



Universidade de Aveiro Departamento de Física

2010

**Alexandra Santos da
Fonseca**

**Simulação da brisa marítima na costa ocidental
portuguesa**



**Universidade de
Aveiro**

2010

Departamento de Física

**Alexandra Santos da
Fonseca**

**Simulação da brisa marítima na costa ocidental
portuguesa**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia e Oceanografia Física, realizada sob a orientação científica do Doutor Alfredo Moreira Caseiro Rocha, Professor Associado com Agregação do Departamento de Física da Universidade de Aveiro.

o júri

presidente

Professor Doutor Paulo Manuel Cruz Alves da Silva
Professor auxiliar da Universidade de Aveiro

Professor Doutor Alfredo Moreira Caseiro Rocha
Professor associado da Universidade de Aveiro

Doutora Ana Cristina Caldeira da Silva Gouveia Carvalho
Fundação de Ciência e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer aos meus pais e aos meus irmãos o apoio incondicional ao longo de todo o percurso acadêmico e o encorajamento durante a elaboração desta dissertação.

Ao Tiago pelo companheirismo e motivação em todos os momentos.

Gostaria de agradecer ao meu orientador Doutor Alfredo Moreira Caseiro Rocha pela sua supervisão, orientação e por todos os conhecimentos que me transmitiu.

Agradeço ao Juan Ferreira pela disponibilidade e pelo incansável auxílio prestado na realização desta dissertação.

Aos meus amigos e colegas agradeço o apoio ao longo do percurso acadêmico.

A Todos o meu OBRIGADO.

palavras-chave Brisa marítima, costa portuguesa, simulação numérica, modelo WRF

resumo O presente trabalho propõe estudar o comportamento da brisa marítima em três locais da costa ocidental portuguesa, utilizando uma simulação realizada com o modelo numérico WRF. Foram seleccionados dois dias do mês de Agosto de 2009 para se proceder à realização da simulação. Com os resultados obtidos através da simulação foram analisados campos de temperatura, humidade relativa e vento, no sentido de comparar o comportamento nos três locais previamente seleccionados. Foi possível observar o aumento da humidade relativa e a diminuição da temperatura, consequência directa da passagem da brisa marítima, bem como o aumento da altura da camada limite planetária. Observou-se ainda uma zona de convergência, indicando a existência da frente de brisa. Concluiu-se que a brisa marítima adquire diferentes comportamentos consoante as condições verificadas em cada local, sendo que o factor estudado neste trabalho que mais influencia esse comportamento é a topografia do terreno.

keywords Sea breeze, the Portuguese coast, numerical simulation, WRF model

abstract This paper proposes to study the behaviour of sea breeze in three locations at the western Portuguese coast, using a simulation with the WRF numerical model. Two days of August 2009 were selected to proceed with the simulation. With the results obtained by the simulation fields of temperature, humidity and wind were analyzed in order to compare the behaviour in the three previously selected locations. It was possible to observe the increase of relative humidity and a temperature decrease, a direct result of crossing the sea breeze, as well as increasing the height of the planetary boundary layer. There was also a convergence zone, indicating the existence of the breeze front. It was concluded that the sea breeze has different behaviours depending on the conditions found at each site, and the factor studied in this work which mostly influences this behaviour is the topography.

Índice

| | |
|-----------------------------------|----|
| 1. Introdução | 1 |
| 2. Revisão bibliográfica | 2 |
| 3. Métodos e Dados | 6 |
| 3.1. Enquadramento teórico | 6 |
| Brisa | 6 |
| Formação da brisa | 6 |
| Frente de brisa | 7 |
| Influências | 9 |
| Modelo de circulação e brisa..... | 10 |
| 3.2 Dados | 12 |
| 3.3 Métodos | 13 |
| Descrição do modelo | 13 |
| Simulação | 14 |
| 4. Resultados e Discussão..... | 18 |
| 5. Conclusão | 46 |
| Bibliografia..... | 49 |
| ANEXO | 51 |

Lista de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Esquema representativo da circulação da brisa: marítima e terrestre. | 7 |
| Figura 2 – Fronteira da brisa marítima que sopra da direita, marcada por um limite de cumulus. (Simpson, 1994)..... | 8 |
| Figura 3 – Efeito da forma da linha de costa na intensidade da brisa. (Adaptado de Simpson, 1994)..... | 10 |
| Figura 4 - Aplicação do teorema de circulação à circulação da brisa do mar (Holton, 2004). | 11 |
| Figura 5 – Localização das estações da REN..... | 12 |
| Figura 6 - Representação dos cinco domínios utilizados pelo modelo de previsão WRF. . | 14 |
| Figura 7 – Representação dos domínios 1 e 2..... | 15 |
| Figura 8 – Representação do domínio 3..... | 16 |
| Figura 9 – Representação do domínio 4..... | 16 |
| Figura 10 – Representação do domínio 5..... | 16 |
| Figura 11 – Evolução temporal da velocidade do vento e da densidade do ar (linha vermelha), simuladas nos parques eólicos: Bezerreira, Candeeiros e São Silvestre para o dia 30 de Agosto de 2009..... | 18 |
| Figura 12 – Mapa sinóptico correspondente ao dia 30 de Agosto de 2009 (http://www.wetterzentrale.de/). | 19 |
| Figura 13 – Evolução temporal da velocidade do vento e da densidade do ar (linha vermelha), simuladas nos parques eólicos: Bezerreira, Candeeiros e São Silvestre para o dia 31 de Agosto de 2009..... | 20 |
| Figura 14 – Mapa sinóptico correspondente ao dia 31 de Agosto de 2009 (http://www.wetterzentrale.de/). | 21 |
| Figura 15 – Evolução temporal da velocidade do vento a 10 m de altitude simulada para a Torreira. (a) dia 30; (b) dia 31..... | 23 |
| Figura 16 – Evolução temporal da velocidade do vento a 10 m de altitude simulada para Ribamar. (a) dia 30; (b) dia 31. | 23 |
| Figura 17 – Evolução temporal da velocidade do vento a 10 m de altitude simulada para Odeceixe. (a) dia 30; (b) dia 31..... | 24 |

| | |
|--|----|
| Figura 18 – Evolução temporal do vento zonal a 10m na latitude 40°45’N (Torreira) sobreposto com vectores do vento ao longo de toda a longitude do domínio. a) dia 30; b) dia 31. | 24 |
| Figura 19 – Evolução temporal do vento zonal a 10m na latitude 39°12’N (Ribamar) sobreposto com vectores do vento ao longo de toda a longitude do domínio. a) dia 30; b) dia 31. | 25 |
| Figura 20 – Evolução temporal do vento zonal a 10m na latitude 37°26’N (Odeceixe) sobreposto com vectores do vento ao longo de toda a longitude do domínio. a) dia 30; b) dia 31. | 26 |
| Figura 21 - Evolução espacial da brisa marítima na região de Aveiro no dia 30 de Agosto de 2009. a) 9h, b) 12h, c) 15h e d) 18h..... | 27 |
| Figura 22 - Evolução espacial da brisa marítima na região de Aveiro no dia 31 de Agosto de 2009. a) 9h, b) 12h, c) 15h e d) 18h..... | 28 |
| Figura 23 - Evolução espacial da brisa marítima na região de Peniche no dia 30 de Agosto de 2009. a) 9h, b) 12h, c) 15h e d) 18h..... | 29 |
| Figura 24 - Evolução espacial da brisa marítima na região de Peniche no dia 31 de Agosto de 2009. a) 9h, b) 12h, c) 15h e d) 18h..... | 30 |
| Figura 25 - Evolução espacial da brisa marítima na região de Aljezur no dia 30 de Agosto de 2009. a) 9h, b) 12h, c) 15h e d) 18h..... | 31 |
| Figura 26 - Evolução espacial da brisa marítima na região de Aljezur no dia 31 de Agosto de 2009. a) 9h, b) 12h, c) 15h e d) 18h..... | 32 |
| Figura 27 – Evolução temporal da temperatura na latitude 40°45’N (Torreira) sobreposto com vectores do vento ao longo de toda a longitude do domínio. a) dia 30; b) dia 31. | 33 |
| Figura 28 – Evolução temporal da temperatura na latitude 39°12’N (Ribamar) sobreposto com vectores do vento ao longo de toda a longitude do domínio. a) dia 30; b) dia 31. | 34 |
| Figura 29 – Evolução temporal da temperatura na latitude 37°26’N (Odeceixe) sobreposto com vectores do vento ao longo de toda a longitude do domínio. a) dia 30; b) dia 31. | 34 |
| Figura 30 – Evolução temporal da humidade relativa na latitude 40°45’N (Torreira) sobreposto com vectores do vento ao longo de toda a longitude do domínio. a) dia 30; b) dia 31. | 35 |
| Figura 31 – Evolução temporal da humidade relativa na latitude 39°12’N (Ribamar) sobreposto com vectores do vento ao longo de toda a longitude do domínio. a) dia 30; b) dia 31. | 35 |

| | |
|--|----|
| Figura 32 – Evolução temporal da humidade relativa na latitude 37°26'N (Odeceixe) sobreposto com vectores do vento ao longo de toda a longitude do domínio. a) dia 30; b) dia 31. | 36 |
| Figura 33 - Evolução espacial da altura da camada limite na região de Aveiro no dia 30 de Agosto de 2009. a) 9h, b) 12h, c) 15h e d) 18h. | 37 |
| Figura 34 - Evolução espacial da altura da camada limite na região de Aljezur no dia 31 de Agosto de 2009. a) 9h, b) 12h, c) 15h e d) 18h. | 38 |
| Figura 35 - Evolução espacial da convergência da razão de mistura de vapor de água na região de Aljezur no dia 30 de Agosto de 2009. a) 15h, b) 16h, c) 17h e d) 18h. | 39 |
| Figura 36 - Distribuição vertical da componente zonal do vento na região de Peniche às 16h no dia 30 de Agosto de 2009, acompanhado com as streamlines do vento. | 40 |
| Figura 37 - Distribuição vertical da componente zonal do vento na região de Peniche às 15h no dia 31 de Agosto de 2009, acompanhado com as streamlines do vento. | 41 |
| Figura 38 - Skew-T de Bombarral no domínio de Peniche para o dia 31 de Agosto de 2009 às 7h (antes da formação da brisa marítima). | 42 |
| Figura 39 - Skew-T de Bombarral no domínio de Peniche para o dia 31 de Agosto de 2009 às 15h (durante a passagem da brisa marítima). | 43 |
| Figura 40 - Distribuição temporal do fluxo de vapor de água através de uma parede virtual ao longo de uma longitude fixa (8°42'N) na região de Aveiro. | 44 |
| Figura 41 - Distribuição temporal do fluxo de vapor de água através de uma parede virtual ao longo de uma longitude fixa (9°20') na região de Peniche. | 44 |
| Figura 42 - Distribuição temporal do fluxo de vapor de água através de uma parede virtual ao longo de uma longitude fixa (8°47') na região de Aljezur. | 45 |

1. Introdução

Uma das características de Portugal Continental é ter cerca de metade do seu território a fazer fronteira com o oceano. Com esta característica, o território português sofre influência das interações atmosféricas entre a terra e o mar.

Um dos fenómenos provocados pela interação terra/mar designa-se circulação da brisa costeira. Esta circulação é dividida por uma brisa marítima, que actua durante o dia e consiste num vento proveniente do mar, e por uma brisa terrestre que actua durante a noite com vento oriundo de terra.

O estudo das brisas pode ser útil no estudo da dispersão de poluentes nas zonas costeiras. O facto de as brisas penetrarem até dezenas de quilómetros de terra, faz delas um elemento importante no transporte de poluentes contidos na atmosfera. Por outro lado, as brisas marítimas criam um clima ameno, acolhedor para se viver nas regiões costeiras.

O presente trabalho surge no âmbito da conclusão do Mestrado em Meteorologia e Oceanografia Física na Universidade de Aveiro. O estudo efectuado tem como objectivo analisar o comportamento da brisa marítima em três locais distintos da costa ocidental portuguesa.

Este documento está organizado em capítulos, sendo o presente o primeiro de cinco. No segundo capítulo será feita uma revisão bibliográfica fazendo referência a alguns estudos efectuados sobre brisas. No terceiro capítulo apresentam-se os dados e métodos utilizados neste trabalho. Será dividido em três sub-capítulos: o primeiro sub-capítulo apresenta o enquadramento teórico onde será apresentado o conceito de brisa, a formação da brisa, a frente de brisa, as influências que a brisa sofre e, por fim, será descrito de um modelo teórico de circulação, no qual assenta a circulação da brisa; o segundo sub-capítulo apresenta os dados utilizados no estudo e por fim o terceiro sub-capítulo expõe os métodos utilizados bem como o procedimento da simulação realizada. No capítulo quarto apresentar-se-á os resultados obtidos e efectuar-se-á a sua discussão para que no capítulo cinco sejam feitas as conclusões finais do estudo apresentado.

2. Revisão bibliográfica

Há uns séculos atrás, as brisas já eram conhecidas por pescadores. Para estes era a brisa que soprava de terra que os levava para alto mar e era a brisa vinda do mar que os acompanhava de regresso a casa.

Só bem mais tarde, já no século XX, estudos sobre brisas começaram a surgir. Segundo Atkinson (1981), estudos teóricos sobre o mecanismo da circulação das brisas marítimas datados antes de 1945 são raros. A partir de 1955, a modelação numérica tornou-se o principal método de investigação. Nos últimos 35 anos a maioria dos problemas referentes à circulação da brisa marítima foram abordados.

Nos anos 70 surgiram estudos sobre teoria linear das brisas marítima e terrestre. Walsh (1974) realizou um estudo para explorar as capacidades e as limitações de alguns modelos simples de brisas marítimas. Com este mesmo modelo linear, Walsh verificou que a circulação do fluxo de calor indica que a componente da brisa marítima para a circulação geral pode descrever uma percentagem do fluxo vertical total do calor sensível até vários metros de altitude. Neste estudo foi ainda encontrada uma auto-advecção da brisa marítima para se compreender o deslocamento da velocidade máxima em direcção a terra.

Mark & Walsh (1975) realizaram um estudo que consistia em examinar teoricamente as diferenças entre as brisas marítima e terrestre. O intuito deste estudo era explicar o facto de as brisas marítimas serem mais intensas que as brisas terrestres quando o contraste da temperatura mar-terra é igual durante as duas fases do ciclo. O resultado deste estudo mostrou que as principais diferenças nas circulações de brisas marítimas e terrestres podem ser atribuídas às variações diurnas da estabilidade estática e do coeficiente de difusão. Dos dois parâmetros, as flutuações de estabilidade apresentam um papel mais importante do que as variações de difusividade. Este último apresenta provavelmente um menor papel devido ao simultâneo aumento do mecanismo de condução e à diminuição da viscosidade em resultado do aumento da difusividade.

Os diferentes tipos de resposta da atmosfera à variação diurna da fonte de calor que a alimenta foram uma das preocupações de Rotunno (1983) no seu estudo. Rotunno fez uma revisão de trabalhos já realizados sobre a teoria linear das brisas marítimas. Rotunno considerou que a atmosfera terrestre é caracterizada por ser um fluido rotativo e

estratificado pelo parâmetro de Coriolis, f , pela frequência de Brunt-Väisälä, N , e o ciclo diurno de aquecimento e arrefecimento da terra em relação ao mar actua como fonte estacionária e oscilatória com frequência, ω .

O comportamento das brisas em determinadas regiões também foi, e continua a ser, estudado ao pormenor.

Zhong, *et al* (1991) estudaram a interacção das brisas marítimas com as brisas provenientes do rio na costa Este da Florida. Um modelo de mesoscala de três dimensões foi utilizado e as suas simulações comparadas com observações efectuadas no local. A comparação entre brisas marítimas e brisas de rio mostrou a existência de grandes diferenças na circulação horizontal das brisas, no entanto na circulação vertical as diferenças eram mínimas.

Zhu e Atkinson (2004) observaram e modelaram a climatologia da circulação da brisa marítima no Golfo Pérsico. Para este estudo combinaram dados de observação com dados de um modelo numérico que revelaram as condições atmosféricas perto da superfície. As circulações das brisas, marítima e terrestre, são uma constante no Golfo Pérsico cujas dimensões variam sazonalmente e diariamente. No Verão observa-se uma brisa mais intensa e profunda do que no Inverno. Durante a noite, o núcleo da circulação da brisa terra-mar é uma área de confluência, enquanto de dia torna-se numa área de difluência. O comportamento da circulação da brisa em cada lado do Golfo, Norte, Sul, Este e Oeste, mostrou-se diferente.

Nitis, *et al* (2005) realizaram um estudo que focava o efeito da topografia no desenvolvimento da brisa marítima. A área de estudo foi uma região costeira a Oeste da Croácia onde o ambiente topográfico é bastante complexo. Nesta região encontram-se montanhas de um lado e ilhas do outro. Foi verificado neste estudo que a estrutura da brisa marítima indicava uma dependência no fluxo de vento de larga-escala. Os resultados mostraram que a topografia da área de estudo causava um grande impacto na circulação da brisa. Para se compreender melhor este impacto, Nitis, *et al* (2005) retiraram do modelo utilizado, MEMO, as ilhas existentes na região substituindo por água. Com esta mudança na topografia local foi possível observar algumas diferenças, tais como a diminuição da velocidade do vento devido à redução do gradiente horizontal de temperatura; a modificação da direcção da brisa marítima; as brisas marítimas desenvolvidas pela

presença das ilhas desapareceram; e a extensão horizontal em conjunto com a topografia heterogénea conduziu a uma rotação anti-horária do fluxo.

Num estudo realizado por Rani, *et al* (2009) foi utilizado um modelo regional de alta resolução para caracterizar a estrutura e o dinamismo da circulação das brisas marítima e terrestre na costa Oeste da Índia. As simulações do modelo mostraram que a extensão offshore da brisa era maior que a extensão da penetração em terra. Foi ainda verificado que a extensão vertical da célula de circulação da brisa era aproximadamente de 1km.

Chunyan, *et al* (2009) efectuou um estudo da estrutura e evolução da brisa marítima durante um teste para os Jogos Olímpicos de vela em Qingdao. Neste estudo foram utilizados dados provenientes de estações automáticas de superfície, de bóias e de um modelo tridimensional na região de Qingdao. Excluindo os dias de chuva e dias afectados por tufões, entre 18 e 31 de Agosto de 2006 formaram-se brisas marítimas nesta região. Verificou-se neste estudo que as brisas sentidas em Qingdao tinham uma extensão vertical pequena, chegando aos 300m. No entanto, quando as brisas eram fortes a sua extensão chegava a 1.5km.

Azotin-Molina, *et al* (2009), realizaram um estudo sobre as brisas marítimas na costa do mar Mediterrâneo na província de Alicante. Foram analisadas brisas marítimas ocorridas entre 2000 e 2005. Os principais objectivos deste estudo foram: determinar as características estatísticas dos parâmetros da circulação das brisas marítimas na Baía de Alicante; examinar as rotações das brisas marítimas e terrestres e elaborar a climatologia estatística; identificar padrões sinópticos favoráveis ao desenvolvimento das brisas marítimas. Com este trabalho foi possível determinar alguns parâmetros do fenómeno das brisas marítimas, tais como o tempo médio da sua passagem, a velocidade e direcção médias do vento no início e no fim da brisa, a duração da brisa e o percurso da brisa.

O estudo da circulação das brisas em Portugal ainda não foi muito desenvolvido. Foram efectuados trabalhos de investigação que envolviam o estudo de brisas, no entanto não existem muitos em que as brisas sejam o elemento principal de estudo.

Coutinho (1995) realizou um estudo sobre as circulações atmosféricas de mesoscala na costa portuguesa. O objectivo deste trabalho foi abordar estas circulações como influência na qualidade do ar do nosso país. Foram utilizadas as circulações das brisas costeiras como principal instrumento de estudo devido à concentração de indústria existente

nas zonas costeiras. Coutinho (1995) focou o estudo em duas regiões: Aveiro e Lisboa. Em ambas as regiões foram utilizadas simulações de um modelo de mesoscala, MEMO, que no caso da região de Aveiro foi complementado com dados de uma campanha de prospecção meteorológica. Os resultados indicaram que a região de Aveiro é afectada por brisas marítimas de grande intensidade. As brisas terrestres são menos bem definidas e de menor intensidade comparando com as brisas marítimas. Através do modelo MEMO foi possível mostrar que a circulação nocturna era dominada por escoamentos descendentes provenientes das encostas das montanhas da região. Coutinho (1995) verificou que, quando temperaturas nocturnas eram baixas, o desenvolvimento da brisa marítima era lento e dependia da topografia da região. Segundo este estudo, a frente de brisa propaga-se paralelamente à linha de costa até à linha de montanhas costeiras onde poderá ser influenciada por escoamentos orográficos. Neste estudo sugeriu-se ainda que a Ria de Aveiro poderá distorcer localmente a penetração da brisa marítima. No estudo realizado na região de Lisboa, verificou-se a existência, principalmente no Verão, de uma circulação de origem térmica associada à massa de água do estuário do Tejo, equivalente a uma brisa de lado. Nesta mesma região, no Inverno, os resultados revelaram que os fenómenos de mesoscala são importantes formando brisas terrestres de grande intensidade. As serras e os complexos estuarinos que envolvem a cidade de Lisboa provocam efeitos do desenvolvimento e progressão da brisa marítima.

Salgado (2005) envolveu o estudo das brisas no seu estudo sobre o impacto da construção do empreendimento do Alqueva no clima da região. No seu trabalho, Salgado analisou os resultados provenientes de simulações do modelo atmosférico MesoNH para o Sul de Portugal e caracterizou o escoamento local como o resultado da interacção entre a circulação associada ao Anticiclone dos Açores, o desenvolvimento da depressão térmica sobre a Península, o sistema costeiro de brisas marítimas e a existência de fluxos de energia à superfície. A simulação utilizada correspondia a uma circulação típica de Verão influenciada pelo anticiclone dos Açores com o desenvolvimento do sistema de depressão térmica sobre a Península Ibérica. Verificou-se que o facto de as elevações existentes no Sul de Portugal não serem grandes, permite a penetração da brisa marítima até regiões mais interiores. No entanto, o efeito da circulação da brisa é condicionado pelo desenvolvimento da depressão térmica organizando-se numa escala regional e provocando um aumento de intensidade dos ventos e a sua rotação para Oeste.

3. Métodos e Dados

3.1. Enquadramento teórico

Brisa

A interacção entre o mar e a terra provoca alguns fenómenos atmosféricos. Um bom exemplo dessa interacção designa-se brisa costeira. As brisas costeiras são fenómenos fáceis de identificar e de observação simples (Coutinho, 1995).

As circulações das brisas costeiras são circulações de mesoscala de origem térmica e dividem-se em dois tipos: brisas marítimas e brisas terrestres. É a distribuição diferenciada da temperatura da superfície que desenvolve este tipo de circulações. As brisas marítimas formam-se durante o dia quando a temperatura da terra é mais elevada que a temperatura do mar, e as brisas terrestres formam-se durante a noite quando o gradiente horizontal de temperatura entre a terra e o mar se inverte (Coutinho, 1995).

Apesar de as brisas poderem ocorrer durante todo o ano, é no Verão que se observam mais, a sua intensidade é maior e podem penetrar em terra em dezenas de quilómetros (Salgado, 2005).

A altura da brisa marítima pode variar entre os 100m e 1km, enquanto a distância máxima de penetração em terra é, nas latitudes médias, cerca de 50km e nos trópicos cerca de 300km (Atkinson, 1981).

Formação da brisa

Durante o dia, a radiação solar não aquece a superfície terrestre de maneira homogénea. Devido ao elevado calor específico do oceano, o aquecimento da superfície do mar e da superfície da terra dá-se com intensidade diferente.

Ao contrário da água, o solo não permite que os raios solares penetrem em profundidade, provocando um rápido aquecimento à superfície. Consequentemente, à noite, o solo arrefece mais rápido que a água, pois o calor armazenado situa-se junto à superfície.

Considerando um dia de céu limpo, a radiação solar ao aquecer mais rapidamente a superfície da terra do que a superfície do mar, origina um gradiente horizontal de temperatura. Assim, o ar sobre a terra aquece e expande mais rápido que o ar sobre o mar.



Figura 1 – Esquema representativo da circulação da brisa: marítima e terrestre.

Como a superfície da terra aquece mais, o ar tende a subir criando um centro de baixas pressões à superfície. Por outro lado, o ar mais frio sobre a superfície do mar tende a criar um centro de altas pressões. Surge assim um fluxo de ar frio proveniente do centro de altas pressões em direcção ao centro de baixas pressões. Este fluxo designa-se brisa marítima.

De noite, o processo inverte-se. A superfície da terra arrefece mais rápido e o ar frio tende a descer e a criar um centro de altas pressões à superfície. Na superfície do mar é criado um centro de baixas pressões devido à subida do ar mais quente. Surge assim um fluxo de ar das pressões altas para as pressões baixas designado brisa terrestre.

