Figura III.2 - Carta de nebulosidade baixa, run das 12h de dia 23 julho, h+18, válida para dia 24 julho às 06h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva (CY38SAL); À direita: com a fisiografia do Alqueva (CY38ALQ)

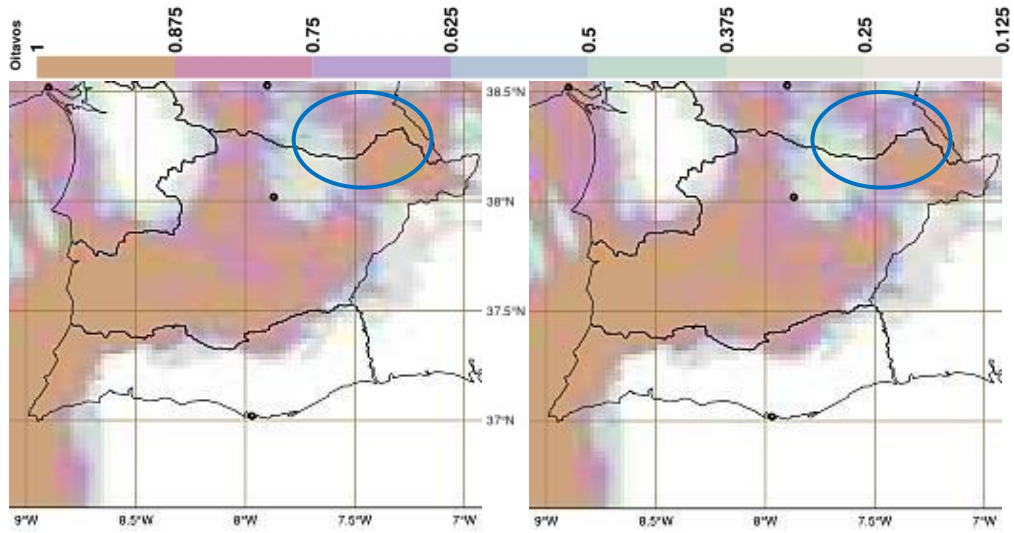


Figura III.3 - Carta de nebulosidade baixa, run das 12h de dia 23 julho, h+18, válida para dia 24 julho às 06h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva (CY38SAL); À direita: com a fisiografia do Alqueva (CY38ALQ)

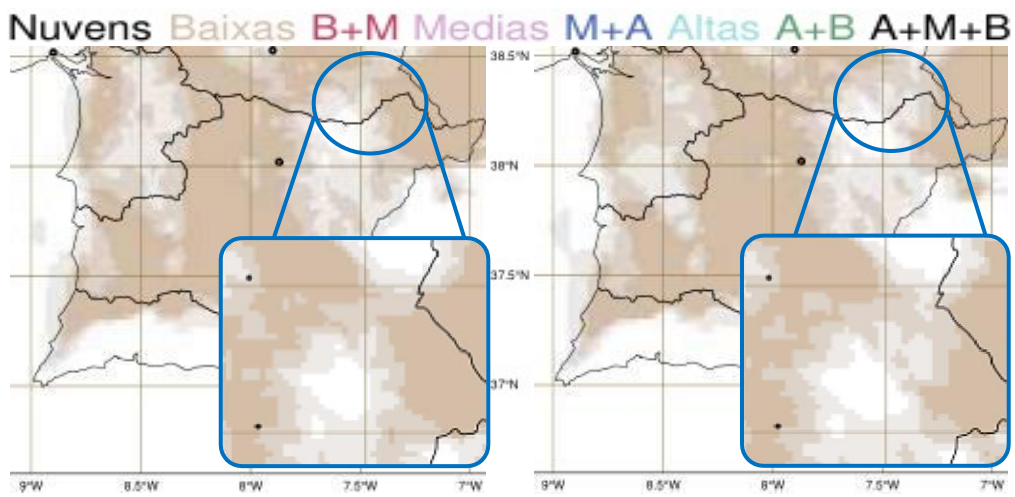


Figura III.4 - Carta de nebulosidade total, run das 00h de dia 23 julho, h+30, válida para dia 24 julho às 06h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva (CY38SAL); À direita: com a fisiografia do Alqueva (CY38ALQ)