Nestes dois processos, é criada em altitude uma corrente de retorno. Esta corrente de retorno vai compensar o ar que desce de um lado com o ar que sobe do outro. Assim, na brisa marítima a corrente de retorno é offshore e na brisa terrestre a corrente de retorno é onshore. Algumas observações mostram que esta corrente existe com altitudes compreendidas entre 500m e 3km (Atkinson, 1981).

Frente de brisa

O início da propagação da brisa marítima ocorre, por vezes, na forma de uma rajada à qual se designa frente de brisa (Simpson, 1994).

A frente de uma brisa marítima é, na realidade, uma frente fria. A brisa transporta uma massa de ar proveniente da zona oceânica, que é consequentemente uma massa de ar frio (Fonseca, 2008).

As condições sinópticas condicionam a formação da frente de brisa. Em dias em que o vento é *offshore* e suficientemente forte, a frente de brisa pode desenvolver-se

completamente junto da linha de costa. Nestas condições, a frente de brisa permanece estacionária ou move-se lentamente para o interior da terra, enquanto a própria brisa continua a soprar por trás da frente (Simpson, 1994).

A frente de brisa apresenta uma largura entre 1 a 2km, de forte convergência a baixa altitude e com movimentos verticais com velocidades entre 0,5 e 2,6m/s (Coutinho, 1995).

A passagem de uma frente de brisa pode ser observada pela existência de nuvens. Na propagação da brisa, o ar é forçado a ascender na zona de convergência da frente de brisa e pode atingir o nível de condensação resultando na formação de uma linha de nuvens. Em dias em que o céu já se apresenta com nuvens, poderá formar-se uma linha com nuvens mais desenvolvidas e assim visualizar-se a frente de brisa (Simpson, 1994).



*Figura 2 – Fronteira da brisa marítima que sopra da direita, marcada por um limite de cumulus.
(Simpson, 1994)*

Para além da formação de nuvens, a passagem da frente de brisa pode também ser caracterizada por outros parâmetros tais como a direcção do vento, a descida brusca de temperatura e o aumento da humidade relativa (Coutinho, 1995).

Influências

A formação e o desenvolvimento da brisa marítima são influenciados por vários factores.

Um desses factores é o vento sinóptico que pode ser paralelo à linha de costa, *offshore* ou *onshore*.

O efeito do vento paralelo à linha de costa está pouco definido. No entanto, estudos efectuados por Dixir & Nicholson (1964) e por Frizzola & Fisher (1963) referem que este tipo de fluxo não provoca perturbações na formação e desenvolvimento da brisa (Atkinson, 1981).

Quando o vento é *onshore* o desenvolvimento da brisa marítima pode ser camuflado. Por vezes, nestas condições, o gradiente de temperatura entre o mar e a terra, e consequentemente o gradiente de pressão, é travado, reduzindo a possibilidade de se formar a brisa marítima. Se o vento *onshore* for fraco, a brisa marítima forma-se no início da manhã e pode penetrar até mais de 50km da costa (Atkinson, 1981).

No caso em que o vento é *offshore* os gradientes de temperatura e de pressão são deslocados para cima do mar e a brisa só se faz sentir em terra a meio da tarde. A condição de vento *offshore* é a ideal para se observar a formação e a passagem da frente de brisa (Atkinson, 1981).

Outro factor que influencia a formação da brisa, apesar de ser um factor pouco estudado, é a estabilidade da atmosfera. Pensa-se que o momento mais favorável à penetração em terra da brisa marítima é o momento de maior instabilidade vertical atmosférica. Numa atmosfera estável as camadas mais elevadas apresentam um efeito travão à circulação vertical da brisa. Pelo contrário, o ar instável favorece o prolongamento da circulação, tanto vertical como horizontal, e permite um aumento da intensidade (Atkinson, 1981).

O formato da linha de costa é um efeito muito importante no desenvolvimento da brisa marítima. Formam-se áreas de convergência e divergência consoante este formato. Quando a linha de costa apresenta uma forma côncava, a divergência aumenta. Por outro lado, quando a linha de costa tem uma forma convexa é a convergência que aumenta (Simpson, 1994).

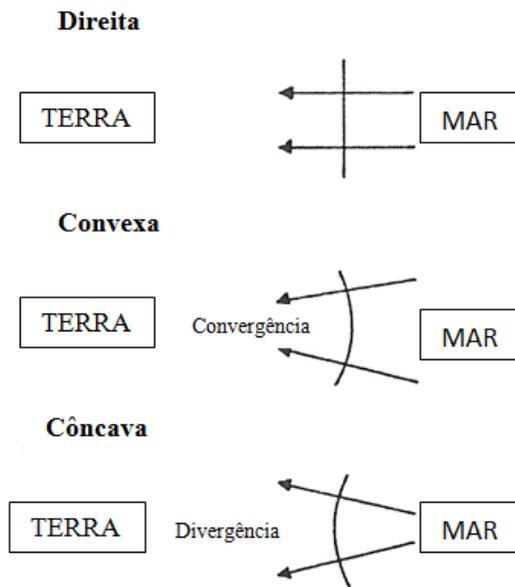


Figura 3 – Efeito da forma da linha de costa na intensidade da brisa. (Adaptado de Simpson, 1994)

A topografia é também um dos factores que influenciam o desenvolvimento da brisa marítima. A presença de montanhas a 10 ou 20 quilómetros de distância da costa podem desviar a direcção da propagação da brisa. Devido ao aquecimento nas encostas, formam-se ventos locais nas montanhas que são sentidos em torno destas. O efeito das montanhas observa-se na rotação da direcção da brisa no sentido horário ou anti-horário, adicionando ou subtraindo, respectivamente, o seu efeito ao efeito da rotação da terra sobre as brisas (Simpson, 1994).

Modelo de circulação e brisa

Num fluido baroclínico, a circulação pode ser gerada pelo termo solenoide de densidade-pressão. Se a pressão for uniforme ao longo da superfície da terra, as isóbaras acima do solo inclinam-se para cima, em direcção ao oceano, enquanto que as isopicnicas inclinam-se para baixo, em direcção ao solo. (Holton, 2004) A circulação referida pode ser representada como mostra a figura 3.

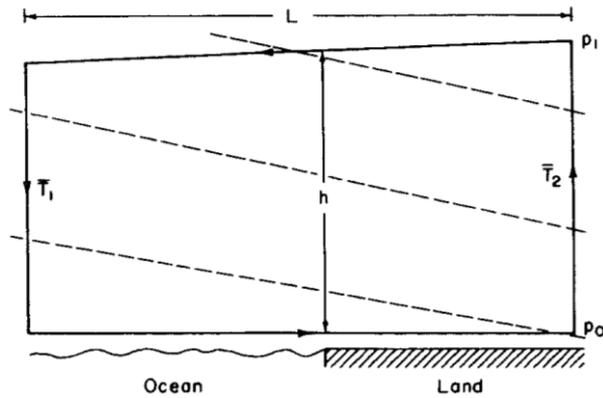


Figura 4 - Aplicação do teorema de circulação à circulação da brisa do mar (Holton, 2004).

Para calcular a aceleração resultante da intersecção das superfícies de densidade-pressão, aplica-se o teorema da circulação integrando ao longo de um circuito num plano vertical perpendicular à linha de costa (Holton, 2004).

Substituindo a lei dos gases ideais no teorema da circulação obtém-se

$$\frac{DC_a}{Dt} = - \oint R T d \ln p \quad \text{Equação (5)}$$

Como os segmentos horizontais foram considerados com pressão constante, existe uma contribuição do integral apenas para os segmentos verticais. A taxa de aumento resultante da circulação é

$$\frac{DC_a}{Dt} = R \ln \left(\frac{p_0}{p_1} \right) (\bar{T}_2 - \bar{T}_1) > 0 \quad \text{Equação (6)}$$

Considerando $\langle u \rangle$ a velocidade zonal, ao longo do circuito obtém-se

$$\frac{D \langle u \rangle}{Dt} = \frac{R \ln \left(\frac{p_0}{p_1} \right)}{2(h + L)} (\bar{T}_2 - \bar{T}_1) \quad \text{Equação (7)}$$

onde R é a constante dos gases para o ar seco, p_0 é a pressão à superfície, p_1 é a pressão num dado nível, h é a altitude a que esse nível está, L é a distancia do ponto 1, situado no mar, está do ponto 2, situado em terra. Por fim, $(\bar{T}_2 - \bar{T}_1)$ é a diferença de temperatura entre o ponto 2 e o ponto 1.

3.2 Dados

O procedimento deste trabalho foi dividido em duas partes.

A primeira parte do trabalho tinha como objectivo seleccionar dias em que se observava o fenómeno de brisa marítima mais intenso. É durante os meses de Verão que as brisas marítimas se formam com mais frequência e com mais intensidade. Mediante esta informação, os meses em estudo para esta parte foram Agosto de 2008 e Agosto de 2009.

Foram utilizados mapas sinópticos adquiridos nos sites <http://www.eurad.uni-koeln.de/> e <http://www.wetterzentrale.de/> para se analisar a existência de frentes frias que pudessem interferir na identificação das brisas marítimas.

Em paralelo, foram analisados dados provenientes das previsões feitas para os parques eólicos instalados em Portugal Continental. Estes dados consistiam em valores de intensidade e direcção do vento e a densidade do ar tanto à superfície como à altura das torres eólicas, simulados de quinze em quinze minutos. Das estações existentes nesta previsão, foram escolhidas três: São Silvestre, Bezerreira e Candeeiros. A escolha destas estações teve em consideração o facto de estarem relativamente próximas da costa portuguesa, de conterem o maior número de dados completos e representarem grande parte da zona litoral de Portugal Continental.



Figura 5 – Localização das estações da REN.

A partir dos dados realizaram-se gráficos de vento e densidade do ar. De seguida calculou-se o índice de brisa. Definiu-se o índice de brisa como sendo o valor máximo da

aceleração do ar entre o meio-dia e as 17h, desde que às 17h a componente zonal do vento fosse positiva, ou seja, vento de Oeste.

Reunidas as informações adquiridas a partir dos mapas sinópticos, dos gráficos de vento e do índice de brisa calculado, escolheram-se os dias 30 e 31 de Agosto de 2009.

3.3 Métodos

Escolhidos os dias com brisas mais intensas, passou-se à segunda parte do trabalho. Nesta segunda parte procedeu-se à realização de uma simulação numérica utilizando o modelo numérico de previsão WRF (Weather Research and Forecasting).

Descrição do modelo

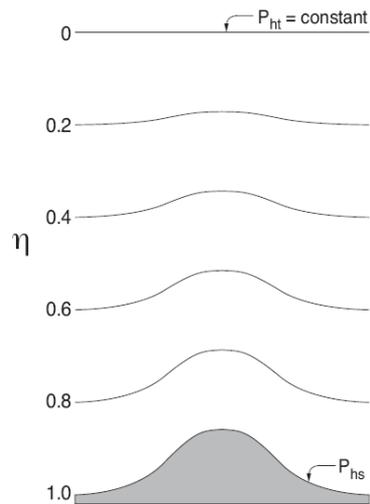
Os dados utilizados na segunda parte deste trabalho foram obtidos a partir de simulações efectuadas por um modelo numérico de previsão de tempo, designado por Weather Research and Forecasting (WRF) (Skamarock, 2008).

O WRF é um modelo desenvolvido por diversas entidades ligadas à investigação nos Estados Unidos da América, sendo uma referência na área da modelação numérica de mesoscala em vários países.

As condições iniciais e de fronteira utilizadas pelo WRF são obtidas a partir de simulações previamente realizadas pelo modelo global de previsão do tempo designado Global Forecasting System (GFS). O GFS opera com uma resolução horizontal elevada de 0.5° latitude x 0.5° longitude (aproximadamente 40km na nossa região).

O modelo WRF utiliza como coordenadas verticais as coordenadas σ , η . As coordenadas η permitem que a camada inferior da atmosfera do modelo seja representada, para cada ponto da malha, por um degrau horizontal. Estas coordenadas são definidas pela expressão:

$$\eta = \frac{(p_h - p_{ht})}{(p_{hs} - p_{ht})}$$



onde p_h é a componente hidrostática da pressão, p_{hs} refere-se a valores ao longo da superfície e p_{ht} a valores no topo da atmosfera do modelo (Skamarock *et al*, 2008).

Simulação

Antes de se realizar a simulação foram criadas todas as condições necessárias. As condições iniciais e de fronteira foram obtidas através de previsões previamente feitas pelo modelo global de previsão do tempo GFS (Global Forecasting System).

Para a realização da simulação no WRF, a área de estudo, Portugal Continental, foi subdividida em cinco domínios, como pode ser visualizado na figura 6

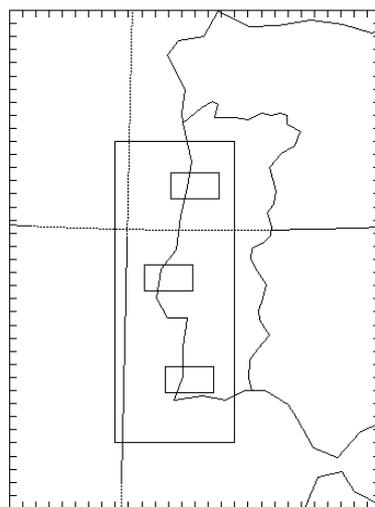


Figura 6 - Representação dos cinco domínios utilizados pelo modelo de previsão WRF.

O primeiro domínio (D1) inclui todo o território de Portugal Continental, parte oeste do território espanhol e uma área considerável do Oceano Atlântico, representado na figura 7. A resolução horizontal é de 25km e as previsões foram efectuadas de três em três horas.

O segundo domínio (D2) inclui grande parte de Portugal Continental e uma área do Oceano Atlântico, como pode ser visualizado na figura 7. Apresenta uma resolução de 5km e as previsões foram efectuadas de uma em uma hora.

Os domínios três, quatro e cinco (D3, D4 e D5) são domínios mais pequenos que incluem as regiões de Aveiro, Peniche e Aljezur, respectivamente, e uma pequena área do Oceano Atlântico. Estes domínios estão representados nas figuras 8, 9 e 10. A resolução horizontal destes domínios é de 1km e foram guardadas previsões de dez em dez minutos.

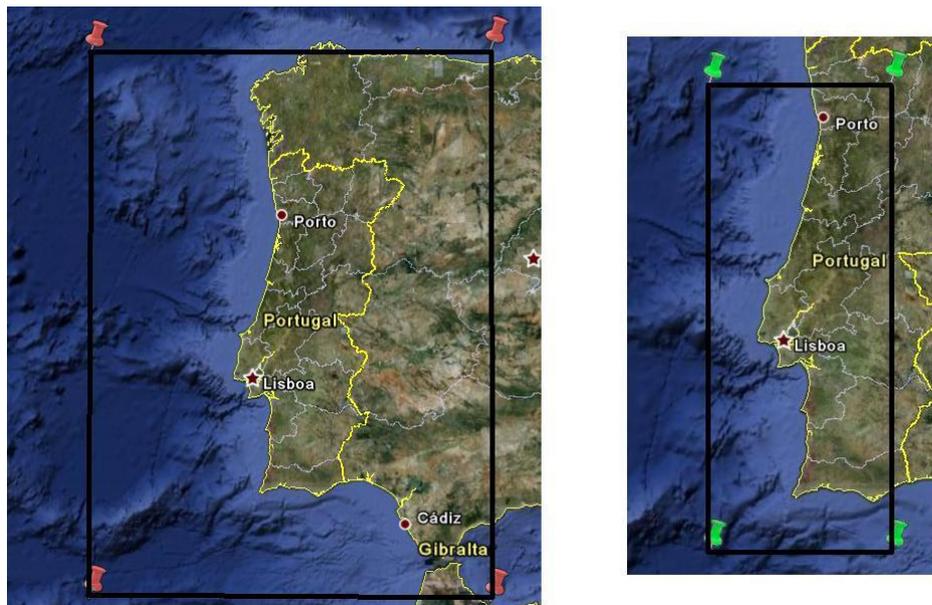


Figura 7 – Representação dos domínios 1 e 2.

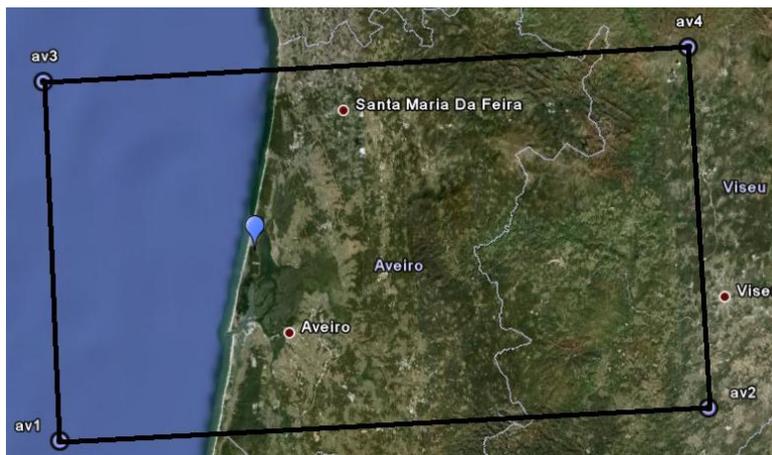


Figura 8 – Representação do domínio 3.



Figura 9 – Representação do domínio 4.

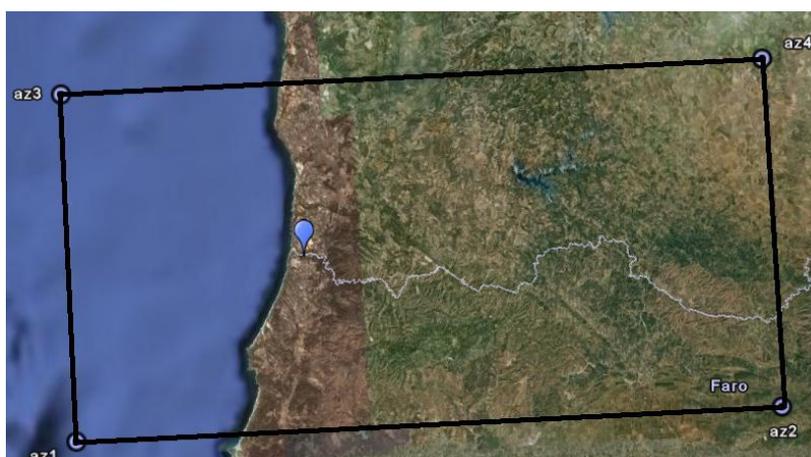


Figura 10 – Representação do domínio 5.

Os domínios 3, 4 e 5 apresentam dimensões com cerca de 90km na direcção Oeste-Este e 50km na direcção Sul-Norte. A escolha destas regiões teve em conta principalmente o facto de o formato da linha de costa ser diferente entre elas, assim o comportamento da brisa marítima seria de se esperar diferente em cada uma. A localização em relação à zona do território, Norte, Centro e Sul, também foi tida em conta na escolha dos locais de estudo.

Estando as condições iniciais e de fronteira preparadas e os domínios construídos, procedeu-se à realização da simulação. Efectuou-se então uma simulação iniciando às 00h de dia 30 de Agosto de 2009 e finalizando às 00h do dia 1 de Setembro de 2009.

Com a simulação pronta passou-se à análise dos dados resultantes da mesma. Para isso efectuaram-se cálculos e gráficos utilizando como ferramentas o programa GrADS (Grid Analysis and Display System) e o Matlab.

Na análise dos resultados foram estudados, através de observação de gráficos, parâmetros como o vento, a temperatura, a humidade relativa, a razão de mistura de vapor de água. Foram efectuados gráficos skew-T com o intuito de se estudar a atmosfera na sua extensão vertical e foi calculado o fluxo de vapor de água que atravessa uma parede meridional através da equação do balanço para o vapor de água:

$$Q_{\lambda} = \int_0^{p_0} qu \frac{dp}{g} = \langle qu \rangle \frac{p_0}{g} \quad \text{Equação (4)}$$

4. Resultados e Discussão

Como já foi referido na descrição do procedimento, este trabalho foi dividido em duas partes. A escolha dos dias a analisar foi o primeiro passo para se poder estudar o fenómeno da brisa marítima. Esta escolha cingiu-se aos meses de Agosto 2008 e Agosto de 2009. Dos dados adquiridos a partir das previsões feitas para os parques eólicos, efectuaram-se gráficos de vento e de densidade do ar para os dias destes meses. Paralelamente, analisaram-se mapas sinópticos para cada dia com o intuito de se identificarem frentes frias que pudessem confundir o reconhecimento das brisas marítimas. Foi também calculado o índice de brisa tendo em conta que este consistia no máximo da aceleração do vento entre o meio-dia e as 17h, desde que às 17h a componente zonal do vento fosse positiva.

Depois de uma análise cuidada e tendo em conta os factores referidos no parágrafo anterior, foram seleccionados dois dias: 30 e 31 de Agosto de 2009. De seguida, nas figuras 11, 12, 13 e 14, são apresentados os gráficos, os mapas sinópticos e a tabela de índices de brisa que levaram à escolha destes dias em particular.

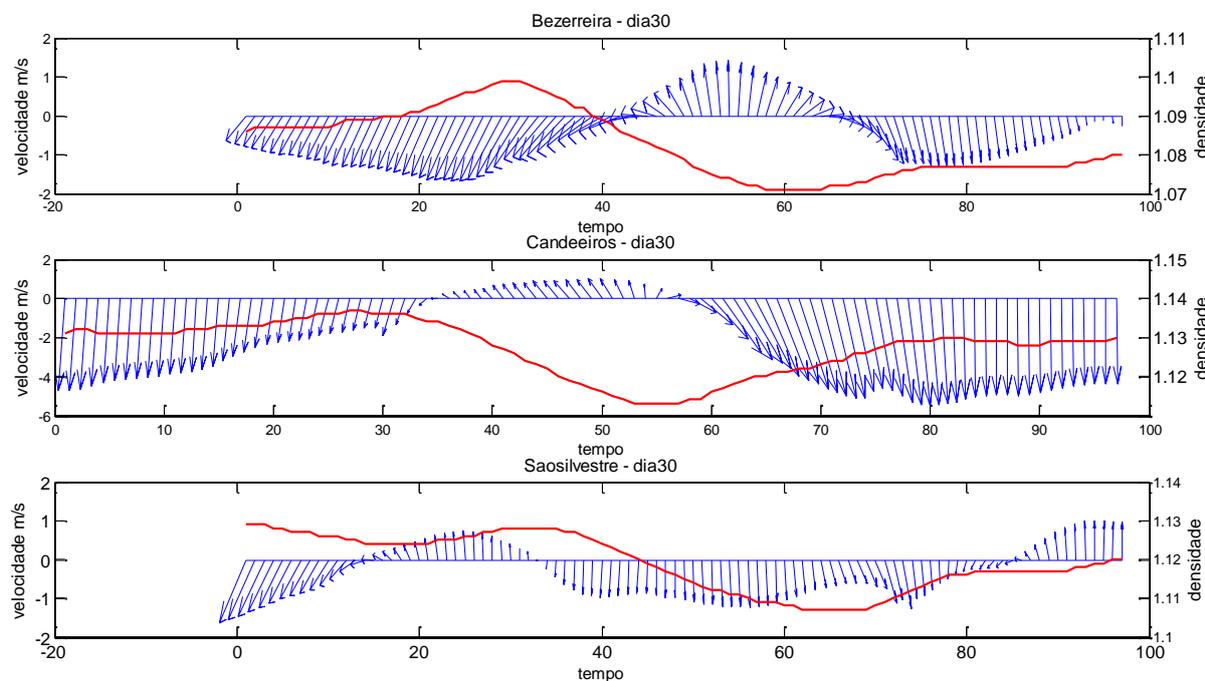


Figura 11 – Evolução temporal da velocidade do vento e da densidade do ar (linha vermelha), simuladas nos parques eólicos: Bezerreira, Candeeiros e São Silvestre para o dia 30 de Agosto de 2009.

Na figura 11 pode ser visualizado o campo de vento, no dia 30 de Agosto, em cada um dos parques eólicos seleccionados para esta parte do estudo. Verifica-se que no parque na Bezerreira, situado a cerca de 47km da costa, a brisa tem início ao instantes 65, aproximadamente, correspondente às 16h. Por outro lado, no parque de Candeeiros, situado a aproximadamente 28km da costa, ocorre uma rotação do vento indicando o início da brisa marítima por volta do instante 57, correspondendo às 14h. No parque eólico de São Silvestre, situado a cerca de 26km da costa, não se observa rotação do vento indicando a existencia de brisa. No entanto, a partir do instante 73, ou seja, a partir das 18h, observa-se um ligeiro aumento do vento zonal neste parque.

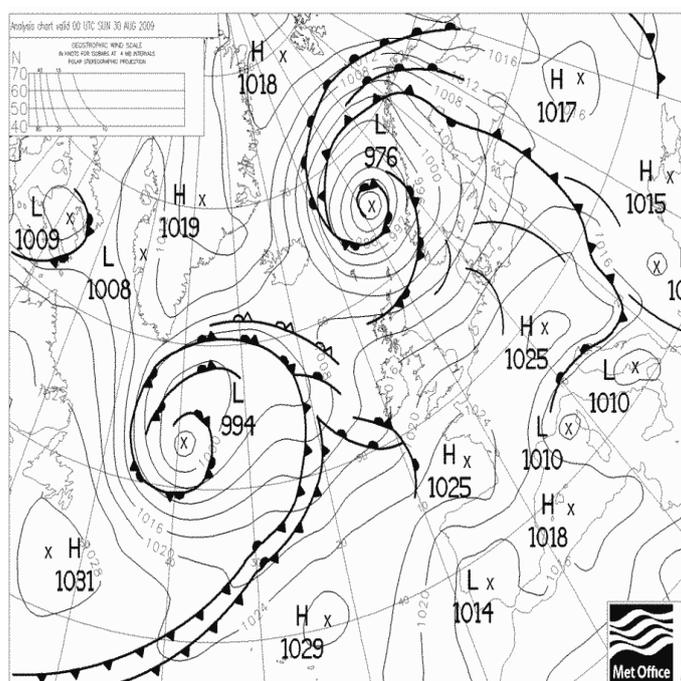


Figura 12 – Mapa sinóptico correspondente ao dia 30 de Agosto de 2009
(<http://www.wetterzentrale.de/>).

Acompanhando a análise do gráfico da figura 11, observou-se o mapa sinóptico correspondente ao dia 30 de Agosto, representado na figura 12. Desta análise, verificou-se que, apesar de se observar uma frente fria a noroeste de Portugal situada em pleno Oceano Atlântico, esta não atinge Portugal Continental. Logo, a rotação do vento observada na figura 11 indica a passagem da brisa marítima.

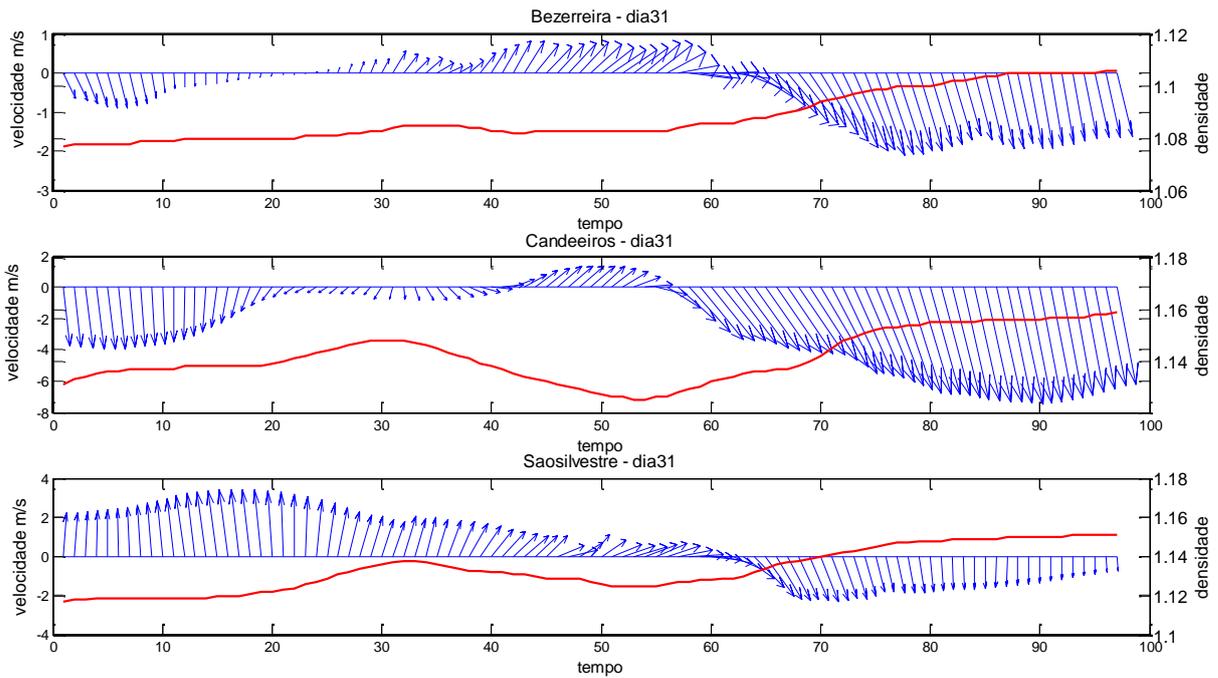


Figura 13 – Evolução temporal da velocidade do vento e da densidade do ar (linha vermelha), simuladas nos parques eólicos: Bezerreira, Candeeiros e São Silvestre para o dia 31 de Agosto de 2009.

No campo do vento no dia 31 de Agosto representado na figura 13, observa-se uma rotação do vento nos três parques eólicos seleccionados para o estudo. Verifica-se que a brisa tem início às 14h, correspondendo ao instante 57, no parque da Bezerreira; no parque de Candeeiros, o início da brisa ocorre por volta das 13h, correspondendo aos instante 53; e no parque de São Silvestre, a brisa inicia-se ao instante 49, aproximadamente, ou seja, às 12h.

Da figura 14, onde está representado o mapa sinóptico para o dia 31 de Agosto, verifica-se de novo a existencia de uma frente fria a aproximar-se da costa portuguesa, não atingindo, no entanto, o território neste dia. Conclui-se então que a frente fria observada no mapa sinóptico não influencia a rotação do vento observada na figura 13 e essa rotação deve-se à entrada de uma brisa marítima em terra.

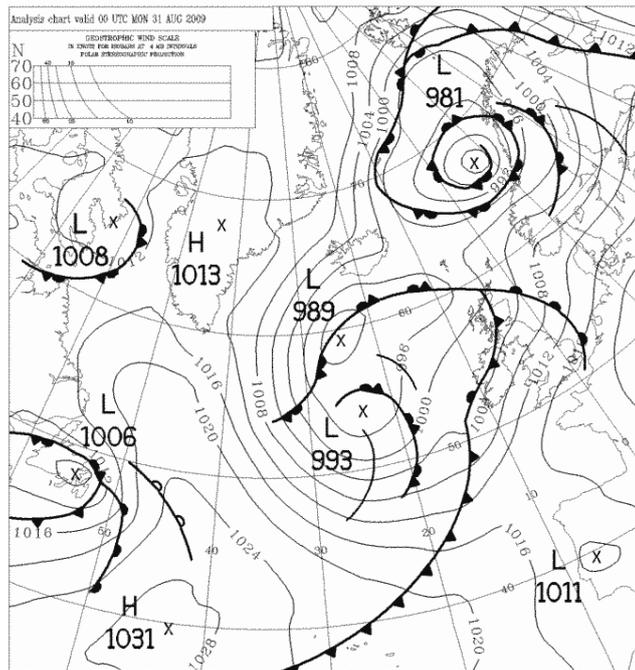


Figura 14 – Mapa sinóptico correspondente ao dia 31 de Agosto de 2009
(<http://www.wetterzentrale.de/>).

| Dia | 2009 | | | Dia | 2009 | | |
|-----|------------|------------|--------------|-----|------------|------------|--------------|
| | Bezerreira | Candeeiros | SãoSilvestre | | Bezerreira | Candeeiros | SãoSilvestre |
| 1 | 0,00043 | 0,00024 | 0,00068 | 16 | | | |
| 2 | 0,00083 | 0,00028 | 0,00096 | 17 | 0,00033 | 0,00022 | 0,00021 |
| 3 | 0,00042 | 0,00034 | 0,00013 | 18 | 0,00031 | 0,00023 | 0,00012 |
| 4 | 0,00038 | 0,00026 | 0,00012 | 19 | 0,00015 | 0,00030 | 0,00017 |
| 5 | 0,00023 | 0,00022 | 0,00037 | 20 | 0,00018 | 0,00017 | 0,00040 |
| 6 | 0,00018 | 0,00013 | 0,00033 | 21 | 0,00028 | 0,00009 | 0,00033 |
| 7 | 0,00057 | 0,00024 | 0,00026 | 22 | 0,00046 | 0,00023 | 0,00024 |
| 8 | 0,00094 | 0,00030 | -999 | 23 | 0,00019 | 0,00014 | 0,00007 |
| 9 | -999 | 0,00027 | -999 | 24 | 0,00026 | 0,00021 | 0,00034 |
| 10 | -999 | 0,00041 | -999 | 25 | 0,00044 | 0,00034 | 0,00029 |
| 11 | 0,00124 | 0,00092 | 0,00027 | 26 | 0,00033 | 0,00041 | 0,00038 |
| 12 | 0,00107 | 0,00086 | 0,00012 | 27 | 0,00024 | 0,00032 | 0,00017 |
| 13 | 0,00042 | 0,00032 | 0,00014 | 28 | 0,00037 | 0,00021 | -999 |
| 14 | 0,00036 | 0,00089 | 0,00025 | 29 | -999 | 0,00085 | -999 |
| 15 | 0,00033 | 0,00026 | 0,00025 | 30 | 0,00045 | 0,00078 | 0,00015 |
| | | | | 31 | 0,00024 | 0,00036 | 0,00052 |

Tabela I – Índices de brisa, aceleração máxima entre as 12 e as 17h de cada dia.

Os dias escolhidos, 30 e 31 de Agosto de 2009, não são os dias com maior índice de brisa. No entanto, através dos gráficos do vento e densidade observa-se claramente a mudança na direcção do vento, indicando o início da brisa.

Escolhidos os dias a serem estudados, procedeu-se à realização da simulação utilizando o modelo numérico atmosférico WRF. Nesta simulação utilizaram-se cinco domínios, dos quais os três de menores dimensões foram alvo de estudo mais pormenorizado. Os domínios foram já representados na secção 3.3, identificados pelas figuras 8, 9 e 10. Nestes domínios, simulou-se um período de tempo desde a meia-noite do dia 30 de Agosto à meia-noite do dia 1 de Setembro com um intervalo de tempo de dez minutos.

Como o modelo WRF trabalha com hora UTC e estando em estudo um mês de Verão, as horas representadas pelo modelo apresentam um atraso de uma hora. No entanto, as horas referidas neste trabalho serão as horas apresentadas pelo modelo e que são representadas nos gráficos.

Na análise dos resultados obtidos através da realização da simulação, foram estudados alguns parâmetros meteorológicos que identificam a existência do fenómeno de brisa marítima. Seguidamente serão discutidos cada uma separadamente, comparando o seu comportamento em cada um dos domínios em estudo.

Em cada domínio foi escolhido um local próximo da linha de costa e sensivelmente a meio do domínio para se analisar a brisa marítima. No domínio referente a Aveiro, foi escolhido o local com as coordenadas $40^{\circ}45'N$ $8^{\circ}42'O$, situado na localidade de Torreira. Em relação ao domínio referente a Peniche, foram utilizadas as coordenadas $39^{\circ}12'N$ $9^{\circ}20'O$, situadas na localidade de Ribamar. No domínio de Aljezur, utilizaram-se as coordenadas $37^{\circ}26'N$ $8^{\circ}47'O$, situadas na localidade de Odeceixe. Estes locais estão representados com um ponto azul nas figuras 8, 9 e 10 da secção 3.3.

Começou-se esta análise pelo parâmetro do vento. Nas figuras seguintes estão representados os comportamentos do vento ao longo dos dois dias em estudo, tendo em conta a sua direcção e intensidade, representadas por vectores.

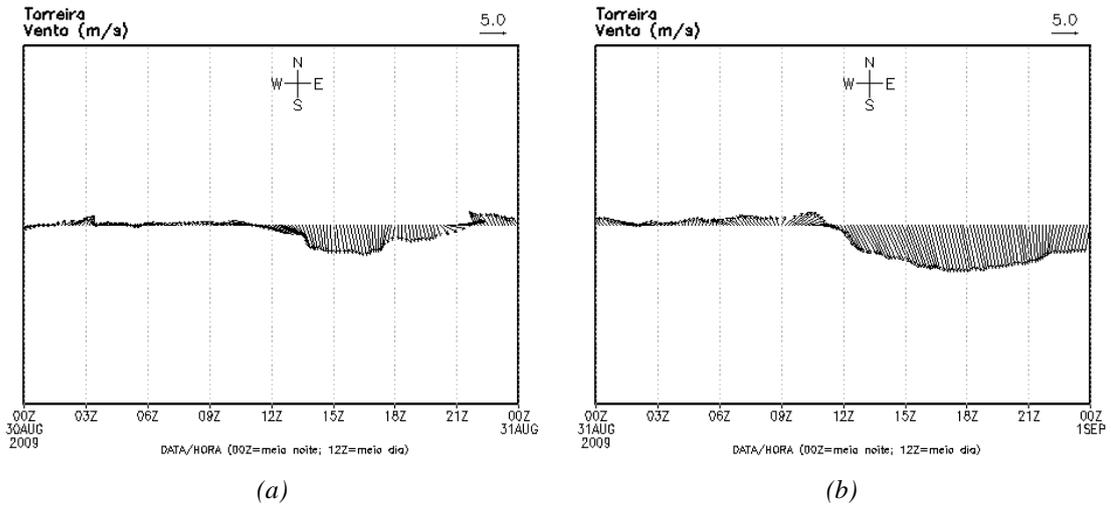


Figura 15 – Evolução temporal da velocidade do vento a 10 m de altitude simulada para a Torreira.
(a) dia 30; (b) dia 31.

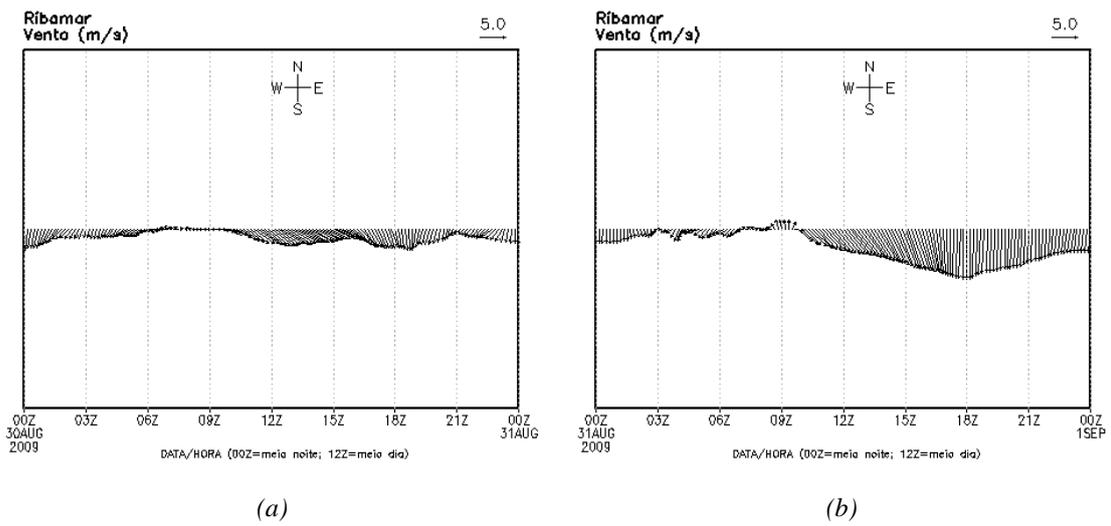


Figura 16 – Evolução temporal da velocidade do vento a 10 m de altitude simulada para Ribamar.
(a) dia 30; (b) dia 31.

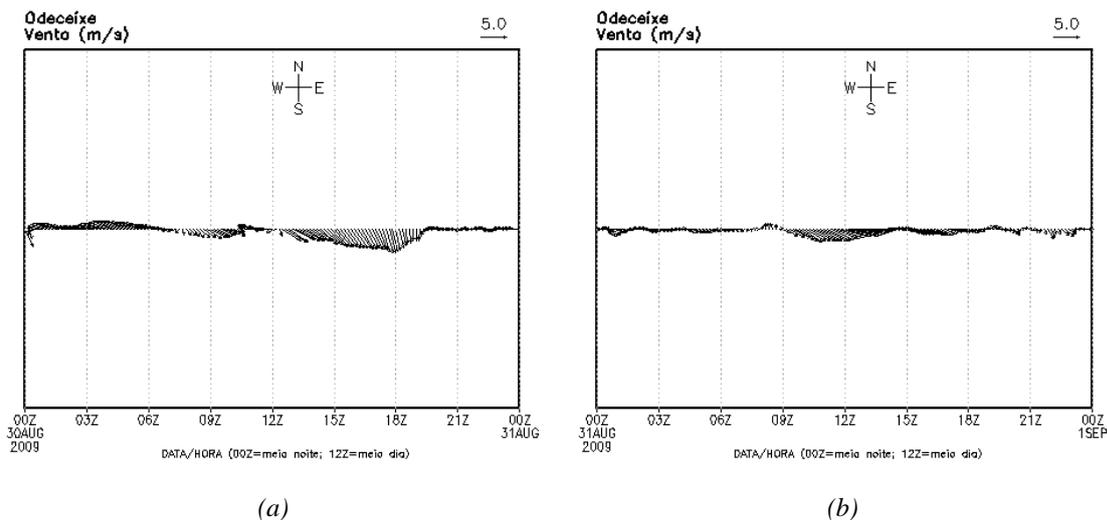


Figura 17 – Evolução temporal da velocidade do vento a 10 m de altitude simulada para Odeceixe. (a) dia 30; (b) dia 31.

Dos gráficos em cima representados, confirma-se a existência de uma mudança na direcção do vento nos três locais, em cada um dos dias. Também o aumento da intensidade do vento é verificada, apesar de em Odeceixe esse aumento ser menor. Na Torreira e em Ribamar, o aumento da intensidade do vento é mais forte no dia 31 de Agosto.

Nos gráficos apresentados em seguida, observa-se a variação diária da componente zonal do vento a dez metros sobreposto com os vectores do vento.

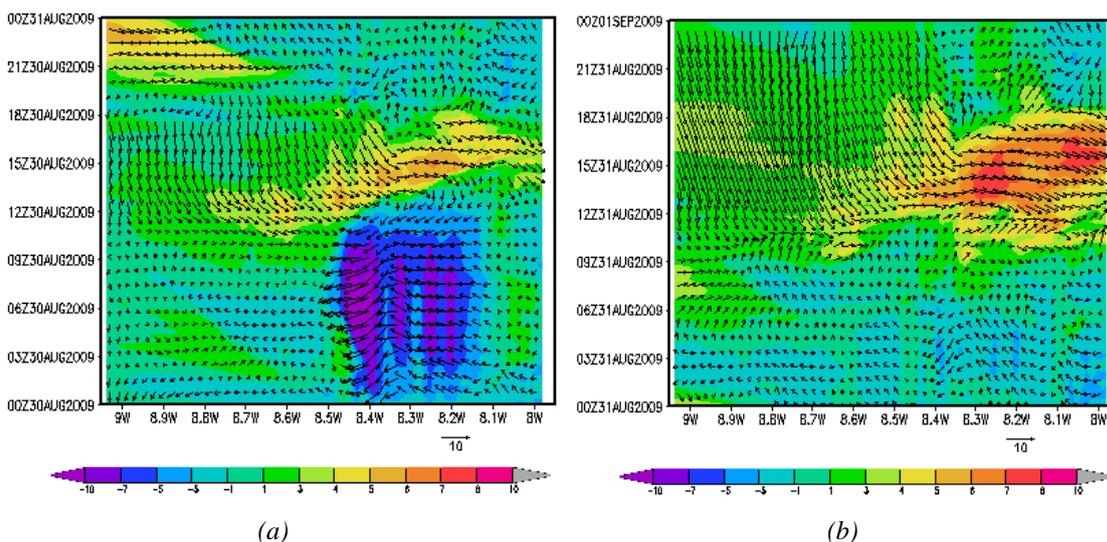


Figura 18 – Evolução temporal do vento zonal a 10m na latitude 40°45'N (Torreira) sobreposto com vectores do vento ao longo de toda a longitude do domínio. a) dia 30; b) dia 31.

Observa-se na figura 18 que o início da brisa marítima ocorre por volta do meio-dia e cessa pelas 18h no dia 30 de Agosto. No dia 31 de Agosto a brisa marítima inicia-se pelas das 11h e cessa por volta das 19h. Procedendo a uma estimativa da velocidade média da brisa ao longo do domínio apresentado, verifica-se que no dia 30 a velocidade média é de 3,62m/s e no dia 31 de 2,81m/s.

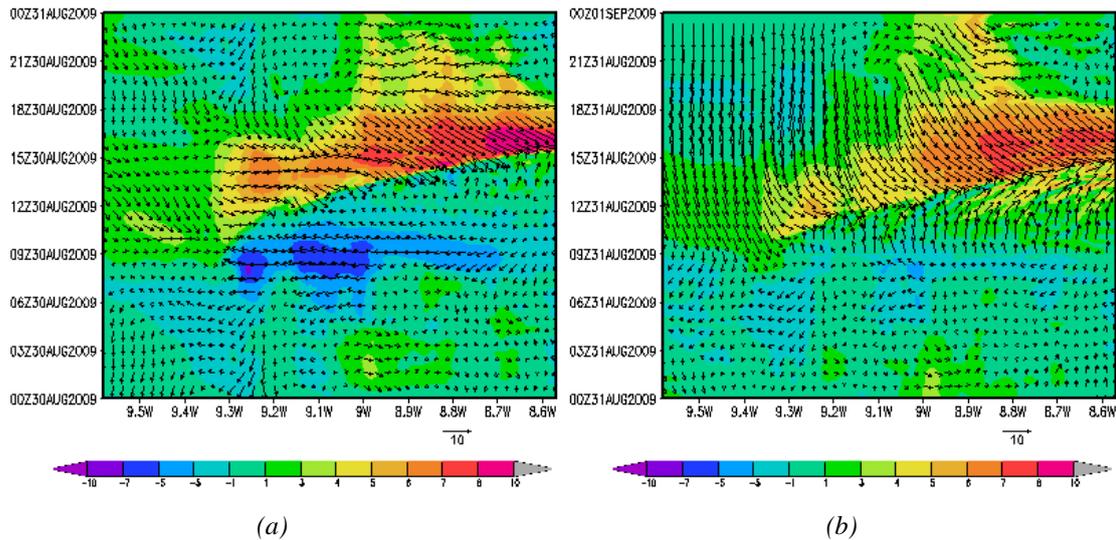


Figura 19 – Evolução temporal do vento zonal a 10m na latitude 39°12'N (Ribamar) sobreposto com vectores do vento ao longo de toda a longitude do domínio. a) dia 30; b) dia 31.

No domínio de Peniche representado na figura 19 observa-se o início da brisa pouco antes do meio-dia no dia 30 e por volta das 10h no dia 31, cessando nos dois dias por volta das 19h. No cálculo da estimativa da velocidade média da brisa ao longo de toda a longitude do domínio chegou-se aos valores de 2,39m/s no dia 30 e de 2,65m/s no dia 31.

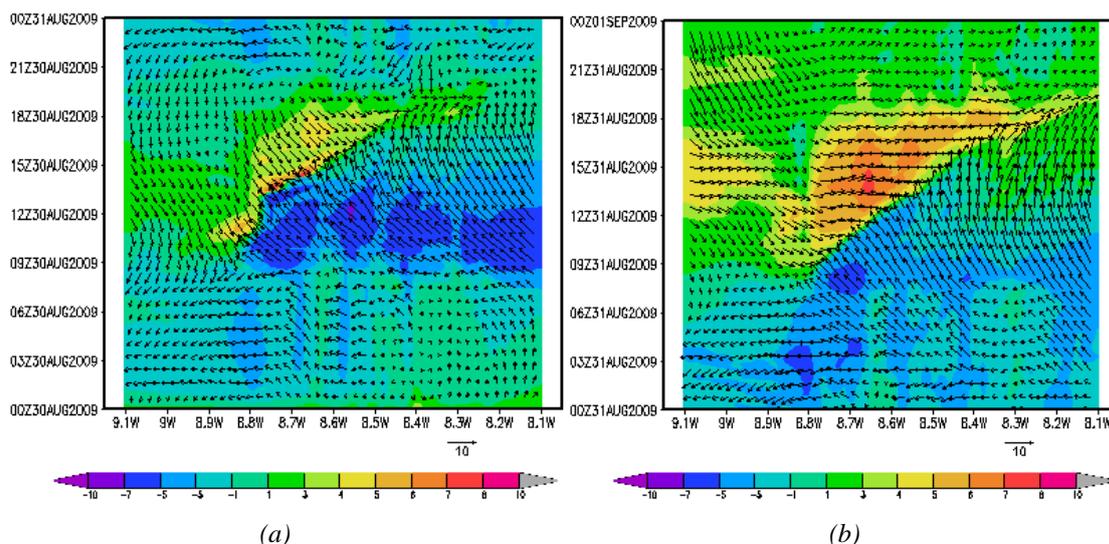


Figura 20 – Evolução temporal do vento zonal a 10m na latitude 37°26'N (Odeceixe) sobreposto com vectores do vento ao longo de toda a longitude do domínio. a) dia 30; b) dia 31.