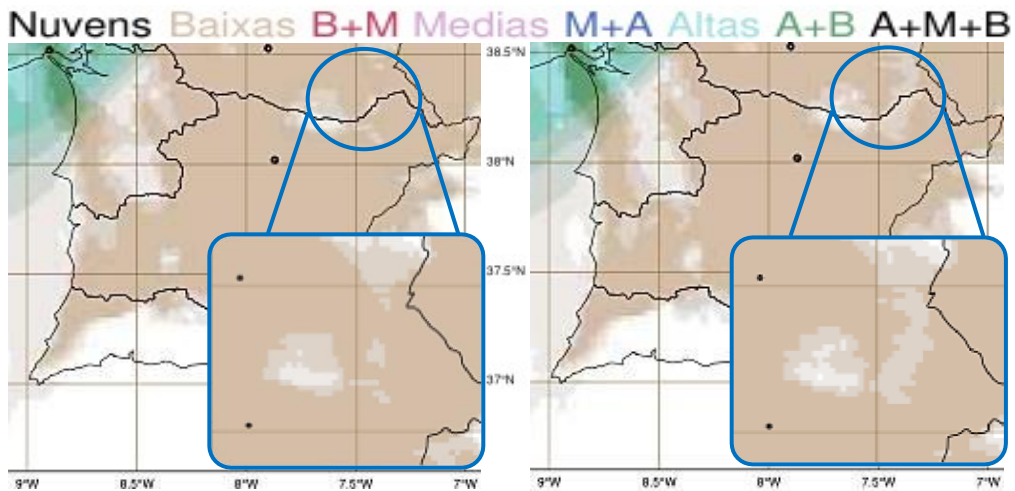


Figura III.5 - Carta de nebulosidade total, run das 12h de dia 23 julho, h+18, válida para dia 24 julho às 06h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva (CY38SAL); À direita: com a fisiografia do Alqueva (CY38ALQ)

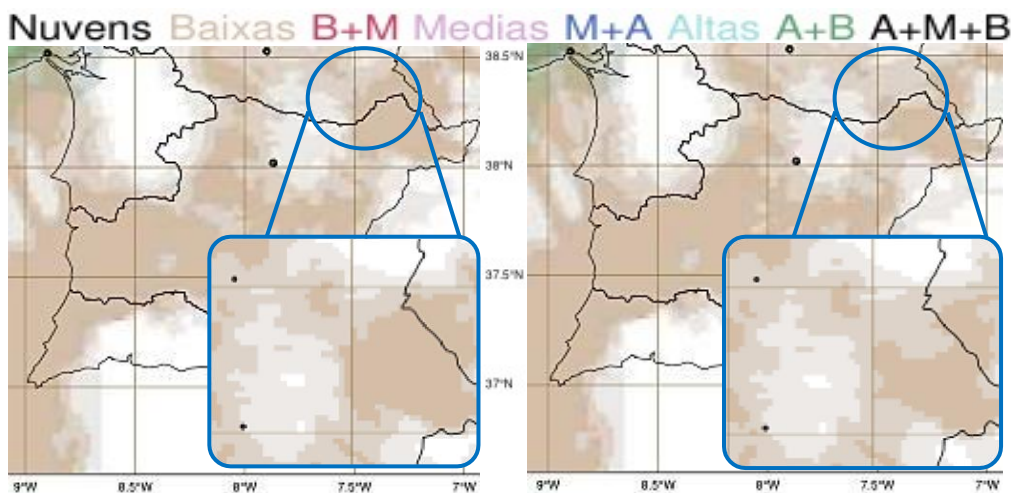


Figura III.6 - Carta de nebulosidade total, run das 00h de dia 24 julho, h+06, válida para dia 24 julho às 06h. À esquerda: sem a fisiografia do Alqueva (CY38SAL); À direita: com a fisiografia do Alqueva (CY38ALQ)

III.2 - Tefigramas

São aqui apresentados os tefigramas para as restantes horas (00h, 03h e 09h), não apresentados no corpo desta dissertação.

a) Tefigramas baseados nas sondagens

Apresentam-se de seguida os tefigramas baseados nas sondagens realizadas às 00h, 03h e 09h do dia 24 de julho. Como se tinha observado no capítulo 4, secção 4.2.3, há um aumento de nebulosidade a partir das 00h, começando a dissipar às 09h.