No domínio de Aljezur a evolução do vento zonal apresenta-se um pouco irregular no dia 30 de Agosto. Neste dia a brisa inicia-se por das 9h na longitude 8°47'O, em Odeceixe (8,7W no gráfico) e não progride no terreno até por volta das 18h. Nesta altura observa-se uma pequena progressão da brisa para Este cessando por volta das 22h. A estimativa da velocidade média para este dia é de 1,21m/s, no entanto é uma estimativa com muito erro de cálculo devido à distribuição da brisa.

No dia 31 de Agosto observa-se a brisa a iniciar por volta das 9h e a cessar por volta das 21h. A estimativa da velocidade média para este dia é de 2,22m/s.

Para o cálculo destas velocidades médias considerou-se a extensão longitudinal do domínio e o tempo da brisa desde o seu início até ao seu desaparecimento. Por se considerar um comportamento linear do trajecto da brisa, os resultados obtidos para as velocidades médias pode apresentar erros significativos.

No entanto, analisando todas as velocidades calculadas para cada um dos domínios, verifica-se que as maiores velocidades médias são observadas no domínio de Aveiro e as mais baixas no domínio de Aljezur.

A evolução espacial da brisa marítima foi também estudada. Nas figuras seguintes apresenta-se a altura do terreno em metros sobreposto com os vectores do vento para cada um dos domínios nos dois dias em estudo. Foram seleccionados quatro instantes de tempo

para poder observar-se a progressão da brisa ao longo do dia. Os instantes de tempo representados são 9h, 12h, 15h e 18h.

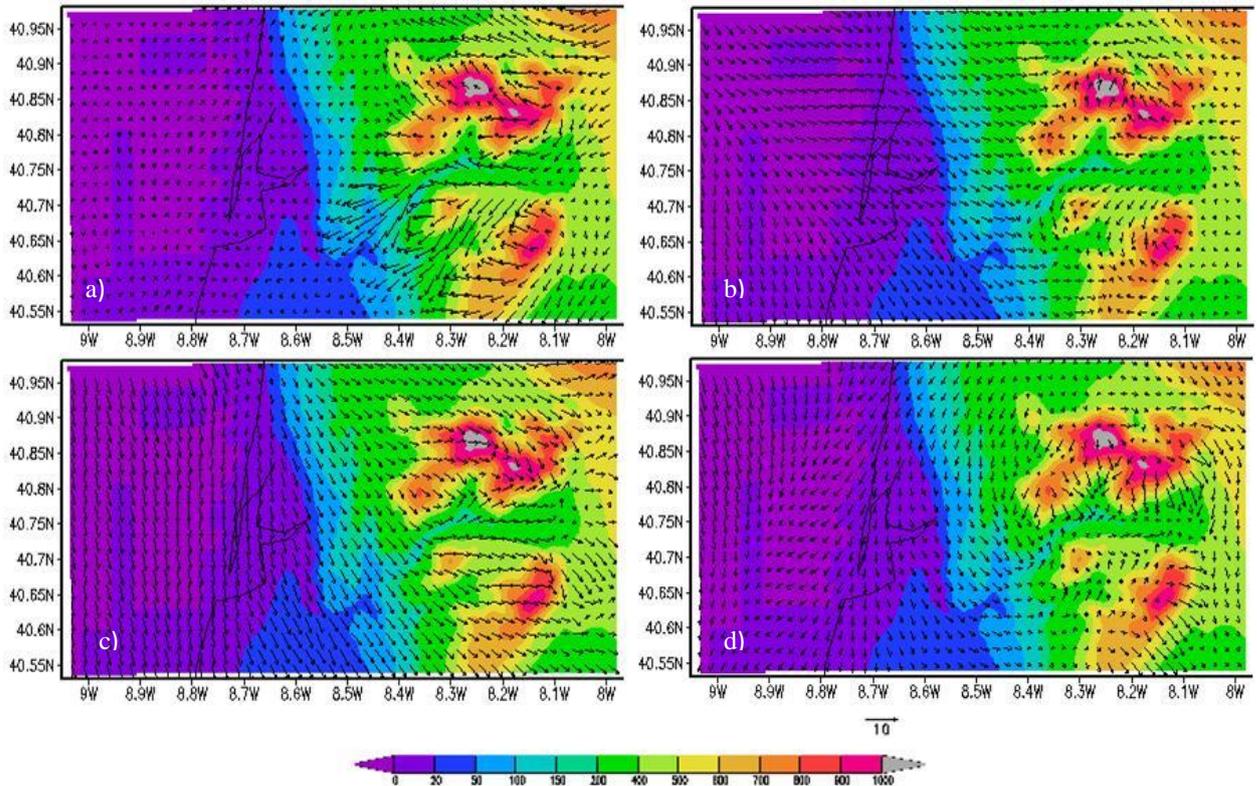


Figura 21 - Evolução espacial da brisa marítima na região de Aveiro no dia 30 de Agosto de 2009.

a) 9h, b) 12h, c) 15h e d) 18h.

O domínio de Aveiro é caracterizado pela existência da Ria de Aveiro, da Serra do Caramulo, apresentada no canto inferior direito do domínio, e da Serra da Gralheira, constituída pelas serras Freita, Arada e Arestal.

No dia 30 de Agosto de 2009, representado na figura 21, observa-se pelas nove horas vento de leste. Pelas 12h já se pode observar uma rotação do vento e que a brisa marítima já se faz sentir no litoral. Na figura das 15h, verifica-se que a brisa é desviada do seu trajecto depois de atravessar a região de serras. Às 18h a brisa já se desvaneceu.

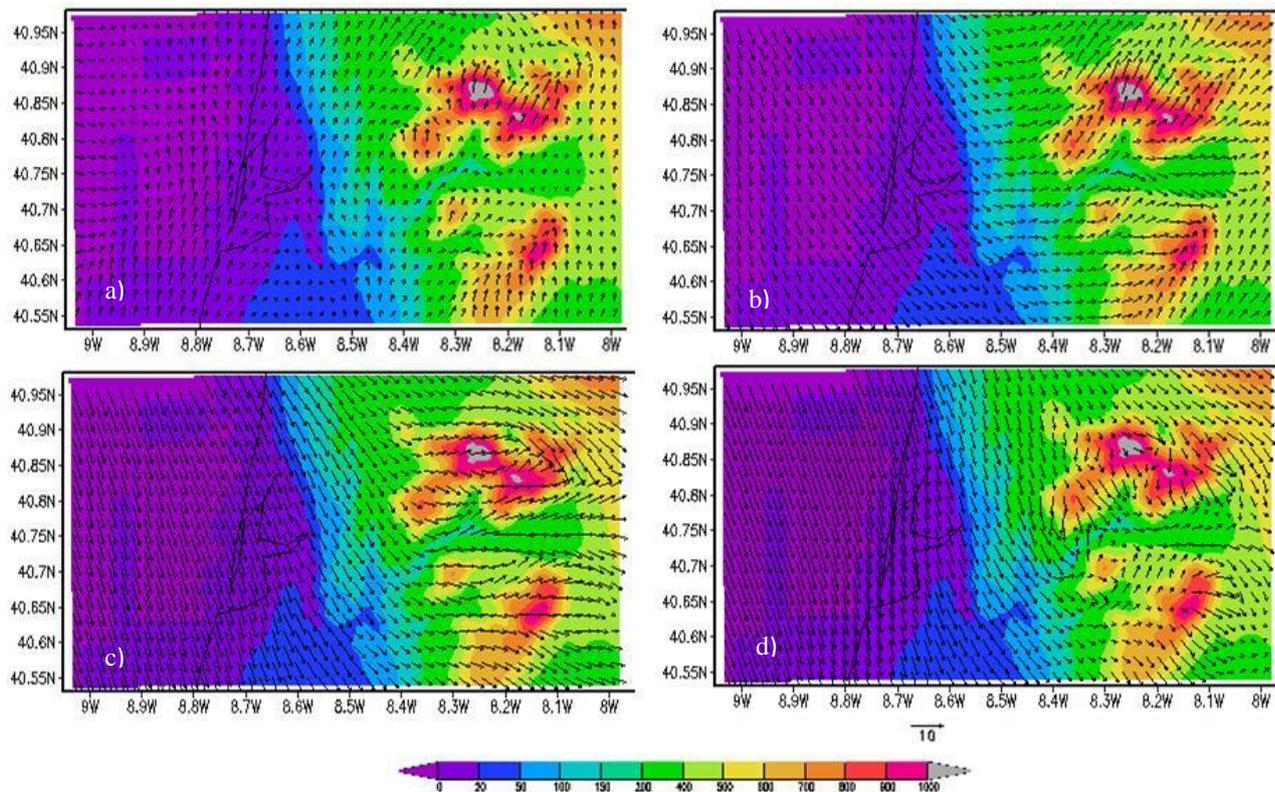


Figura 22 - Evolução espacial da brisa marítima na região de Aveiro no dia 31 de Agosto de 2009.

a) 9h, b) 12h, c) 15h e d) 18h.

O dia 31 começa com vento de Sul. Pelas 12h a brisa marítima já se desenvolveu completamente chegando à zona das serras. A figura das 15h apresenta um vento de Noroeste muito forte junto ao litoral que começa a desfazer a brisa. Ainda nesta figura observa-se que a brisa volta a ser ligeiramente desviada do seu trajecto ao passar a região de serras. Pelas 18h já não se observa brisa, possivelmente devido ao vento forte de Norte.

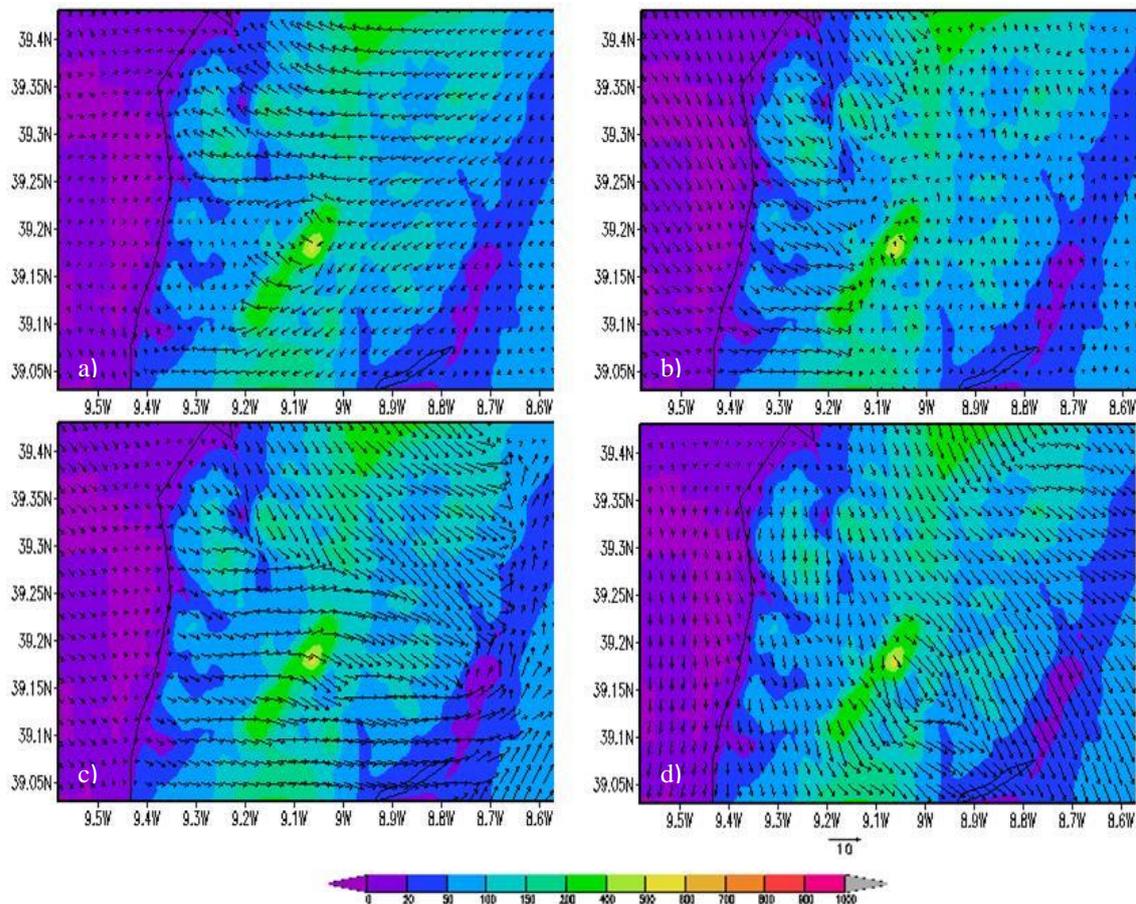


Figura 23 - Evolução espacial da brisa marítima na região de Peniche no dia 30 de Agosto de 2009. a) 9h, b) 12h, c) 15h e d) 18h.

O domínio de Peniche é composto por três regiões onde a brisa se pode comportar de maneiras diferentes. A região de praias à esquerda do domínio, a região do Vale do Tejo à direita e a meio situa-se uma zona mais elevada onde se vê a serra do Montejunto.

A figura 23 mostra a brisa completamente formada pelas 12h. Após a passagem na região das serras é observável um ligeiro desvio da sua trajectória, provocado pelos ventos anabáticos, resultado do gradiente de pressão devido a altas temperaturas do ar nas encostas em relação às temperaturas ao mesmo nível sobre o centro do vale.

Na figura das 18h não se observa o fenómeno de brisa na costa, no entanto verifica-se que a brisa ainda influencia o campo do vento na zona do Vale do Tejo.

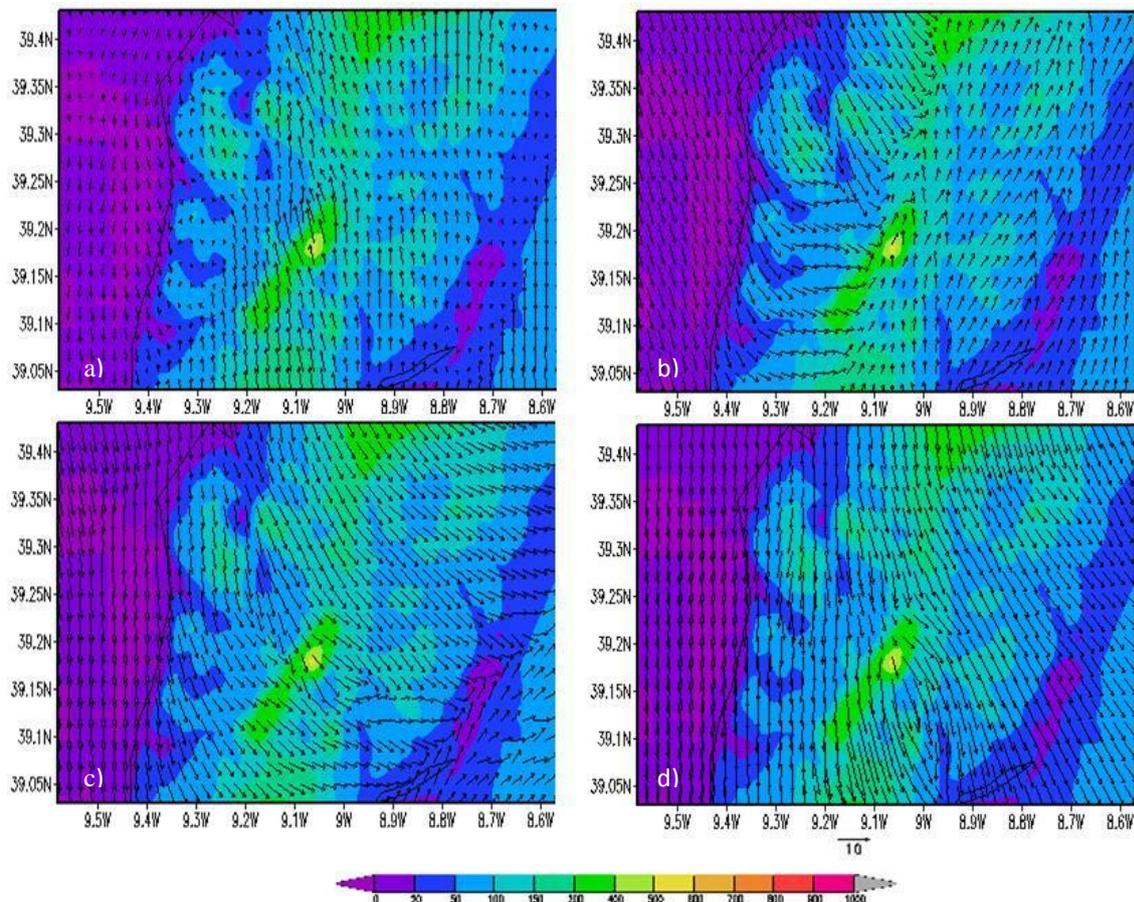
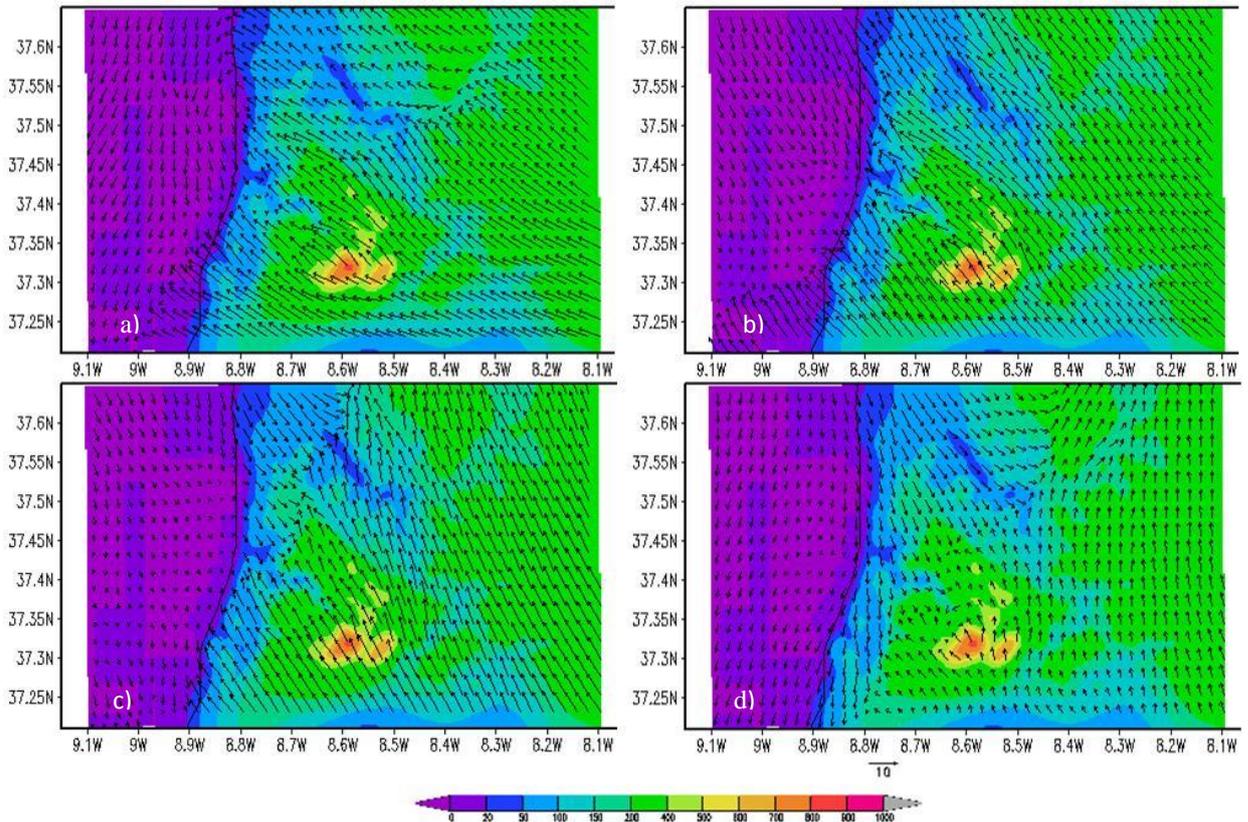


Figura 24 - Evolução espacial da brisa marítima na região de Peniche no dia 31 de Agosto de 2009. a) 9h, b) 12h, c) 15h e d) 18h.

No dia 31, representado na figura 24, observa-se de novo a brisa marítima completamente desenvolvida no gráfico das 12h. Ao passar a serra de Montejunto, a brisa é desviada da sua trajectória. No Vale do Tejo, a brisa volta a ser desviada. Às 18h verifica-se que o vento sofre um aumento de intensidade, provocando o desaparecimento da brisa marítima.



*Figura 25 - Evolução espacial da brisa marítima na região de Aljezur no dia 30 de Agosto de 2009.
a) 9h, b) 12h, c) 15h e d) 18h.*

O domínio de Aljezur é caracterizado por uma linha de costa quase rectilínea e a presença da Serra de Monchique. Como se pode verificar na figura 25, a brisa observada no dia 30 de Agosto de 2009 apresentou-se muito fraca. Na figura das 12h é possível visualizar na costa norte do domínio o vento a soprar de noroeste, continuando na figura das 15h progredindo para terra nesta região. Na restante linha de costa a brisa apesar de se formar perto da costa não progride em direcção a esta. O vento de sudeste que se visualiza na figura pode ter sido o motivo pelo qual a brisa não se desenvolveu neste dia na região de Aljezur.

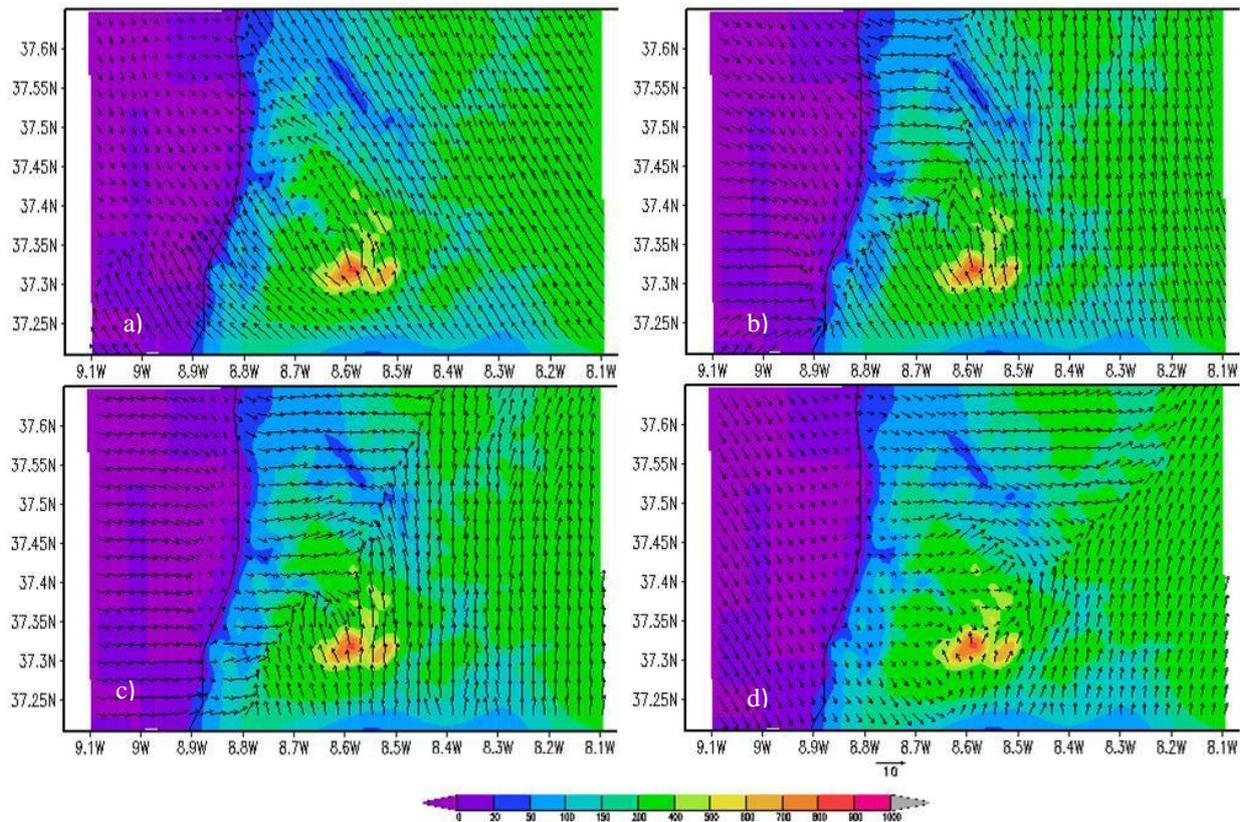


Figura 26 - Evolução espacial da brisa marítima na região de Aljezur no dia 31 de Agosto de 2009.
a) 9h, b) 12h, c) 15h e d) 18h.

Ao contrário do dia 30, no dia 31 de Agosto formou-se brisa marítima. É possível visualizar na figura das 9h o início da sua formação ainda no mar. A partir daí observa-se a progressão da brisa pelos outros gráficos até às 18h. Pode verificar-se que a existência da Serra de Monchique desvia a trajectória da brisa para nordeste. A sudeste da serra a brisa parece não ser sentida.

Nas próximas figuras, apresenta-se a evolução temporal da temperatura ao longo de toda a longitude dos domínios para a latitude dos locais enumerados anteriormente.

Para o caso do domínio de Aveiro, fixou-se a latitude da Torreira, 40°45'N. Para o domínio de Peniche ficou-se a latitude de Ribamar, 39°12'N, e por fim, no domínio de Aljezur a latitude de Odeceixe, 37°26'N.

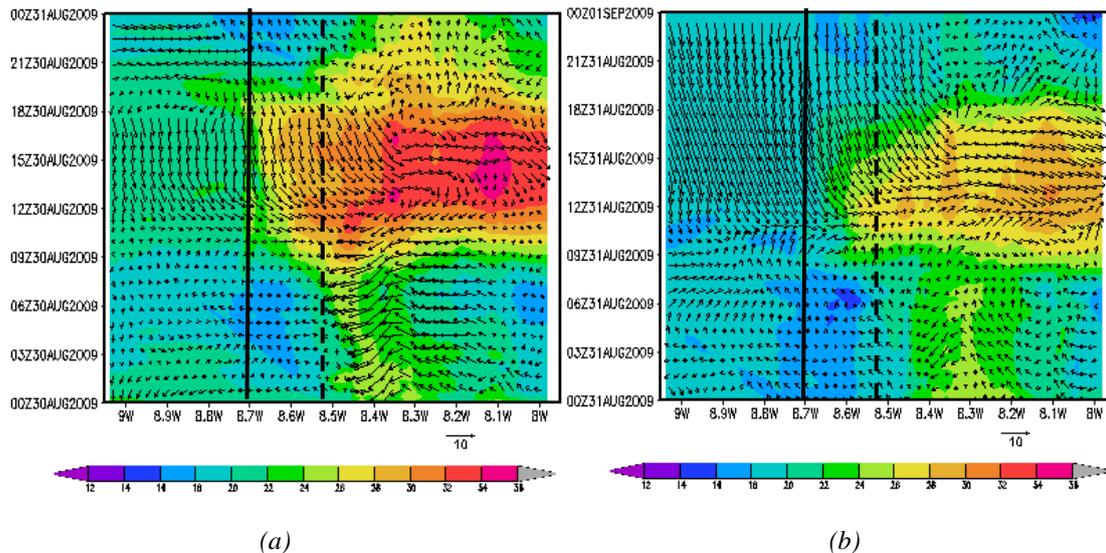


Figura 27 – Evolução temporal da temperatura na latitude $40^{\circ}45'N$ (Torreira) sobreposto com vectores do vento ao longo de toda a longitude do domínio. a) dia 30; b) dia 31.

Com a passagem da brisa marítima, a temperatura tende a diminuir devido ao fluxo de ar fria proveniente do mar. No entanto, ao traçar-se uma recta à longitude da Torreira, local assinalado com a linha recta preta, essa tendência não se verifica. Se deslocarmos essa recta para uma longitude mais afastada do mar, a tendência de diminuição da temperatura com a passagem da brisa é claramente observada.

Isto acontece, possivelmente por a Torreira se encontrar muito perto do mar. Para além da sua proximidade com o mar, a Torreira situa-se num dos canais da Ria de Aveiro, facto que faz com que a temperatura do ar não seja muito elevada. Nestes casos, a passagem da brisa é sentida, mas pode não ser observada através da diminuição da temperatura.

O mesmo parece acontecer nos restantes domínios em estudo. Quando se assinala com uma linha recta os locais de estudo, não é possível observar com rigor o comportamento típico de diminuição de temperatura após a passagem da brisa. No entanto, ao deslocar-se essa recta para locais mais afastados do mar, como se pode observar nas figuras 28 e 29, esse comportamento esperado já se verifica.

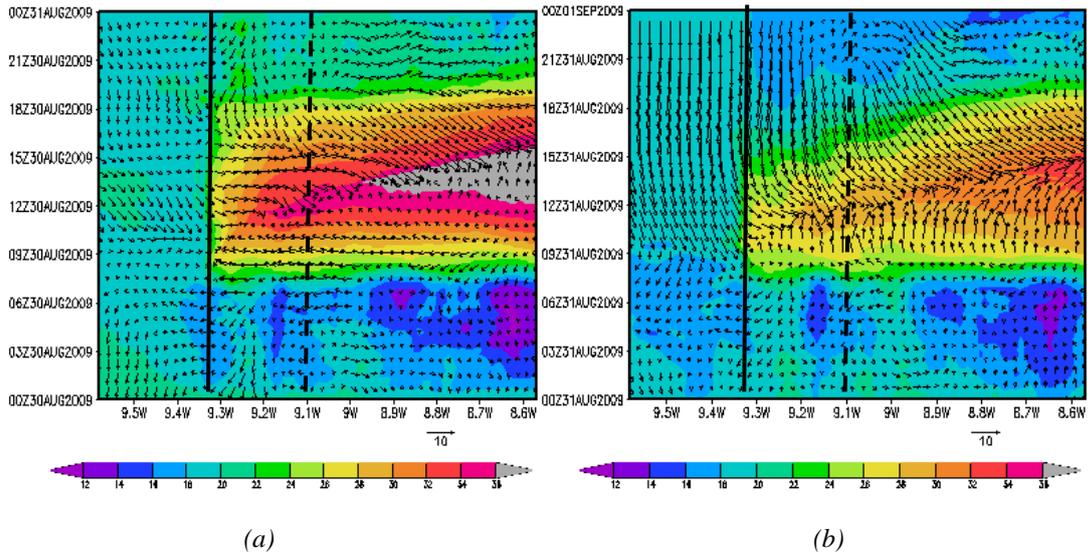


Figura 28 – Evolução temporal da temperatura na latitude $39^{\circ}12'N$ (Ribamar) sobreposto com vectores do vento ao longo de toda a longitude do domínio. a) dia 30; b) dia 31.

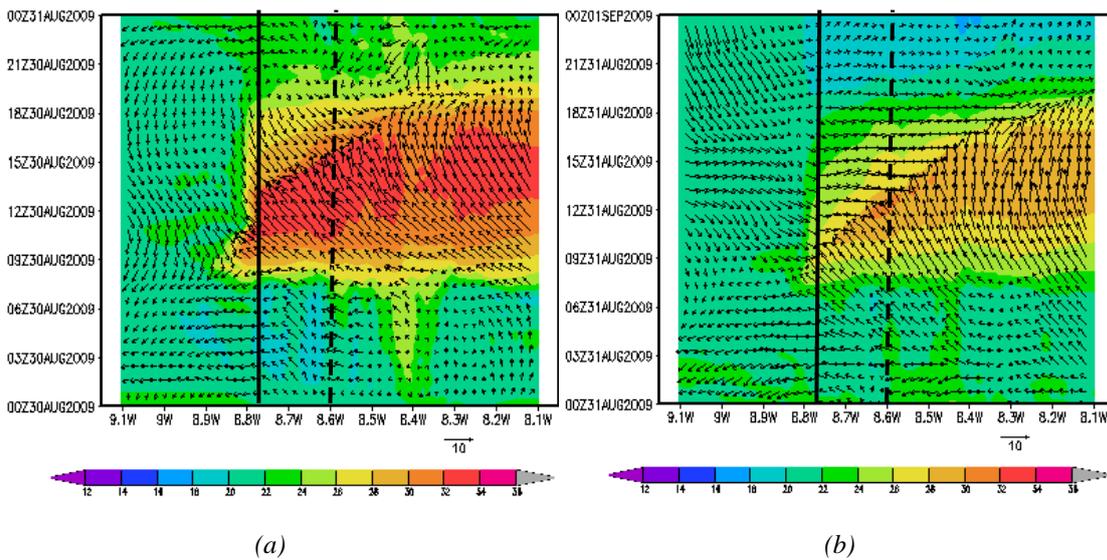


Figura 29 – Evolução temporal da temperatura na latitude $37^{\circ}26'N$ (Odeceixe) sobreposto com vectores do vento ao longo de toda a longitude do domínio. a) dia 30; b) dia 31.

Apesar deste comportamento anteriormente descrito se observar em todos os domínios e nos dois dias em estudo, no dia 30 do domínio de Aljezur a diminuição da temperatura com a passagem da brisa pode ser observada em Odeceixe, local próximo do mar.

A influência da proximidade do mar no comportamento dos parâmetros meteorológicos que podem identificar a passagem da brisa marítima também é observada na evolução temporal da humidade relativa.

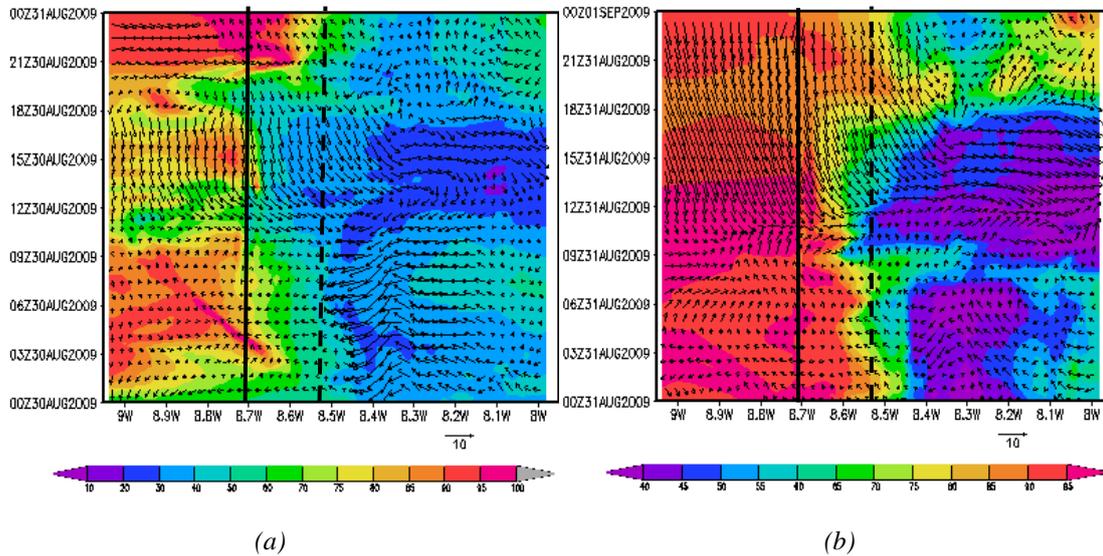


Figura 30 – Evolução temporal da humidade relativa na latitude $40^{\circ}45'N$ (Torreira) sobreposto com vectores do vento ao longo de toda a longitude do domínio. a) dia 30; b) dia 31.

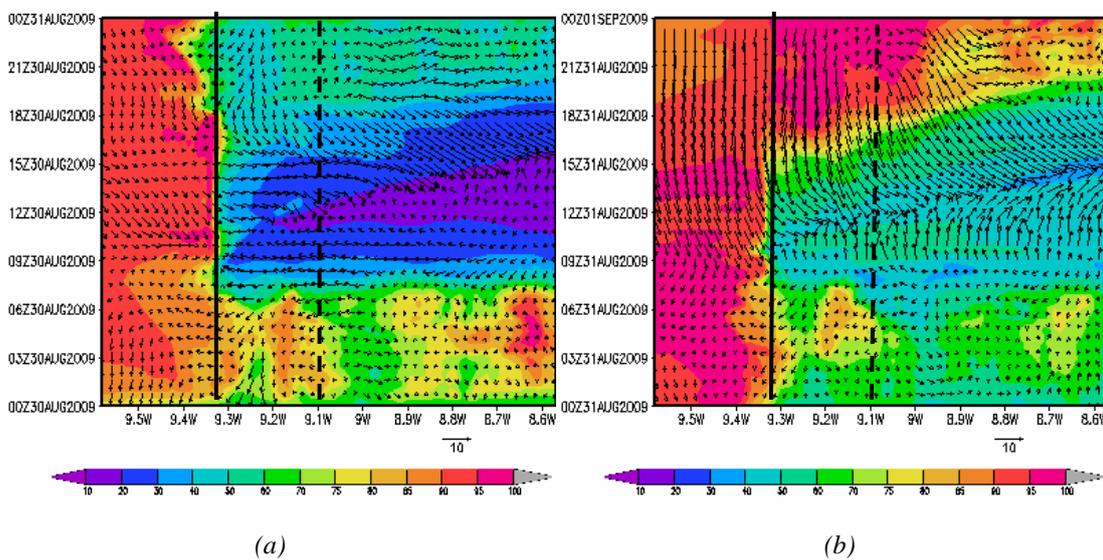


Figura 31 – Evolução temporal da humidade relativa na latitude $39^{\circ}12'N$ (Ribamar) sobreposto com vectores do vento ao longo de toda a longitude do domínio. a) dia 30; b) dia 31.

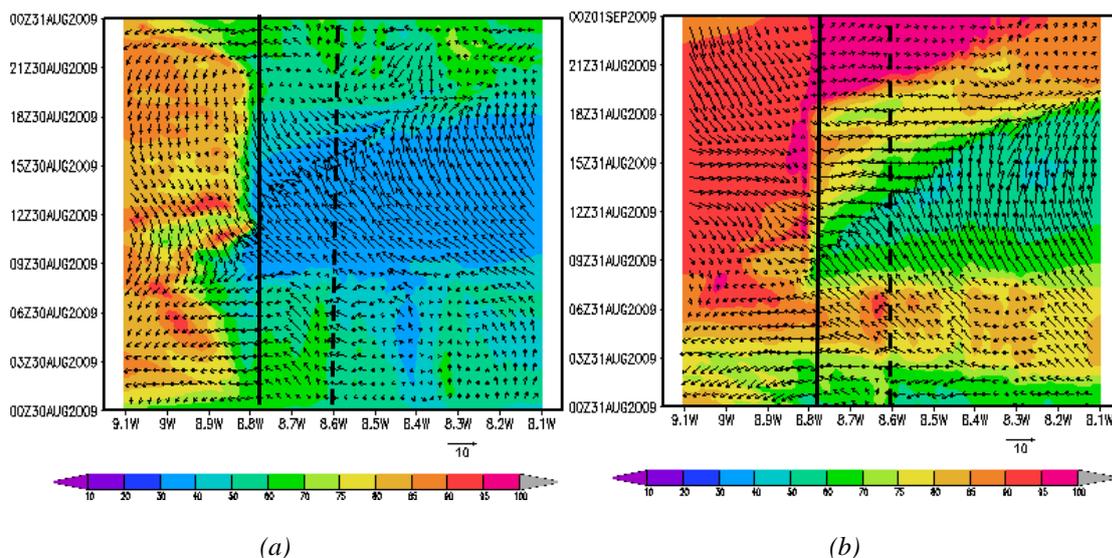


Figura 32 – Evolução temporal da humidade relativa na latitude $37^{\circ}26'N$ (Odeceixe) sobreposta com vectores do vento ao longo de toda a longitude do domínio. a) dia 30; b) dia 31.

Com a passagem da brisa marítima, a humidade relativa tende a aumentar. Esse aumento deve-se ao transporte de ar húmido proveniente do mar. A proximidade ao mar dos locais representados nas figuras 30, 31 e 32 com uma linha recta preta, faz com que o aumento da humidade relativa esperado em consequência da passagem da brisa não se verifique com nitidez. No entanto, tal com no caso da evolução da temperatura, ao analisar-se locais mais afastados do mar como os assinalados com uma linha tracejada, observa-se claramente o aumento da humidade relativa com a passagem da brisa. Pode verificar-se também que esse aumento é mais acentuado, para qualquer um dos domínios, no dia 31 de Agosto.

Outro parâmetro analisado neste estudo foi a altura da camada limite planetária que varia ao longo do dia. Com este parâmetro também se pode observar a passagem da brisa marítima. A brisa transporta ar frio proveniente do mar que substitui o ar sobre a terra que aquece e sobe. Este transporte resulta no aumento da altura da camada limite planetária.

Nas figuras seguintes pode ser observada a evolução espacial da altura da camada limite, em Aveiro e em Aljezur, sobreposta com os vectores do vento para as 9h, 12h, 15h e 18h nos dias 30 e 31 de Agosto, respectivamente. Os restantes gráficos representativos da altura da camada limite são apresentados no anexo, no entanto o comportamento é igual ao aqui descrito.

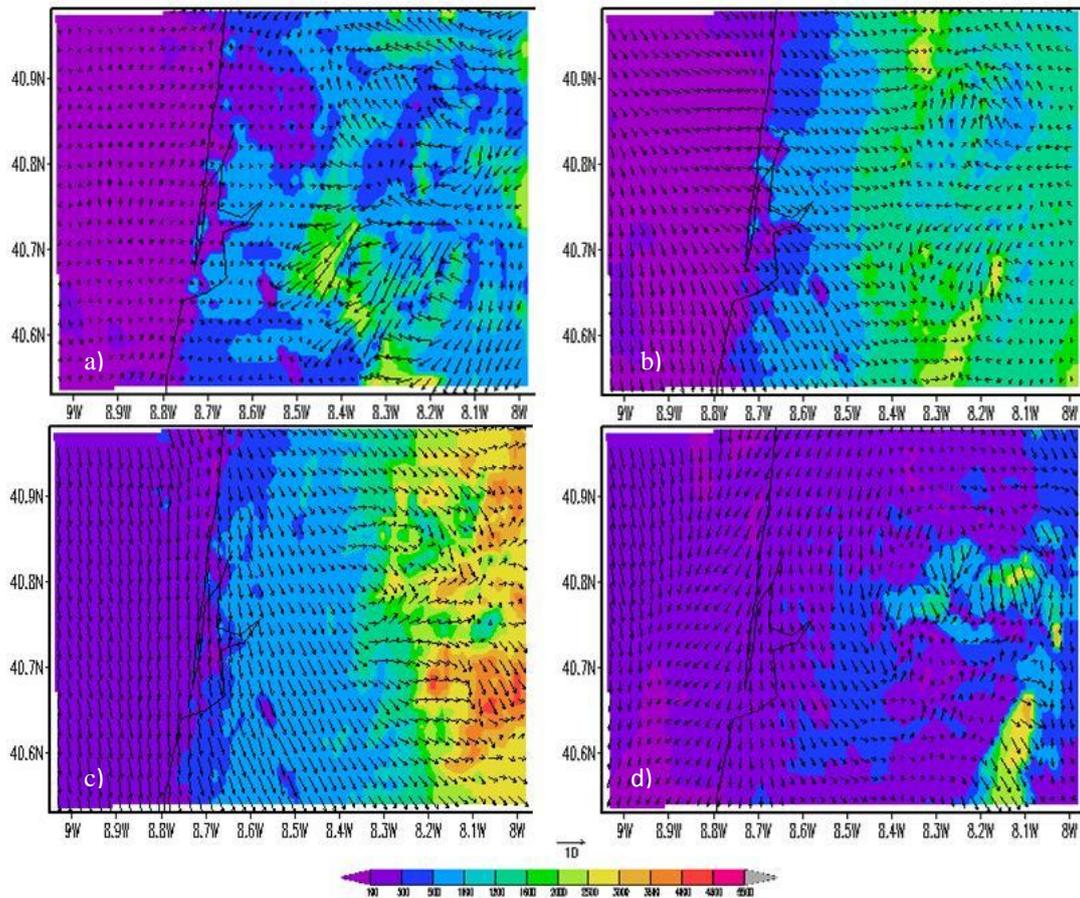


Figura 33 - Evolução espacial da altura da camada limite na região de Aveiro no dia 30 de Agosto de 2009. a) 9h, b) 12h, c) 15h e d) 18h.

Observa-se claramente, na figura 33 referente ao dia 30 de Agosto na região de Aveiro, um aumento da altura da camada limite à medida que a brisa progride em terra, provocado pelo transporte de ar frio.

Este aumento da altura da camada limite provocado pela brisa é observável nas restantes regiões. As restantes figuras encontram-se nos anexos, com excepção da figura referente à região de Aljezur do dia 31 de Agosto que apresenta uma evolução da altura da camada limite diferente e é exposta seguidamente.

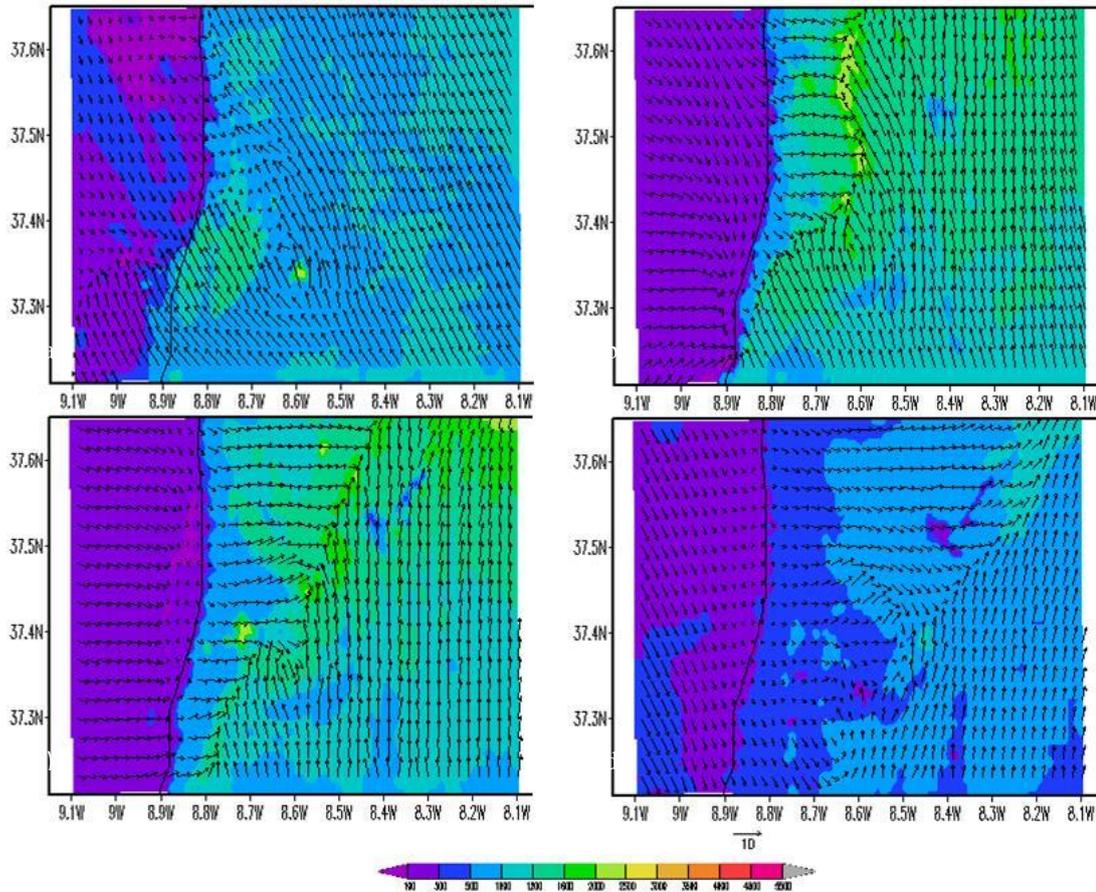


Figura 34 - Evolução espacial da altura da camada limite na região de Aljezur no dia 31 de Agosto de 2009. a) 9h, b) 12h, c) 15h e d) 18h.

Na região de Aljezur no dia 31 de Agosto, a evolução altura da camada limite apresenta um comportamento diferente do resto das regiões. Da observação da figura 34, verifica-se que o aumento da altura da camada limite é muito menor que no resto das regiões. Esta diferença pode ser devida à intensidade da brisa que neste dia apresentou-se fraca. Pode observar-se que aumento da camada limite acompanha o trajecto da brisa marítima, que neste caso é desviado para nordeste pela Serra de Monchique.

A razão de mistura de vapor de água é definida por ser a massa de vapor de água por unidade de ar seco. Este parâmetro é apresentado na figura seguinte.