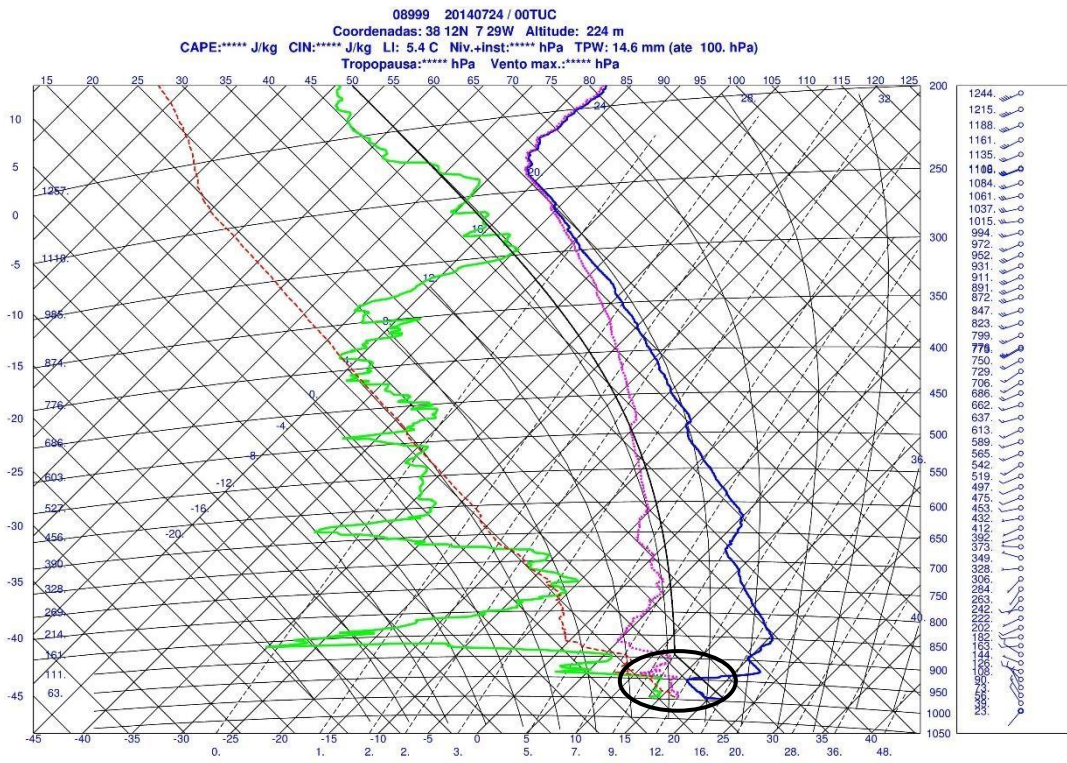


Figura III.7 - Tefigrama observado às 00h de dia 24 julho

Na Figura III.7 pode ver-se que aos 950 hPa a curva da temperatura do ponto de orvalho (a verde) e a curva de estado (a azul) estão bastante próximas, indicando um aumento da saturação a esse nível e, possivelmente, formação de nebulosidade.