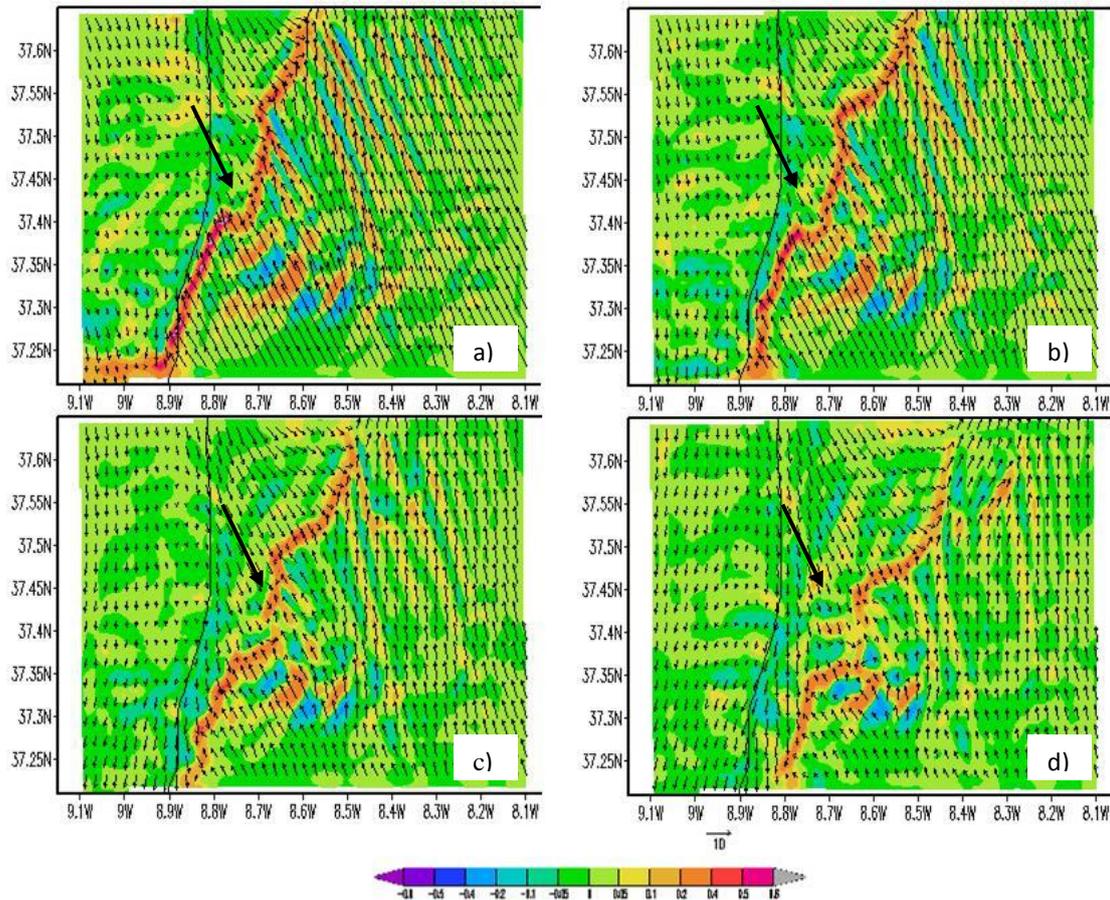


Figura 35 - Evolução espacial da convergência da razão de mistura de vapor de água na região de Aljezur no dia 30 de Agosto de 2009. a) 15h, b) 16h, c) 17h e d) 18h.

Na figura 35 observa-se zonas de convergência, indicadas por valores positivos, e zonas de divergência da razão de mistura do vapor de água, indicadas por valores negativos, na região de Aljezur no dia 30 de Agosto. É visível uma zona de convergência, assinalada na figura por uma seta preta que acompanha a progressão da brisa marítima. Esta região de convergência indica a existência de uma frente de brisa.

O mesmo padrão é observado para a região de Peniche nos dois dias em estudo, no entanto na região de Aveiro apenas se observa no dia 30 de Agosto. Devido à falta de espaço, as figuras referentes às regiões de Aveiro e de Peniche foram remetidas para o anexo, no entanto visualiza-se o mesmo padrão observado na figura 35.

Outra característica da circulação da brisa marítima é a existência de uma corrente de retorno em altitude. Essa corrente de retorno pode formar-se em diferentes altitudes e com diferentes intensidades. Por vezes pode nem se formar de todo.

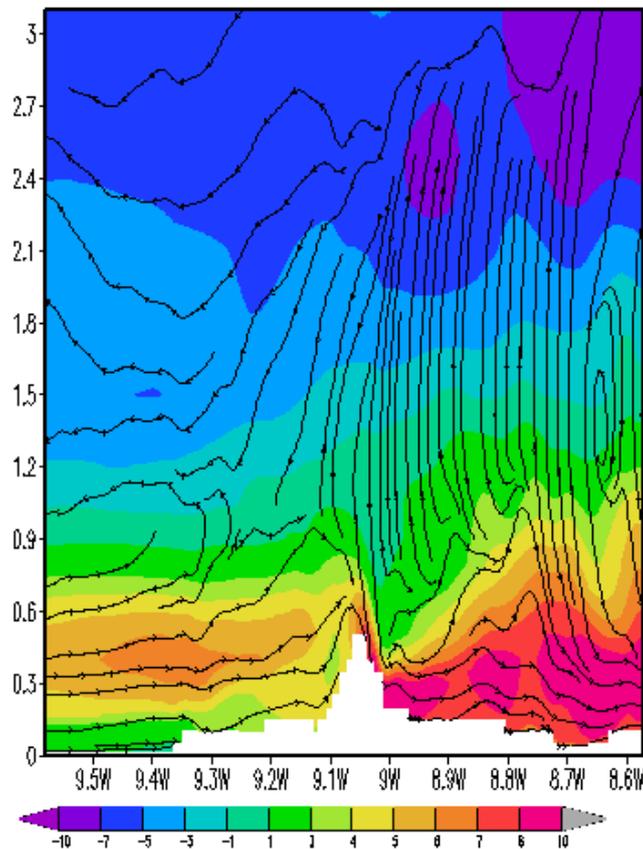


Figura 36 - Distribuição vertical da componente zonal do vento na região de Peniche às 16h no dia 30 de Agosto de 2009, acompanhado com as streamlines do vento.

Na figura 36 observa-se claramente a existência de uma corrente de retorno. A brisa marítima apresenta-se com aproximadamente 1,2km de altitude. Apesar de a corrente de retorno se formar a partir desta altura, a sua intensidade máxima aparece acima dos 2,2km, aproximadamente.

Por outro lado, na figura 37 observa-se a brisa marítima com uma altura entre os 700m e 1,5km e a corrente de retorno aparece a uma altitude mais baixa que na figura anterior e com uma espessura que varia entre 1,3km na parte este do gráfico e 200m na parte oeste.

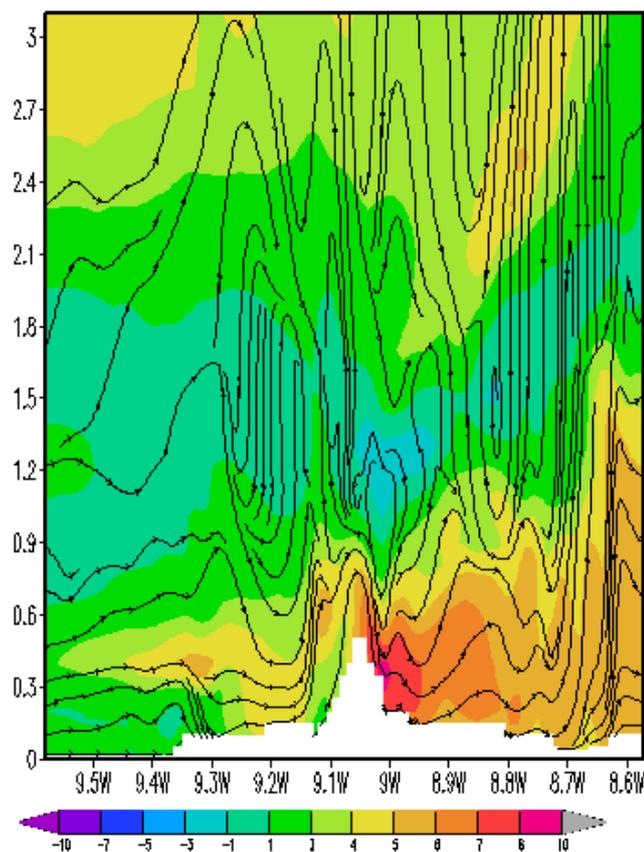


Figura 37 - Distribuição vertical da componente zonal do vento na região de Peniche às 15h no dia 31 de Agosto de 2009, acompanhado com as streamlines do vento.

A corrente de retorno também é observada nos domínios de Aveiro e de Aljezur, no entanto optou-se por se mostrar apenas as figuras do domínio de Peniche por serem representativas do fenómeno. As figuras referentes aos domínios de Aveiro e Aljezur podem ser consultadas no anexo.

Após se estudarem cada parâmetro em separado, realizaram-se diagramas skew-T com o intuito de verificar o comportamento vertical da atmosfera antes e durante a passagem da brisa. Para proceder a esta análise foram seleccionados três locais a cerca de 20km da costa. Os gráficos referentes aos locais dos domínios de Aveiro e de Aljezur foram remetidos para o anexo por falta de espaço.

Num diagrama skew-T podem ser analisados os parâmetros de humidade relativa, temperatura, vento, bem como alguns parâmetros termodinâmicos como o CAPE (*energia potencial disponível para convecção*) que avalia a estabilidade da atmosfera.

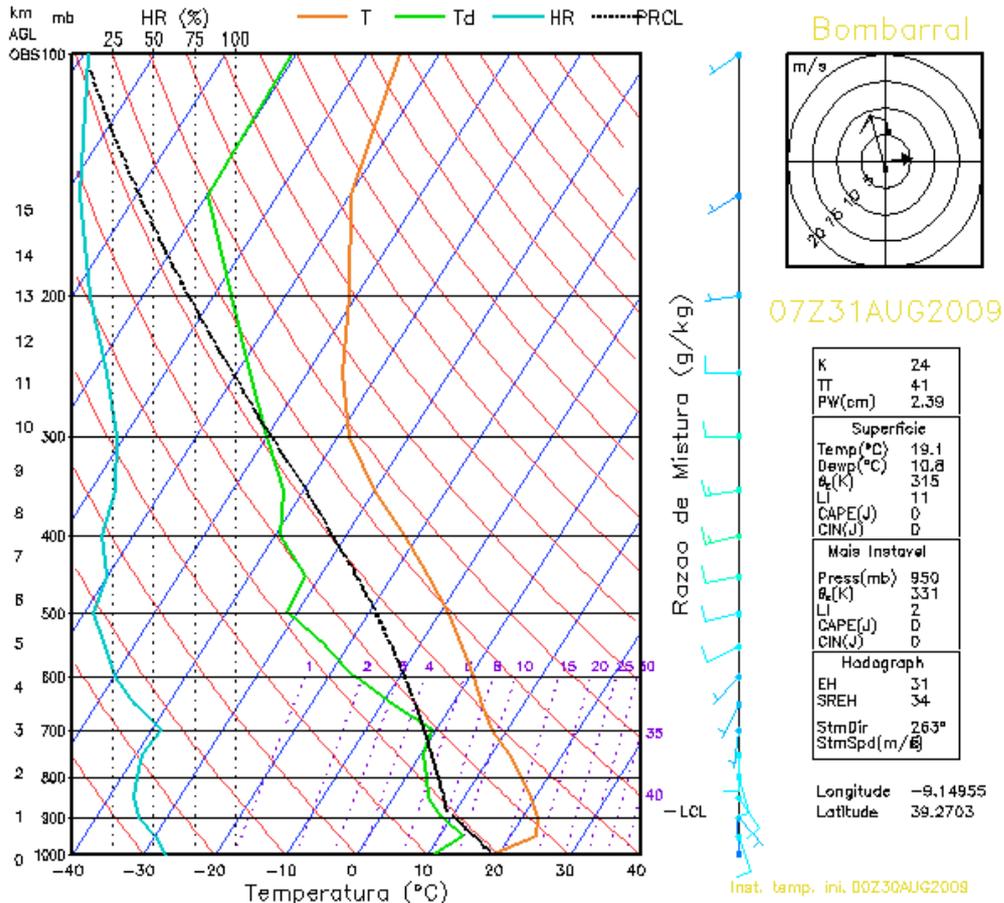


Figura 38 - Skew-T de Bombarral no domínio de Peniche para o dia 31 de Agosto de 2009 às 7h (antes da formação da brisa marítima).

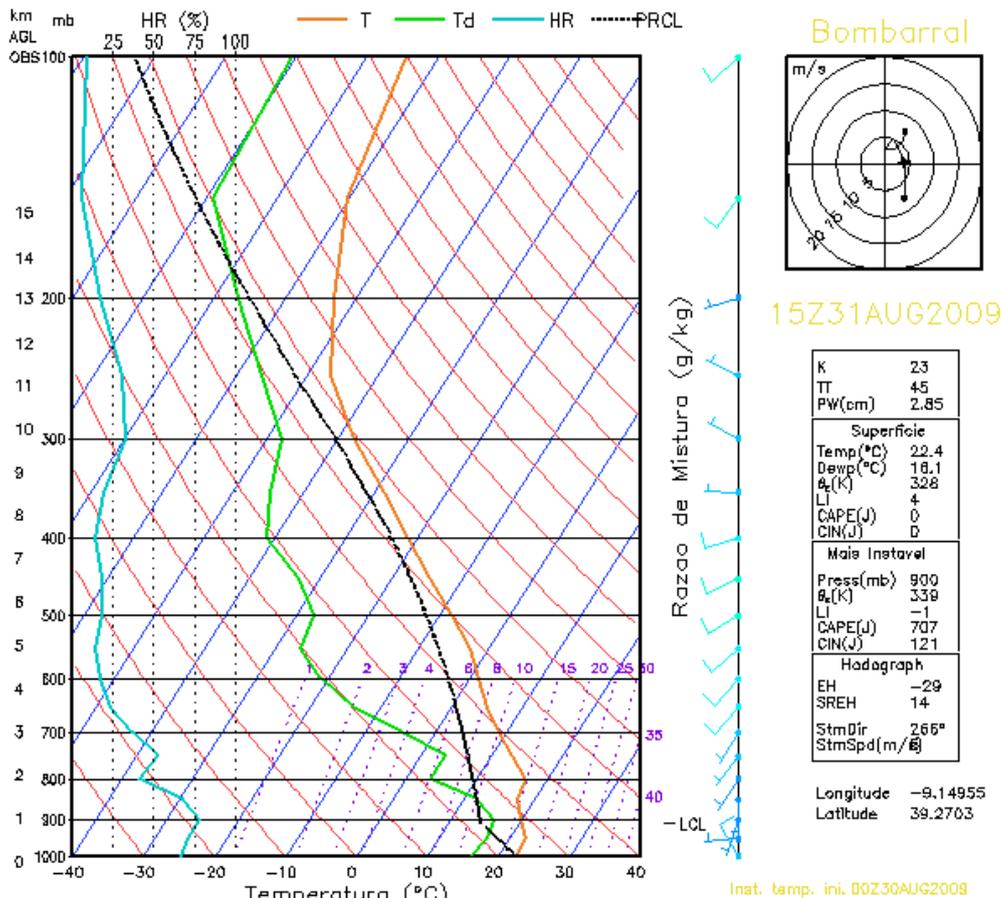


Figura 39 - Skew-T de Bombarral no domínio de Peniche para o dia 31 de Agosto de 2009 às 15h (durante a passagem da brisa marítima).

Analisando os skew-T das figuras 38 e 39, observa-se que a humidade relativa aumenta com a passagem da brisa marítima, confirmando-se assim o que foi dito nesta secção. Em relação à temperatura, antes da formação da brisa observa-se uma inversão que ocorre no nível dos 950hPa, aproximadamente. Essa inversão deixa de se verificar na passagem da brisa. Quanto ao vento, é visível através das bandeiras do lado direito do gráfico uma mudança do vento quando a brisa passa pelo Bombarral.

O CAPE avalia a estabilidade da atmosfera. Quando o CAPE é zero, considera-se que a atmosfera é estável. Abaixo dos 1000J/kg, considera-se que a atmosfera é marginalmente instável. No entanto, e tendo em conta esta condição, verifica-se que antes da passagem da brisa o CAPE é zero e na passagem da brisa este índice termodinâmico aumenta.

Para terminar este estudo, calculou-se o fluxo de vapor de água através da equação (4) indicada na secção 4. Para efectuar este cálculo, fixou-se uma longitude e calculou-se o fluxo ao longo da latitude e da altitude. Para o domínio de Aveiro fixou-se a longitude 8°42'O, para o domínio de Peniche foi fixada a longitude 9°20'O e, por último, para o domínio de Aljezur fixou-se a longitude 8°47'O.

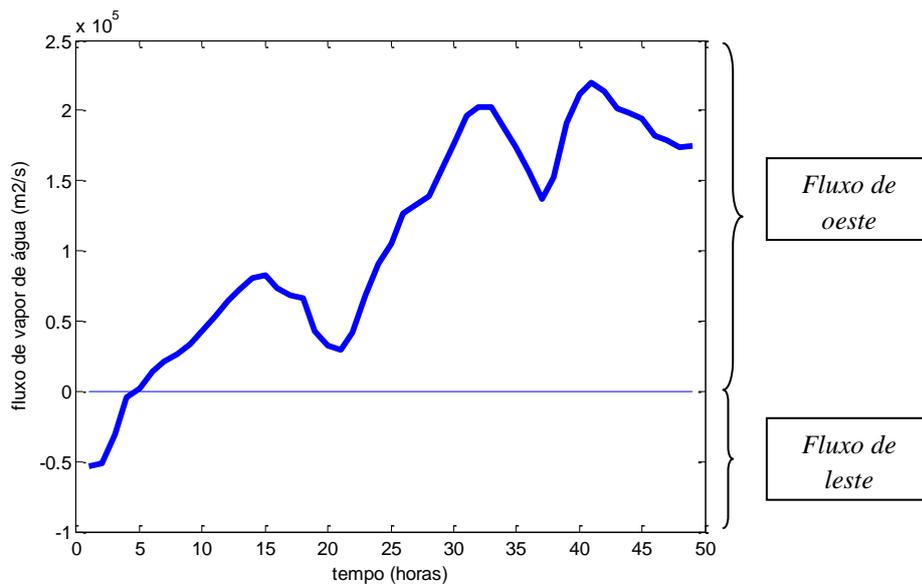


Figura 40 - Distribuição temporal do fluxo de vapor de água através de uma parede virtual ao longo de uma longitude fixa (8°42'N) na região de Aveiro.

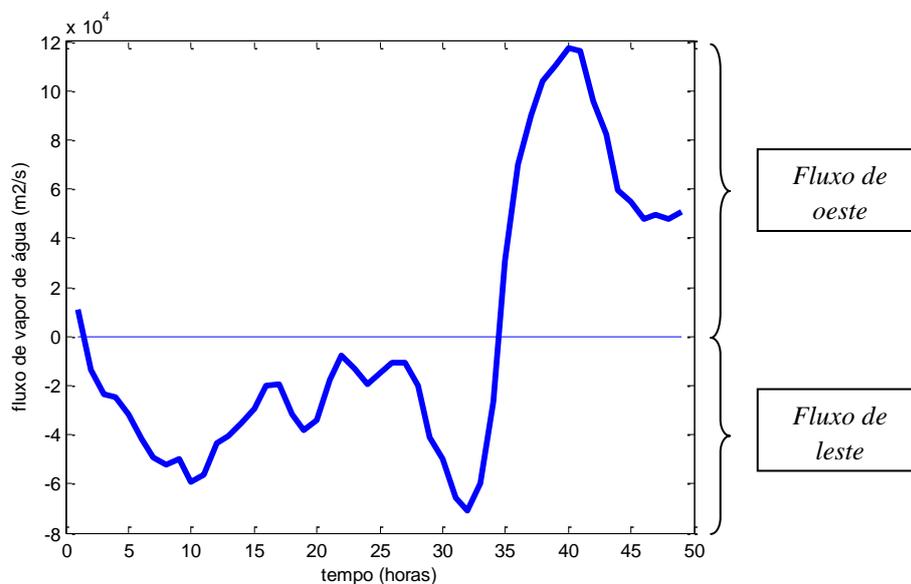


Figura 41 - Distribuição temporal do fluxo de vapor de água através de uma parede virtual ao longo de uma longitude fixa (9°20') na região de Peniche.

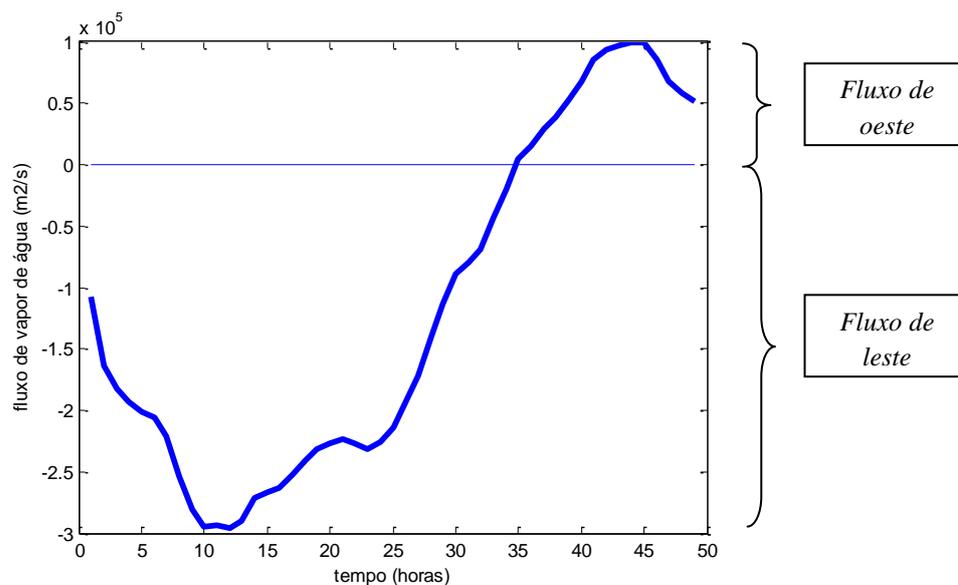


Figura 42 - Distribuição temporal do fluxo de vapor de água através de uma parede virtual ao longo de uma longitude fixa ($8^{\circ}47'$) na região de Aljezur.

Seria de esperar que quando se forma brisa marítima, ocorresse um fluxo de vapor de água proveniente de oeste, ou seja, do mar. Na análise aos gráficos das figuras 41 e 42, observamos que apenas no dia 31 de Agosto de 2009 o fluxo de vapor de água é de oeste. Por outro lado na figura 40 observa-se um fluxo de vapor de água de oeste que abrange praticamente os dois dias de estudo. No entanto, é visível nesta figura um ligeiro aumento nas horas de brisa.

5. Conclusão

Este trabalho teve como objectivo estudar o comportamento da brisa marítima em três locais da costa ocidental portuguesa. Observou-se durante a análise de resultados que esse comportamento difere de local para local.

Foram analisados parâmetros que identificam a existência da brisa marítima, como a temperatura, a humidade relativa, a altura da camada limite e a direcção do vento. Com esta análise foi possível fazer uma comparação do comportamento da brisa em cada uma dos locais em estudo.

Através da informação da direcção do vento, foi possível identificar a brisa marítima, bem como a hora do seu início em cada local escolhido para representar cada domínio. Na Torreira a brisa parece começar por volta do meio-dia no dia 30 de Agosto e por volta das 11h no dia 31. Por outro lado, em Ribamar a brisa inicia-se por volta das 10h nos dois dias estudados. Por fim, em Odeceixe no dia 30 a brisa apresenta um comportamento que não é constante. Verifica-se a existência de um vento zonal a iniciar-se por volta das 8h e às 10h já não é observado. Torna a ser sentido a partir das 13h com mais intensidade, indicando que a entrada de uma brisa marítima nesta região. Ainda em Odeceixe mas no dia 31, a brisa apresenta o início da sua formação às 9h.

Para que a brisa se inicie é necessário observar-se uma diferença de temperatura, entre o mar e a terra, entre 3 a 6°C. É devido a esta condição que a hora de início de brisa não é sempre a mesma.

Após a passagem da brisa, devido ao transporte de ar marítimo pela mesma, é esperado que a temperatura diminua e a humidade relativa aumente. Este comportamento foi observado nos três domínios em estudo.

A brisa marítima tem a característica de poder progredir em terra até dezenas de quilómetros. A progressão da brisa marítima é fortemente influenciada pela topografia do terreno por onde passa. Tendo em conta esta característica, observou-se as diferenças na propagação da brisa em cada um dos domínios.

Começando pelo domínio de Aveiro, foi possível constatar que a progressão da brisa marítima é influenciada pela presença da Ria de Aveiro e das Serras da Gralheira e do Caramulo. Neste domínio observou-se uma velocidade média de propagação da brisa maior que nos restantes domínios em estudo, resultado da influencia da Ria de Aveiro. A

velocidade média de propagação foi calculada tendo em conta a hora de início da brisa até à hora em que desaparecia na extensão horizontal total do domínio, resultando em valores de 3,62m/s no dia 30 de Agosto e de 2,81m/s no dia 31. A existência da Ria de Aveiro provoca a formação de uma brisa lagunar que se cruza com a brisa marítima aumentando a sua velocidade média.

No domínio de Peniche o factor que mais influencia a formação e propagação da brisa marítima é a existência da Serra do Montejunto. Ao chegar a este sistema montanhoso, a brisa sofre um desvio na trajectória e aumenta a sua velocidade de propagação resultado da junção com os ventos anabáticos. Tal como no domínio de Aveiro, calculou-se a velocidade média de propagação da brisa em toda a extensão horizontal do domínio, resultando valores de 2,39m/s no dia 30 e 2,65m/s no dia 31 de Agosto.