Nebulosidade

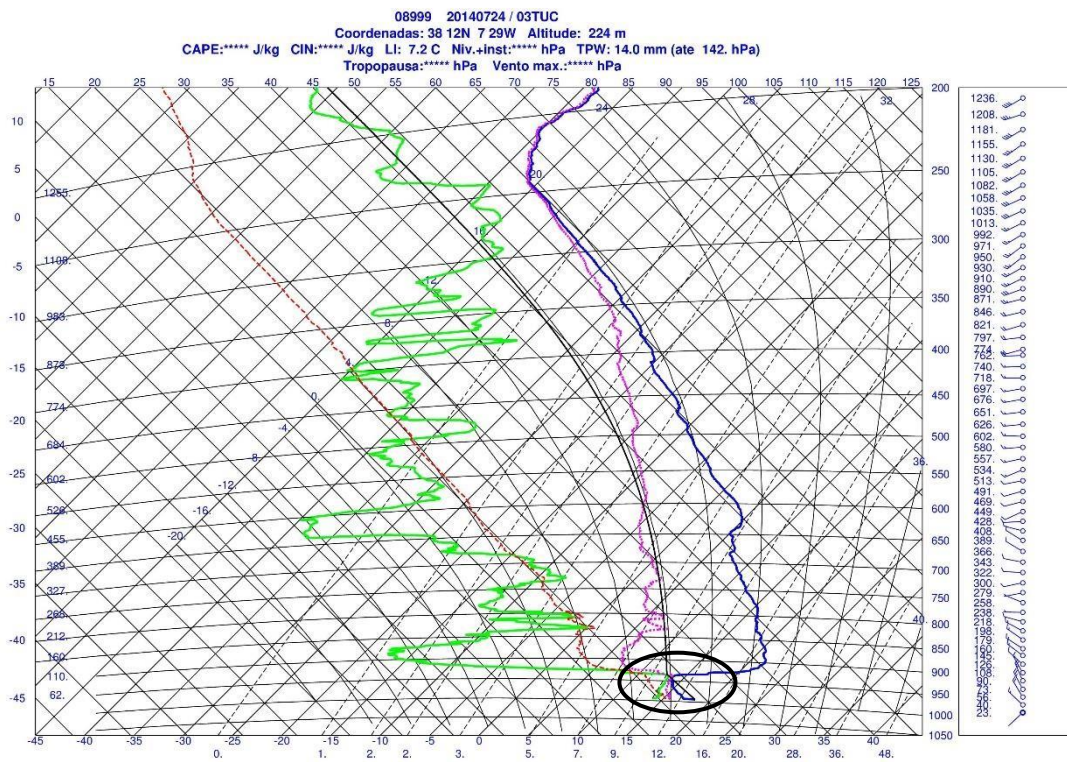


Figura III.8 -Tefigrama observado às 03h de dia 24 julho

Na Figura III.8 as curvas de ponto de orvalho e de estado continuam a aproximar-se, estando praticamente coladas.

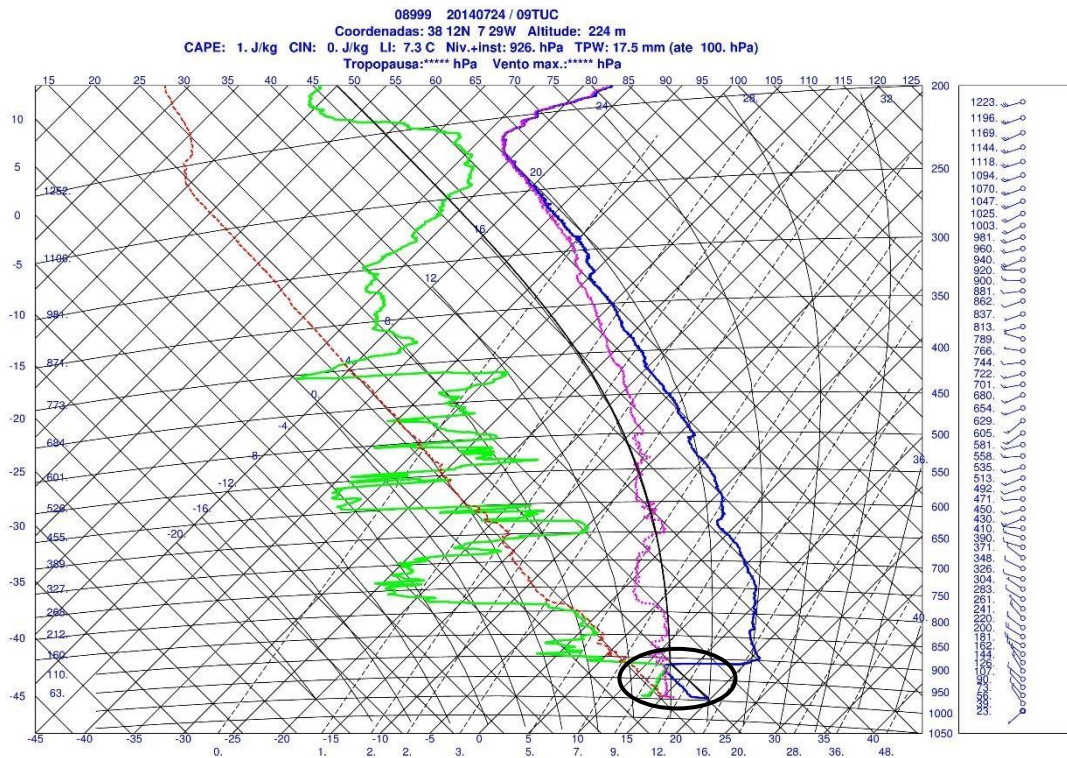


Figura III.9 - Tefigrama observado às 09h de dia 24 julho

Ao início da manhã, com o aquecimento, a nebulosidade começa a dissipar e a subir, como se pode ver na Figura III.9. As curvas, apesar de ainda coladas, colam-se apenas numa curta extensão vertical, indicando uma menor espessura da camada nebulosa.

b) Tefigramas previstos

Tal como se verificou nos tefigramas observados, os tefigramas previstos, ainda que apresentem menor saturação, também dão indicação de aumento de nebulosidade a partir das 00h e dissipação a partir das 09h.