No domínio de Aljezur o comportamento da brisa marítima é bastante diferente do comportamento nos domínios de Aveiro e Peniche. Aqui a brisa sofre influência da Serra de Monchique e de um vento de Sul-Sudeste que parece ser, também ele, uma brisa marítima proveniente da costa sul portuguesa. A união destas duas influências provoca um desvio do trajecto da brisa para nordeste. Também neste domínio foi calculada a velocidade média de propagação, resultando em valores de 1,21m/s no dia 30 e de 2,22m/s no dia 31.

Com excepção do dia 30 de Agosto no domínio de Aljezur, a brisa marítima pode ser identificada em toda a extensão horizontal dos domínios. No caso de Aveiro, a brisa é sentida até 63km de distância da linha de costa. Em Peniche, a brisa chega até 66km de distância da costa. No domínio de Aljezur, a brisa é sentida até 66km de distância da costa no dia 31 de Agosto, chegando ao limite do domínio. No entanto, no dia 30 apenas chega até 34km de distância da costa.

Outro comportamento identificativo da passagem da brisa marítima, é o aumento da altura da camada limite. Este aumento foi também ele observado nos três domínios estudados. É visível que este aumento da altura da camada limite progride no terreno de diferentes maneiras em cada domínio, acompanhando a tendência de progressão da brisa marítima.

Acompanhando a progressão da brisa marítima, por vezes pode ser observado uma convergência de vapor de água indicando a formação da frente de brisa. Essa frente de

brisa pode ser mais ou menos evidente. Foi possível observar a convergência de vapor de água em todos os domínios, indicando a existência de uma frente de brisa. A convergência inicia-se perto da costa e propaga-se para o interior acompanhando a trajetória da brisa. A convergência pode dissipar-se antes de a brisa desaparecer.

A circulação da brisa marítima é complementada por uma corrente de retorno em altitude. Esta corrente de retorno pode surgir a diferentes altitudes e com diferentes espessuras e intensidades. Foi possível observar a existência de correntes de retorno nos dois dias nos três domínios estudados. Todas essas correntes de retorno observadas apresentaram estruturas diferentes, tanto de domínio para domínio como de dia para dia.

O último parâmetro a ser estudado foi o fluxo de vapor de água transportado através de uma parede meridional. Seria de se esperar um transporte para Oeste, representado por valores de fluxo positivos, quando se observa a existência de brisa marítima. No entanto não foi isso que se verificou no primeiro dia de estudo, enquanto no segundo dia já se pode identificar esse fenómeno.

Com este estudo foi possível concluir que a brisa marítima adquire diferentes comportamentos consoante as condições verificadas em cada local. Pode também concluir-se que o factor que mais influencia a formação e desenvolvimento da brisa marítima é a topografia do terreno. Sabe-se que o vento sinóptico também é um factor e influencia bastante a formação e desenvolvimento da brisa, no entanto este estudo não incidiu nesse factor. Num outro trabalho seria interessante ter em conta apenas a situação sinóptica para o estudo das brisas marítima.

Bibliografia

Azorin-Molina, C., Chen, D., Tijim, S., Baldi, M. 2009. A multi-year study of sea breezes in a Mediterranean coastal site: Alicante (Spain). *International Journal of Climatology*. DOI:10.1002/joc.2064.

Atkinson, B.W. 1981. *Meso-scale Atmospheric Circulations*. Academic Press, London.

Chunyan, S., Xue, M., Shouting, G. 2009. The Structure and Evolution of Sea Breezes During the Qingdao Olympics Sailing Test Event in 2006. *Advances in Atmospheric Sciences*. 26: 132-142.

Climetua - <http://climetua.fis.ua.pt/>

Coutinho, M. 1995. As circulações atmosféricas de mesoescala na costa Portuguesa – aplicação da teoria transiliente da turbulência. Ph.D.Thesis. Universidade de Aveiro.

Eurad - <http://www.eurad.uni-koeln.de/>

Grid Analysis and Display System (GrADS) - <http://grads.iges.org/grads/grads.html>

Holton, James R., *An Introduction to Dynamic Meteorology*, 4ª edição, Elsevier Academic Press, U.S.A, 2004.

Hsu, S.A. 1988. *Costal Meteorology*. Academic Press, California.

Lopes, D. 1998. Influência das brisas marítimas na química da poluição atmosférica nas zonas costeiras. Ph.D.Thesis. Universidade de Aveiro.

Mak, M.K., Walsh, J.E. 1975. On The Intensities of Sea and Land Breezes. *Journal of the Atmospheric Sciences*. 33: 242-251.

Nitis, T., Kitsiou, D., Klaić, Z. B., Pretenjak, M. T., Moussiopoulos, N. 2005. The effects of basic flow and topography on the development of the sea breeze over a complex coastal environment. *Royal Meteorological Society*. 131: 305-327.

Rani, A.I., Ramachandran, R., Subrahmanyam, D.B., Alappattu, D.P., Kunhikrishnan, P.K. 2009. Characterization of sea/land breeze circulation along the west coast of Indian sub-continent during pre-monsoon season. Atmospheric Research. DOI: 10.1016/j.atmosres.2009.10.009

Rotunno, R. 1983. On The Theory of the Land and Sea Breezes. American Meteorological Society. 1999-2009.

Salgado, R. 2005. Interação solo-atmosfera em clima semi-árido. Ph.D.Thesis. Universidade de Évora.

Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Huang, X. Y., Wang, W., Powers, J. G., 2008: A Description of the Advanced Research WRF Version 3 (NCAR Technical Note), Mesoscale and Microscale Meteorology Division do NCAR.

Walsh, J.E. 1974. Sea Breeze Theory and Applications. Journal of the Atmospheric Sciences. 31: 2012-2026.

Wetterzentrale - <http://www.wetterzentrale.de/>

Zhong, S., Leone, J.M., Takle, E.S. 1991. Interaction of the Sea Breeze with a River Breeze in na área of complex coastal heating. Boundary-Layer Meteorology. 56: 101-139.

Zhu, M., Atkinson, B.W. 2004. Observed and Modelled Climatology of the land-sea Breeze Circulation over the Persian Gulf. International Journal of Climatology. 24: 883-905.

ANEXO

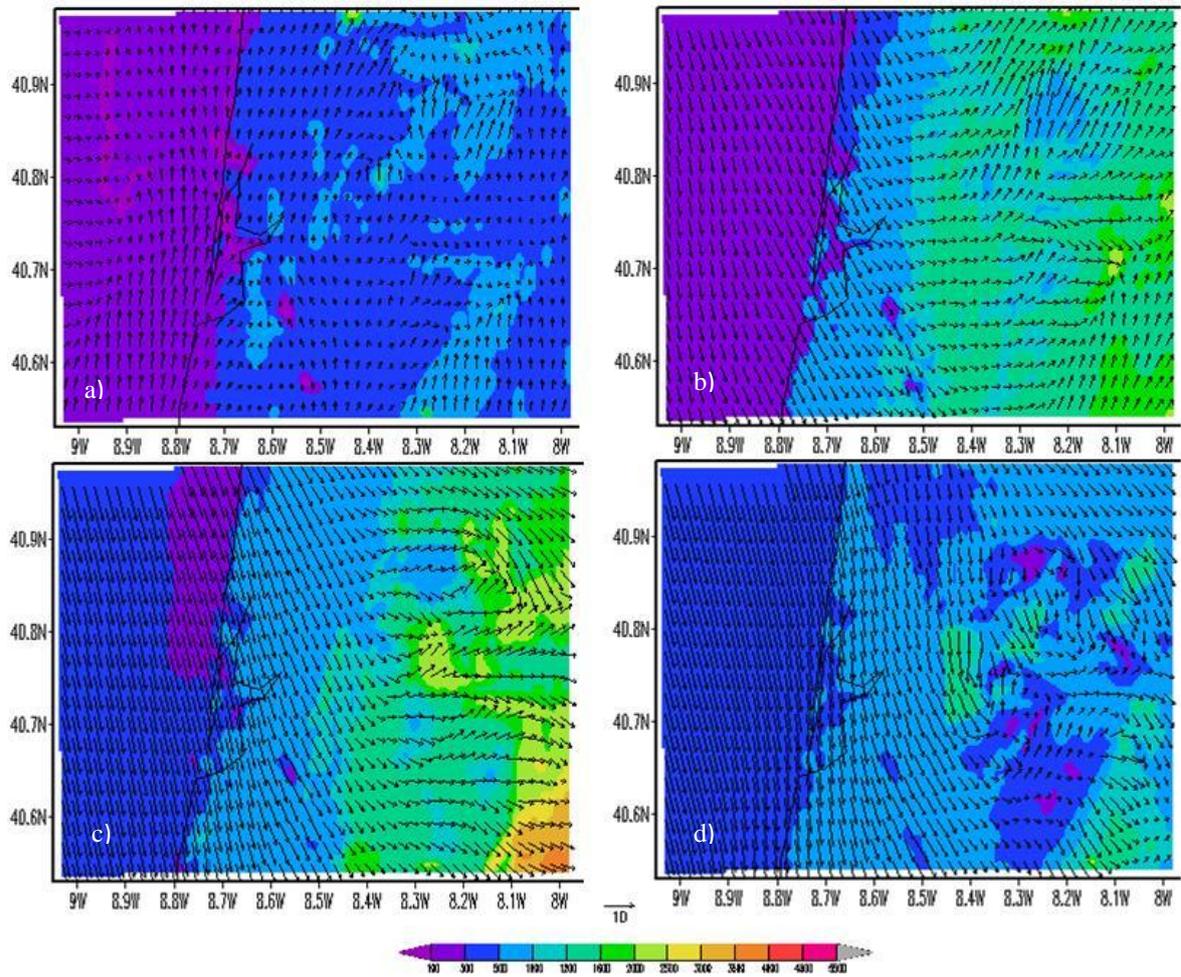


Figura I - Evolução espacial da altura da camada limite na região de Aveiro no dia 31 de Agosto de 2009.
a) 9h, b) 12h, c) 15h e d) 18h.

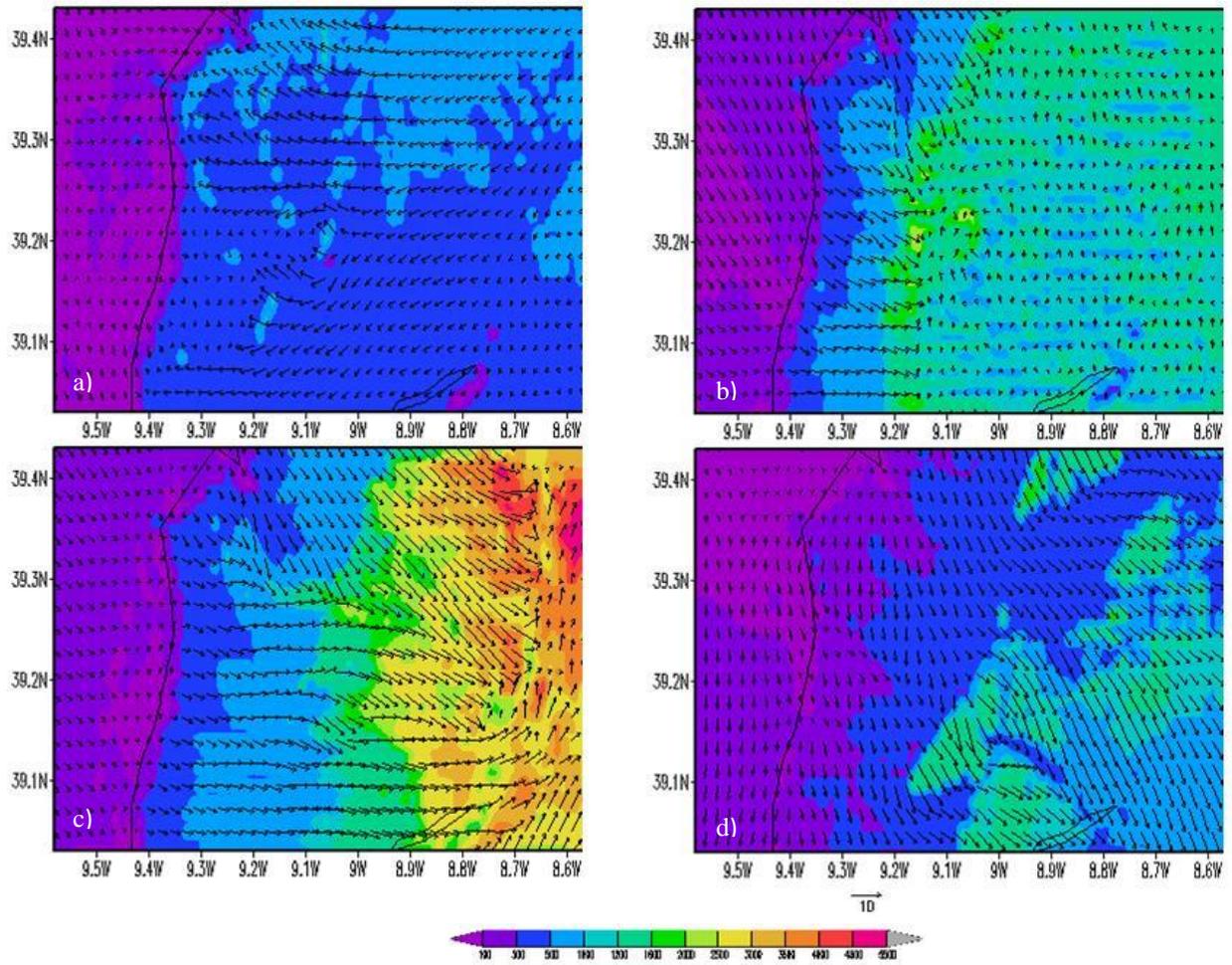


Figura II - Evolução espacial da altura da camada limite na região de Peniche no dia 30 de Agosto de 2009. a) 9h, b) 12h, c) 15h e d) 18h.

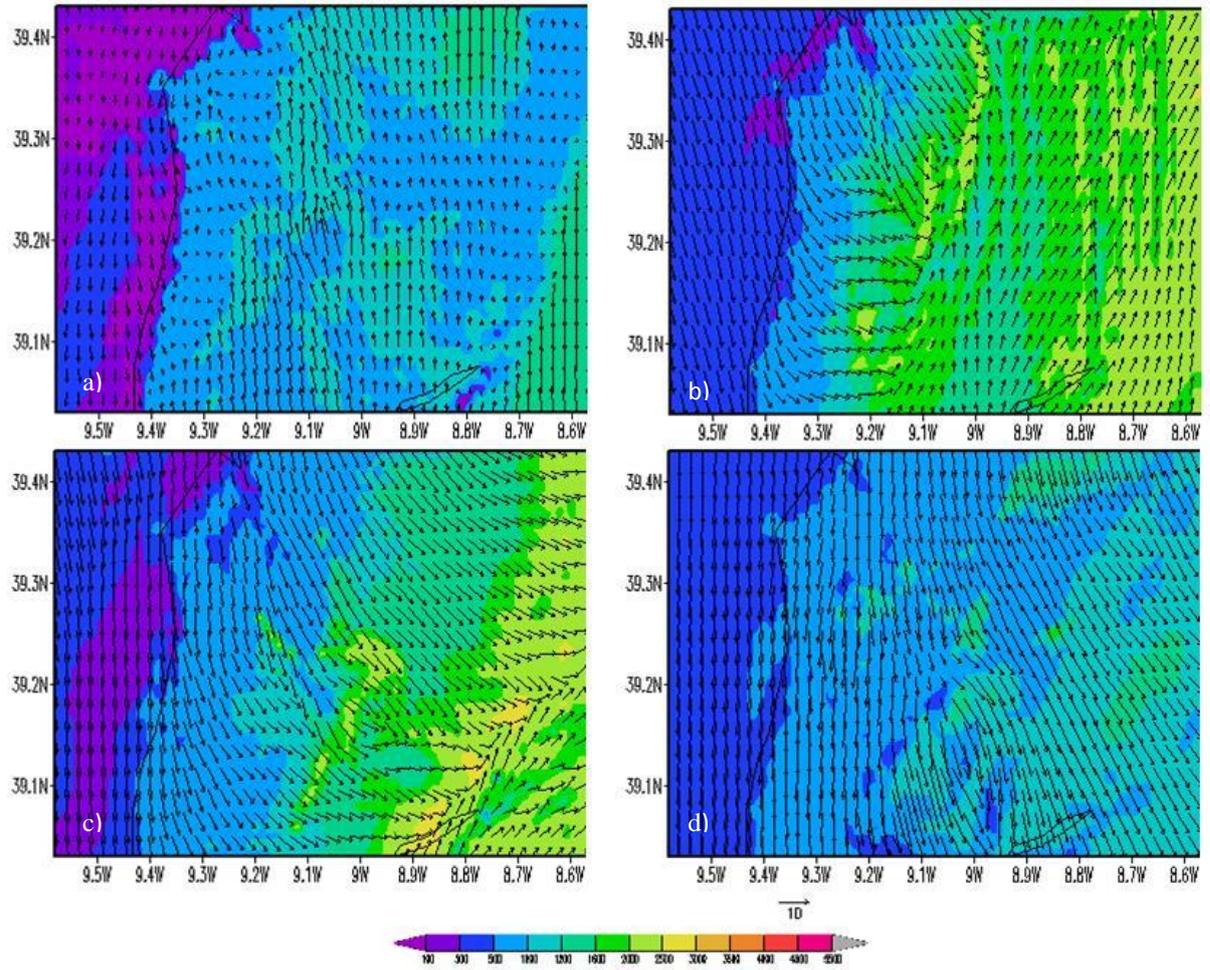


Figura III - Evolução espacial da altura da camada limite na região de Peniche no dia 31 de Agosto de 2009. a) 9h, b) 12h, c) 15h e d) 18h.

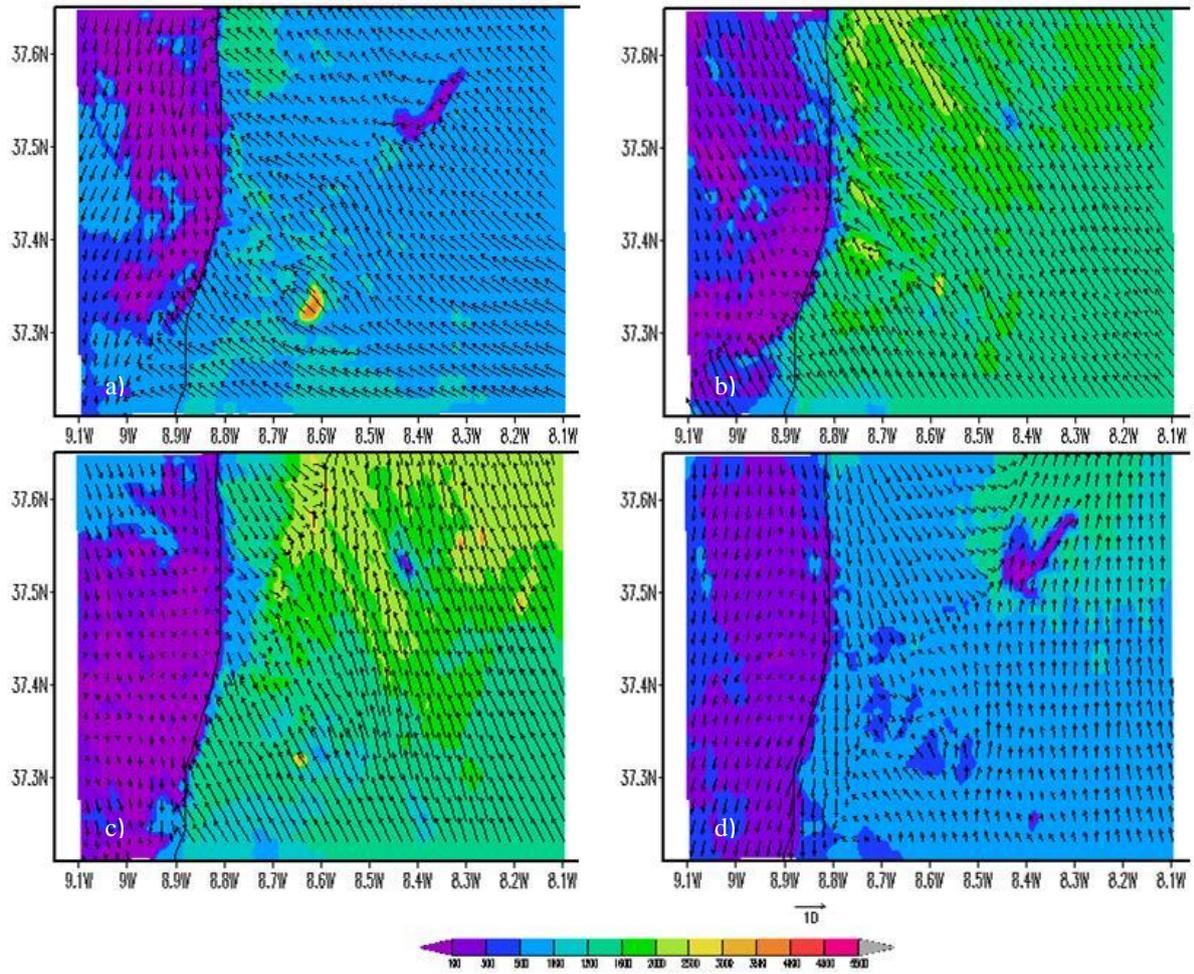


Figura IV - Evolução espacial da altura da camada limite na região de Aljezur no dia 30 de Agosto de 2009. a) 9h, b) 12h, c) 15h e d) 18h.

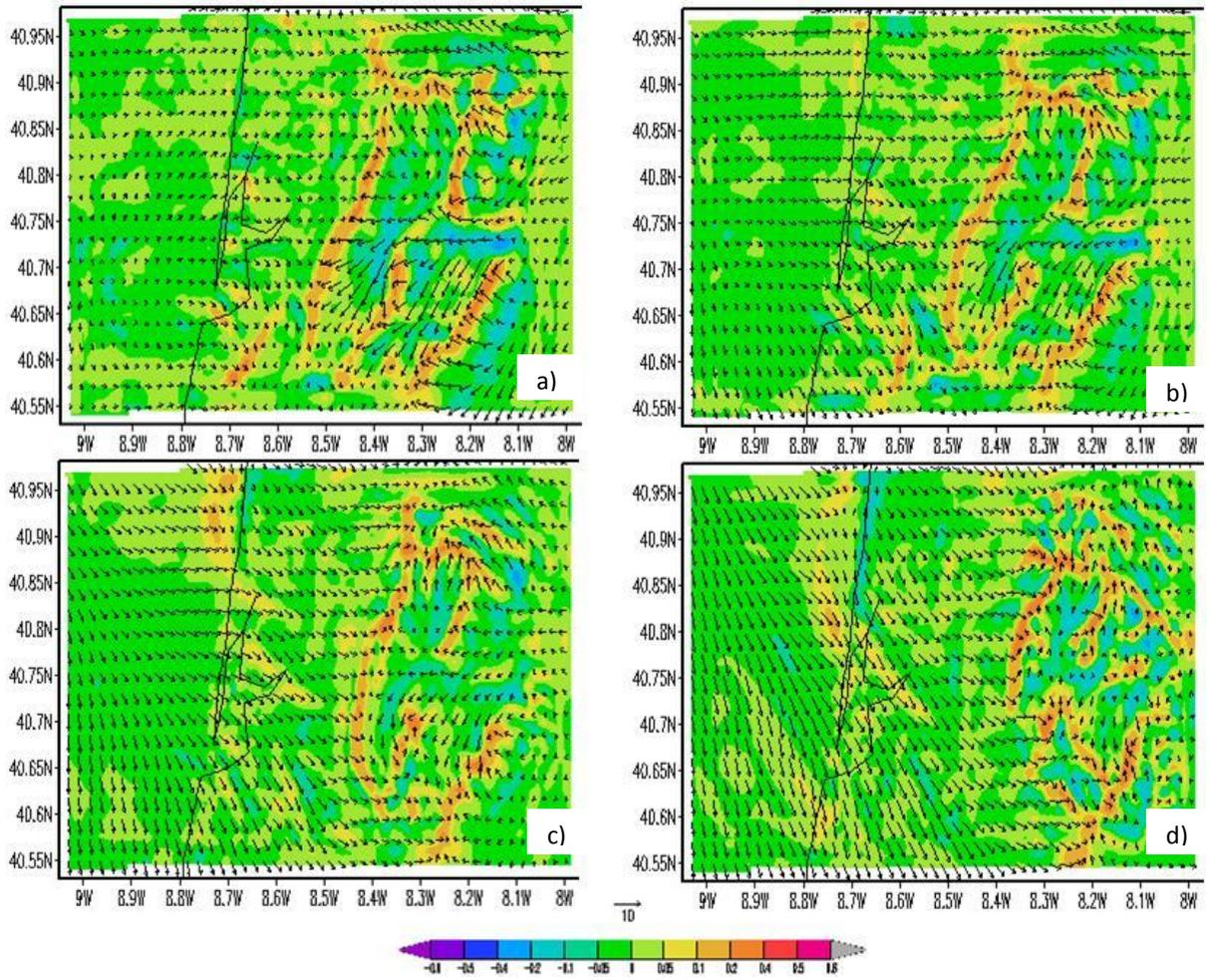


Figura V - Evolução espacial da convergência da razão de mistura de vapor de água na região de Aveiro no dia 30 de Agosto de 2009. a) 10h, b) 11h, c) 12h e d) 13h.