Nebulosidade

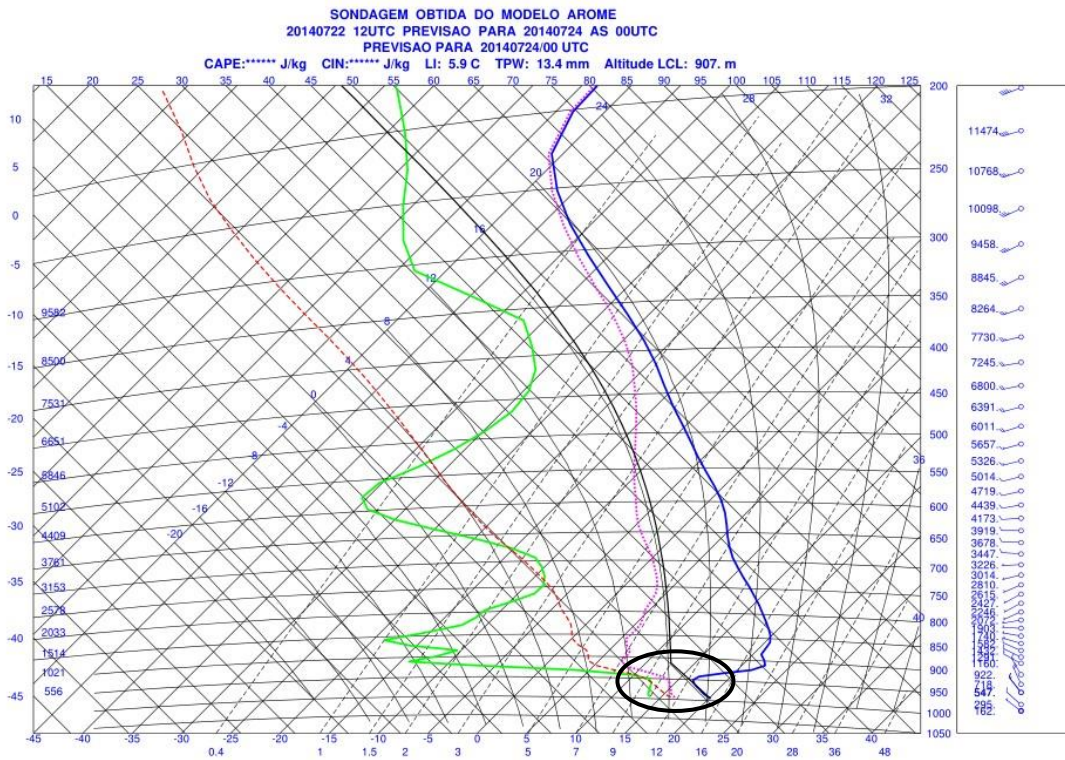


Figura III.10 - Tefigrama válido para as 00h de dia 24 julho (com Alqueva - CY38ALQ)

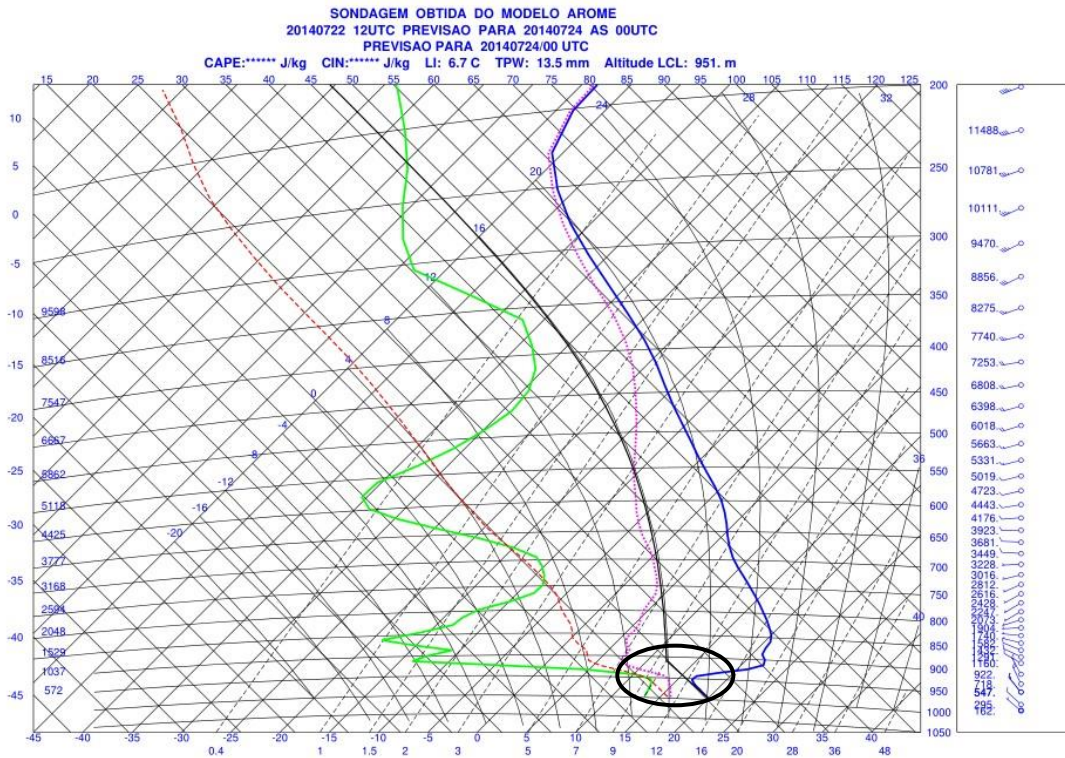


Figura III.11 - Tefigrama válido para as 00h de dia 24 julho (sem Alqueva - CY38SAL)

A Figura III.10 e a Figura III.11, referentes às 00h, não apresentam diferenças significativas entre si.

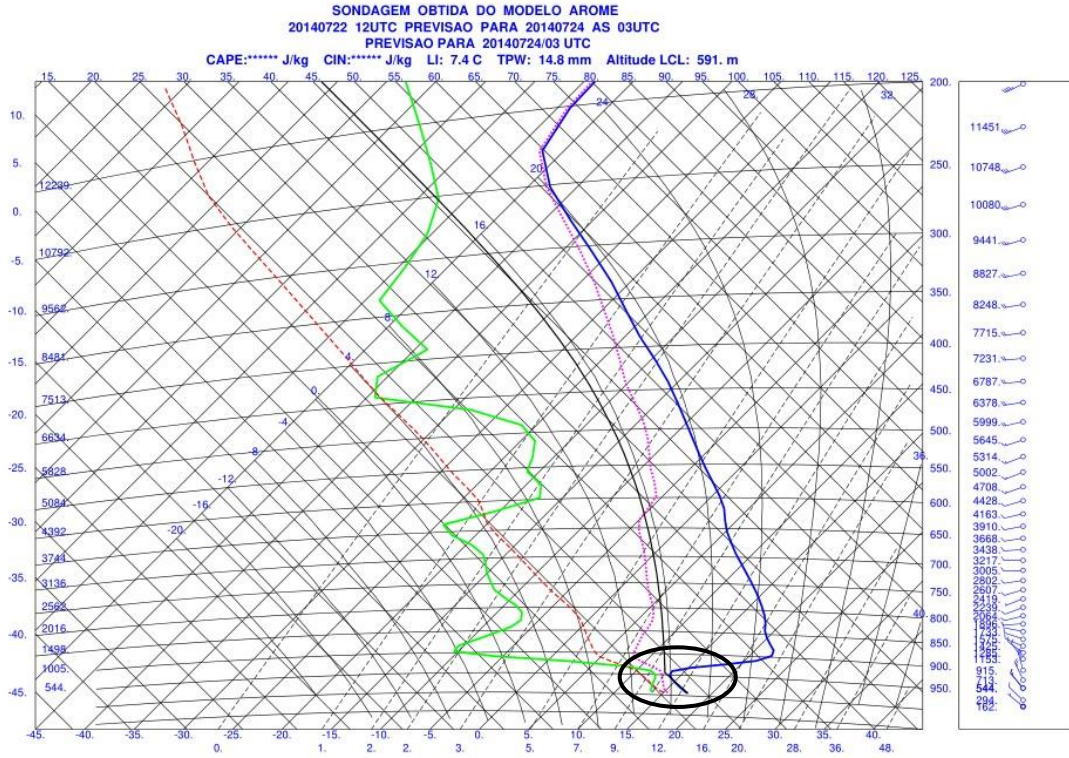


Figura III.12 - Tefigrama válida para as 03h de dia 24 julho (com Alqueva - CY38ALQ)

Nebulosidade

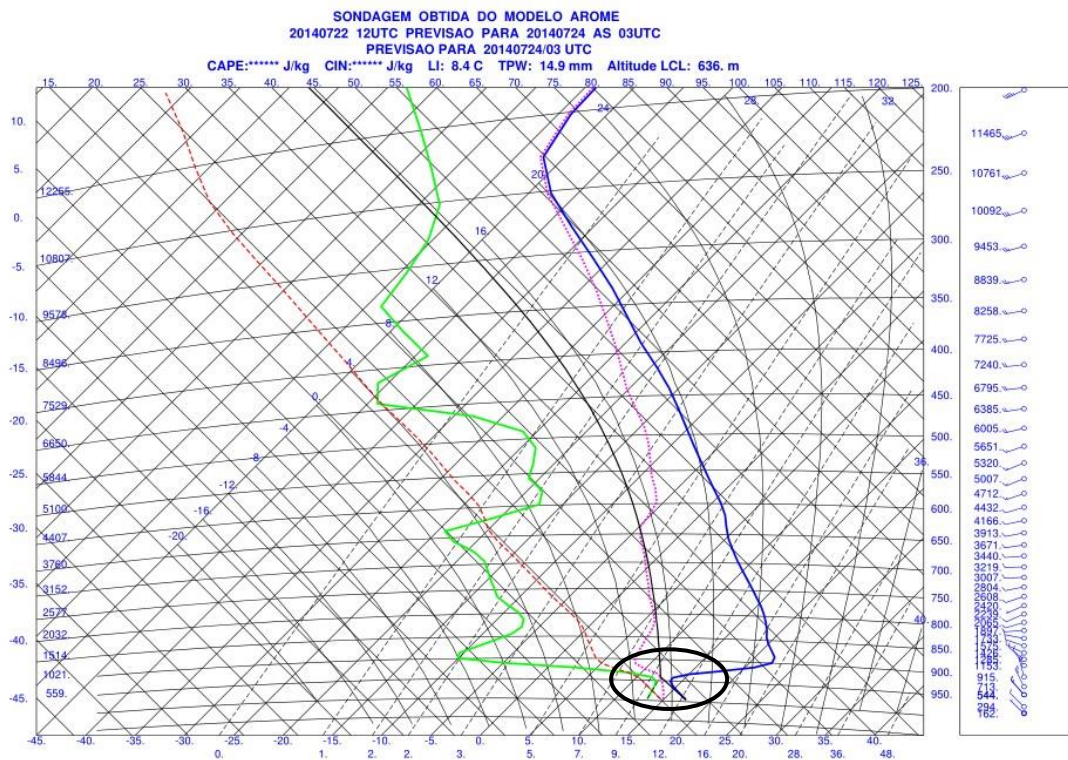


Figura III.13 - Tefigrama válido para as 03h de dia 24 julho (sem Alqueva - CY38SAL)

Tal como nas figuras anteriores, também a Figura III.12 e a Figura III.13, referentes às 03h, não apresentam diferenças significativas entre si. Nota-se sim, uma maior saturação em relação aos tefigramas previstos para as 00h. Quando comparado com o tefigrama observado às 03h, observase uma menor saturação prevista pelo modelo, estando as curvas ainda afastadas, contrariamente ao que foi observado.

Anexo III

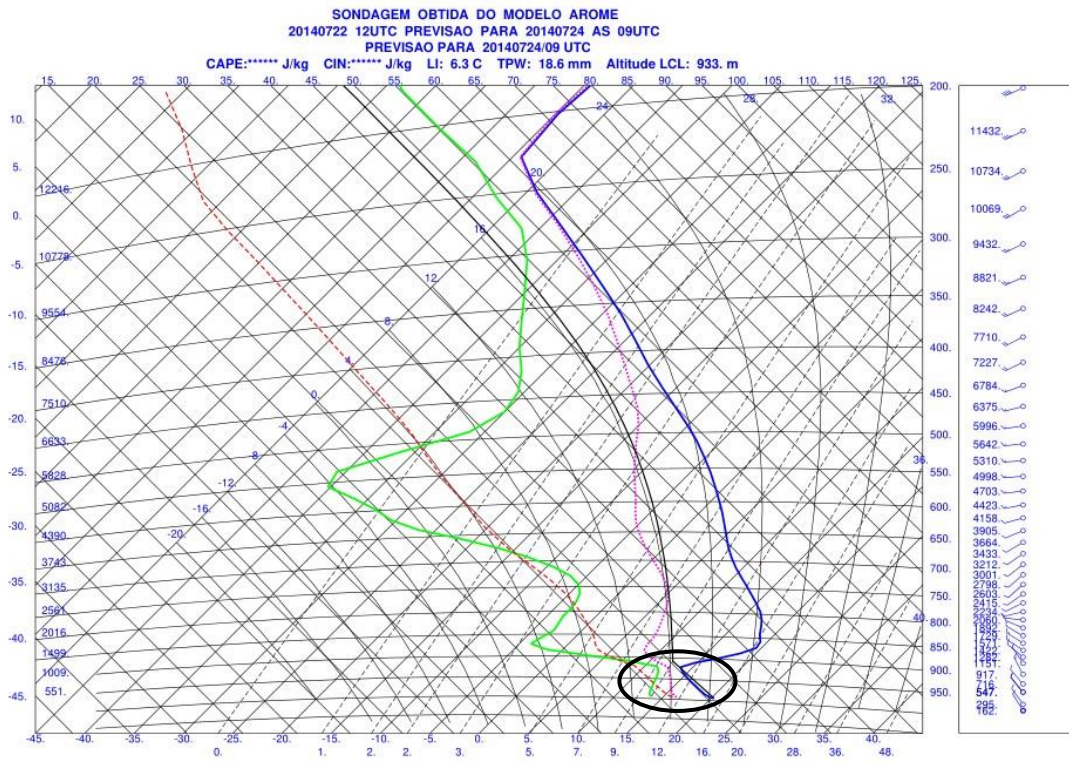


Figura III.14 - Tefigrama válido para as 09h de dia 24 julho (com Alqueva - CY38ALQ)

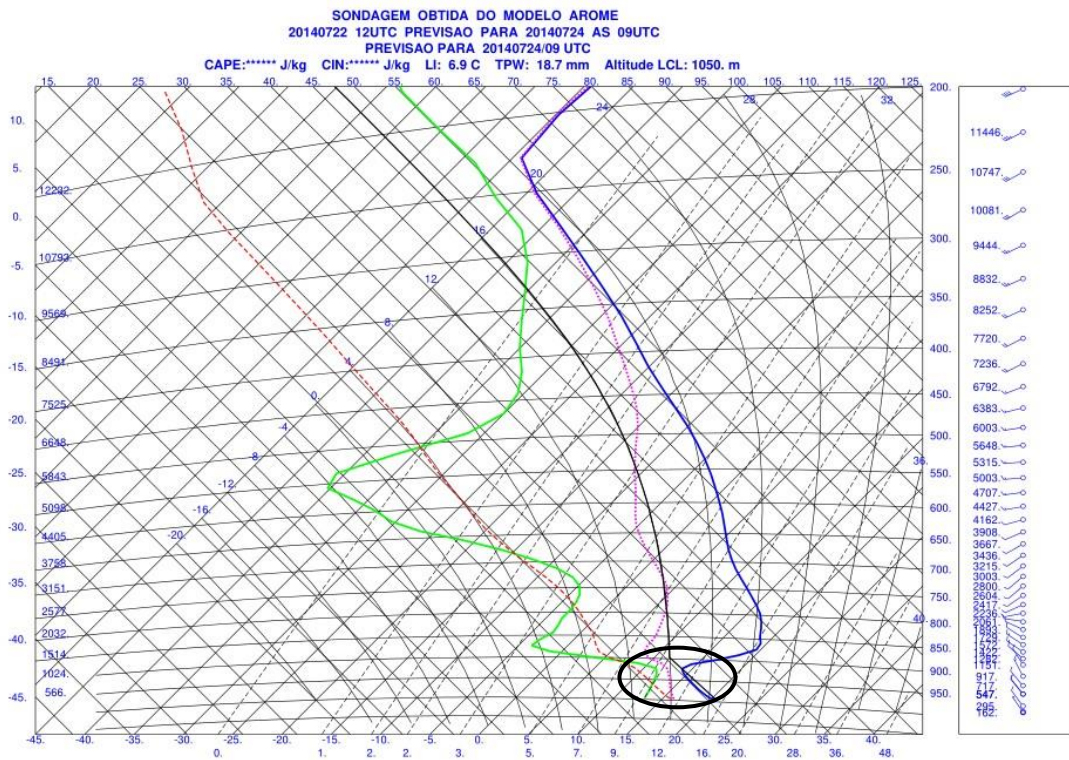


Figura III.15 - Tefigrama válido para as 09h de dia 24 julho (sem Alqueva - CY38SAL)

Nebulosidade

A Figura III.14 e a Figura III.15, não apresentando diferenças significativas entre si, mostram já uma dissipação da nebulosidade. Comparando com o tefigrama observado às 09h, o modelo prevê uma dissipação mais rápida da nebulosidade, ao contrário do que foi observado.