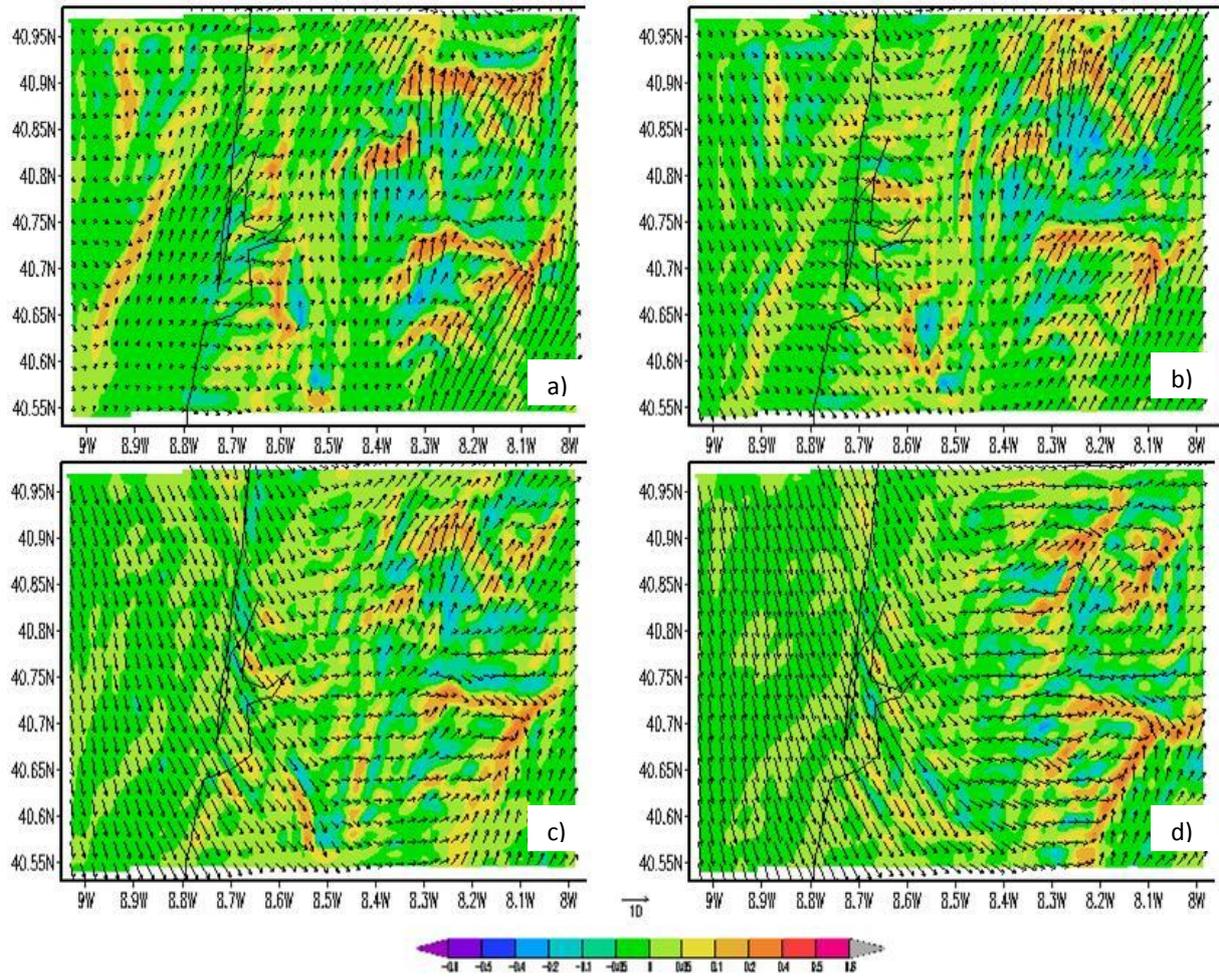


Figura VI - Evolução espacial da convergência da razão de mistura de vapor de água na região de Aveiro no dia 31 de Agosto de 2009. a) 10h, b) 11h, c) 12h e d) 13h.

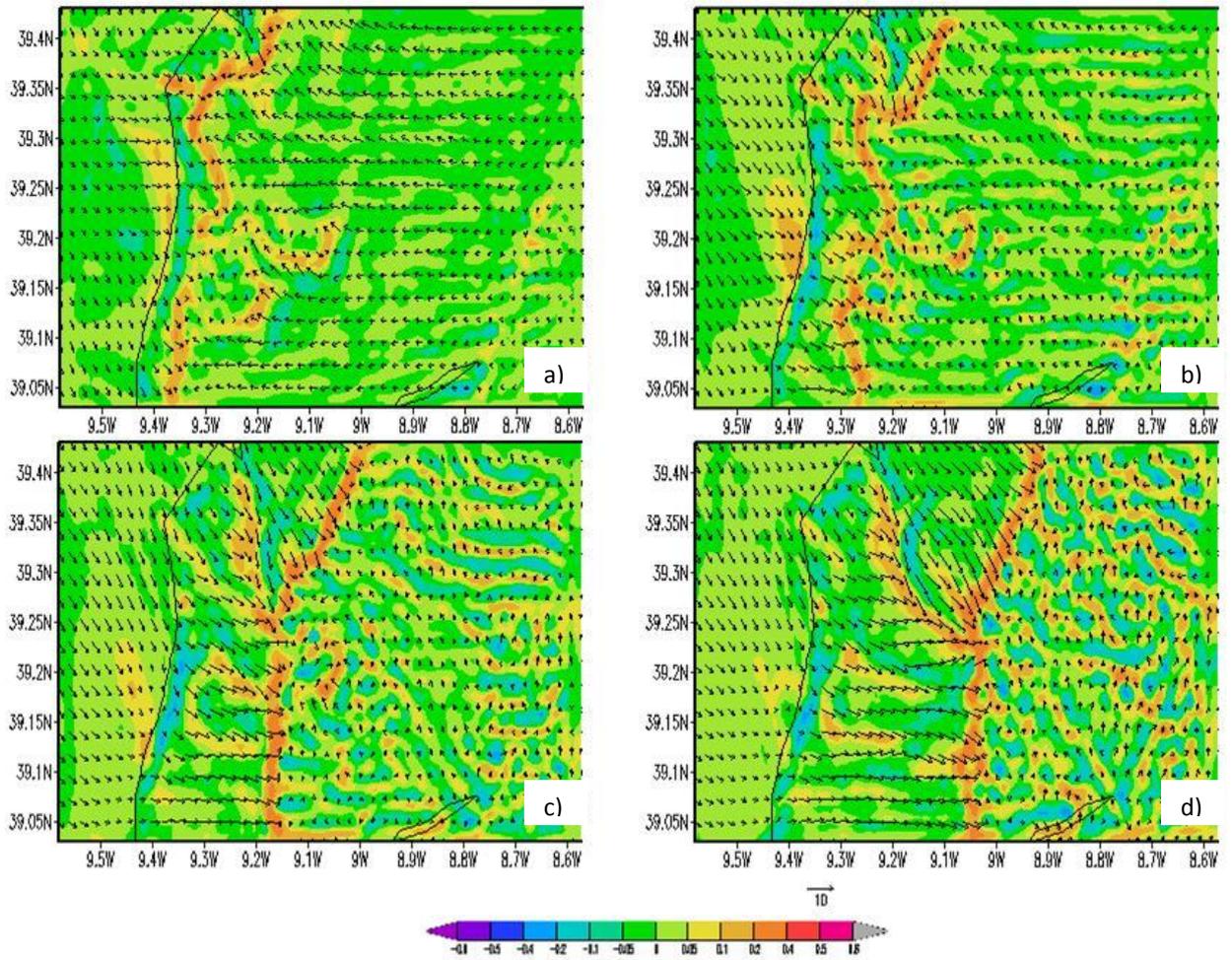


Figura VII - Evolução espacial da convergência da razão de mistura de vapor de água na região de Peniche no dia 30 de Agosto de 2009. a) 10h, b) 11h, c) 12h e d) 13h.

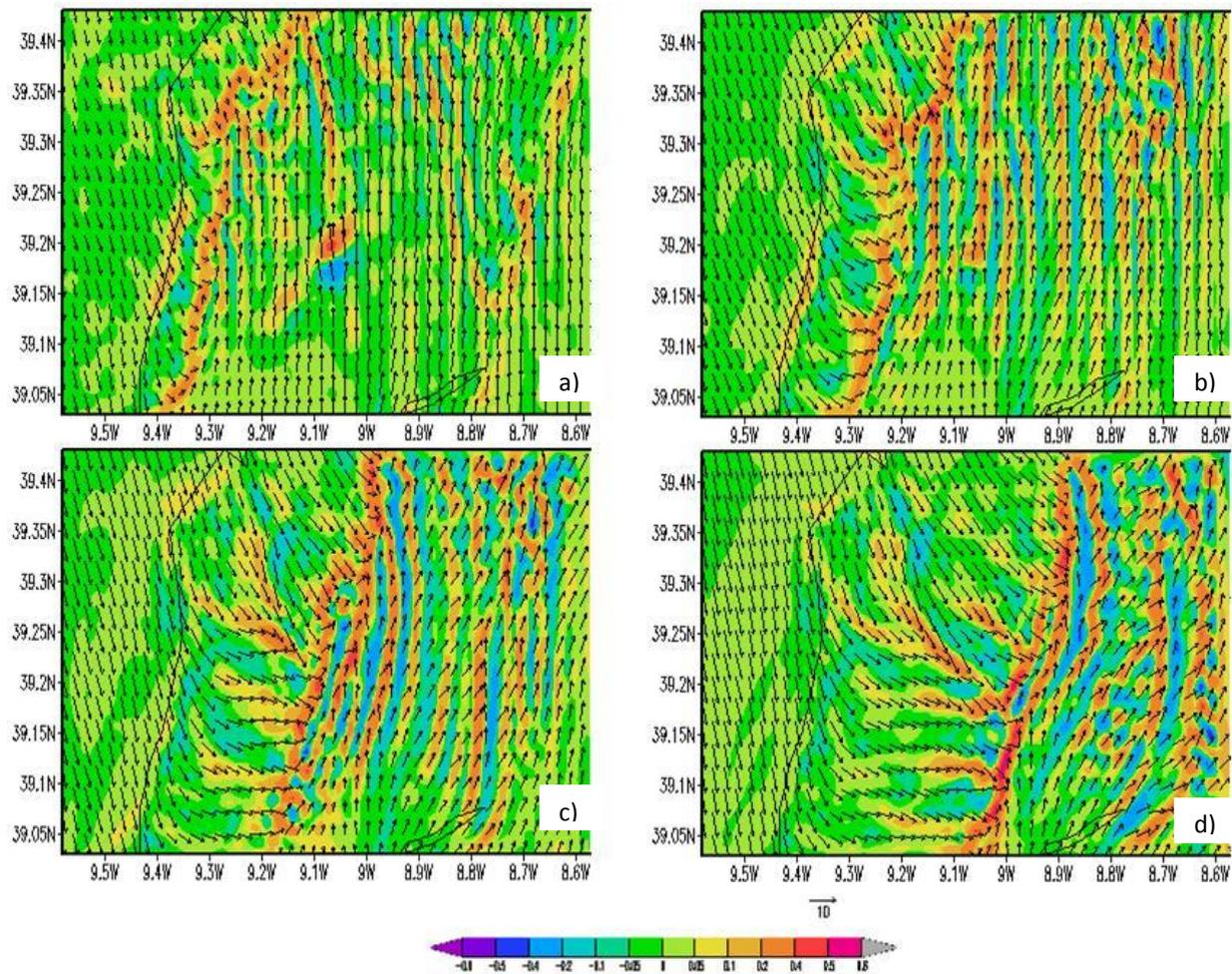


Figura VIII - Evolução espacial da convergência da razão de mistura de vapor de água na região de Peniche no dia 31 de Agosto de 2009. a) 10h, b) 11h, c) 12h e d) 13h.

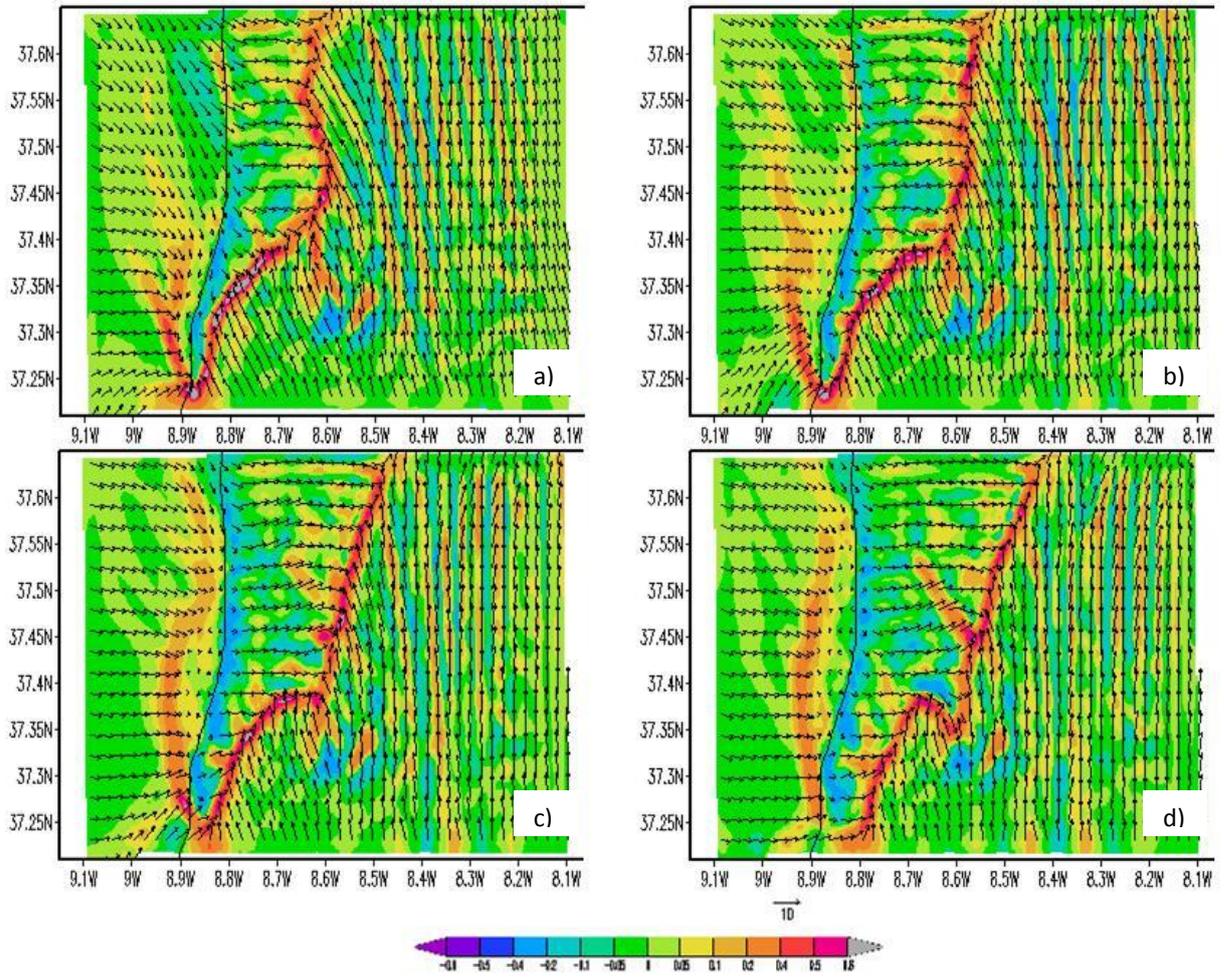


Figura IX - Evolução espacial da convergência da razão de mistura de vapor de água na região de Aljezur no dia 31 de Agosto de 2009. a) 12h, b) 13h, c) 14h e d) 15h.

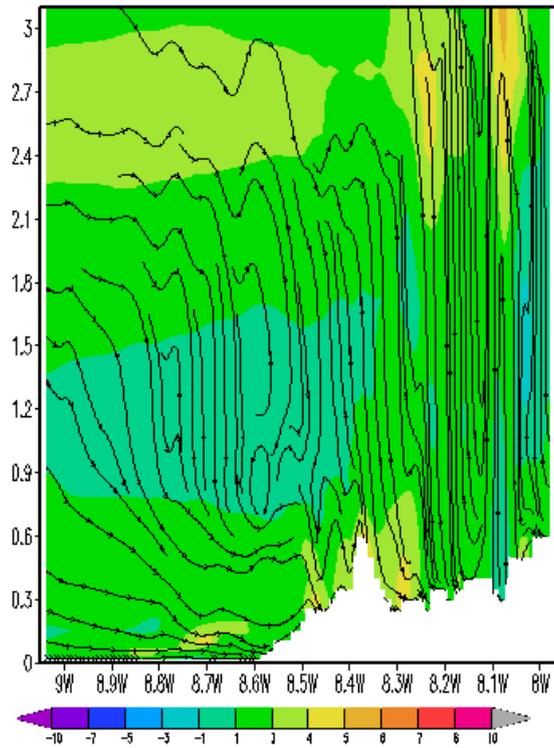


Figura X - Distribuição vertical da componente zonal do vento na região de Aveiro às 14h no dia 30 de Agosto de 2009, acompanhado com as streamlines do vento.

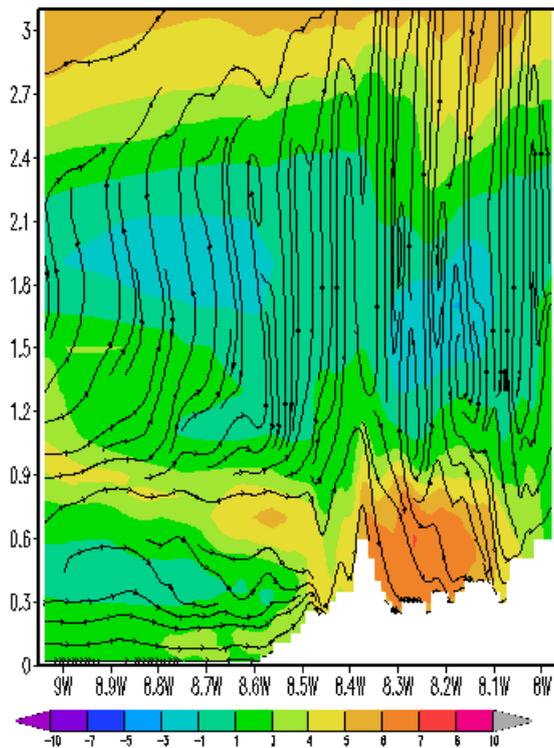


Figura XI - Distribuição vertical da componente zonal do vento na região de Aveiro às 13h no dia 31 de Agosto de 2009, acompanhado com as streamlines do vento.

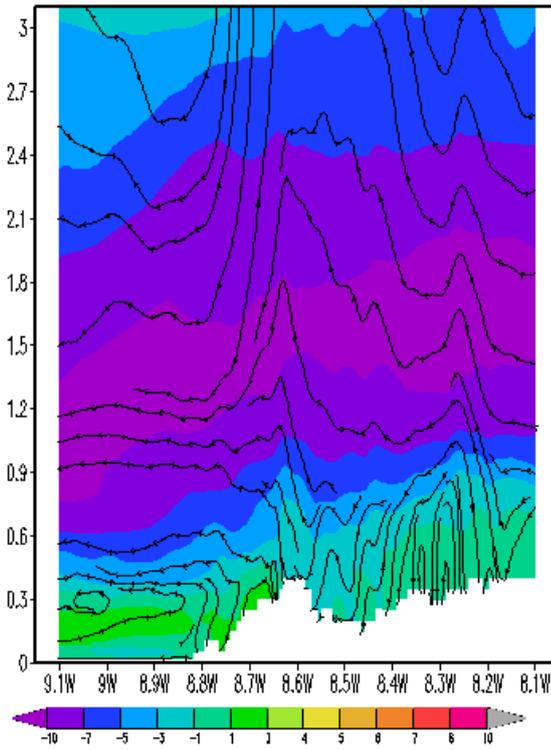


Figura XII - Distribuição vertical da componente zonal do vento na região de Aljezur às 18h no dia 30 de Agosto de 2009, acompanhado com as streamlines do vento.

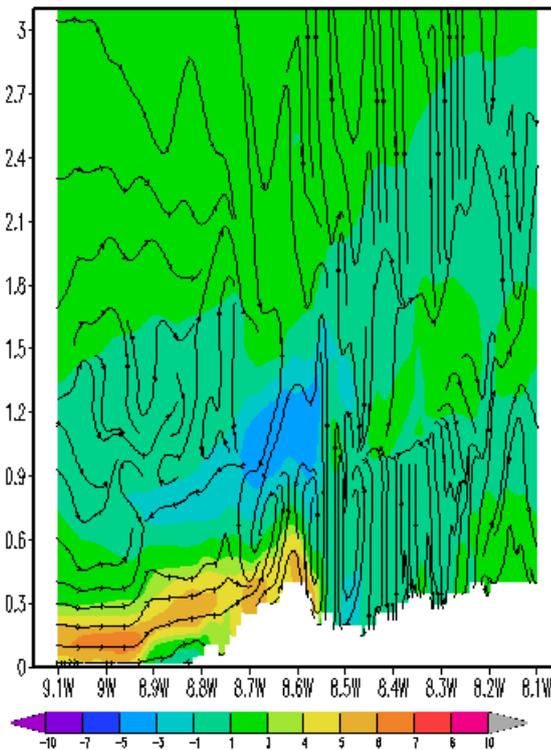


Figura XIII - Distribuição vertical da componente zonal do vento na região de Aljezur às 16h no dia 31 de Agosto de 2009, acompanhado com as streamlines do vento.

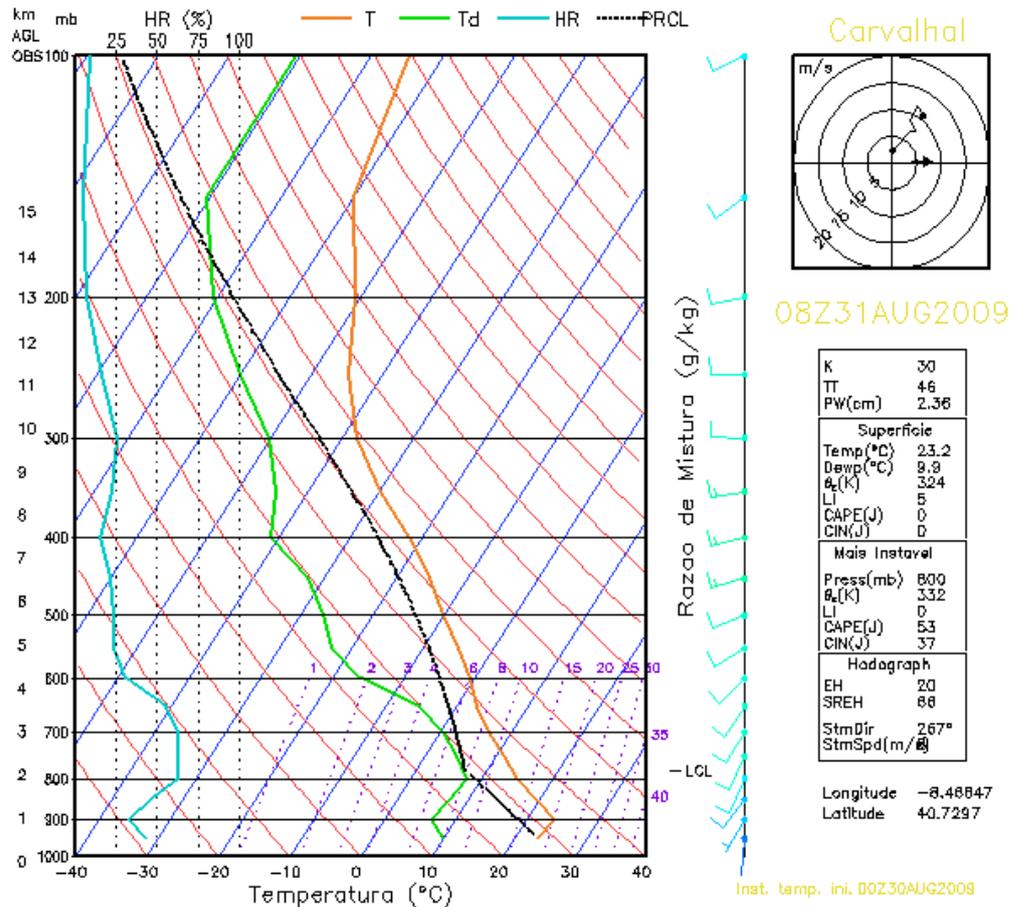


Figura XIV - Skew-T de Carvalho no domínio de Aveiro para o dia 31 de Agosto de 2009 às 8h (antes da formação da brisa marítima).

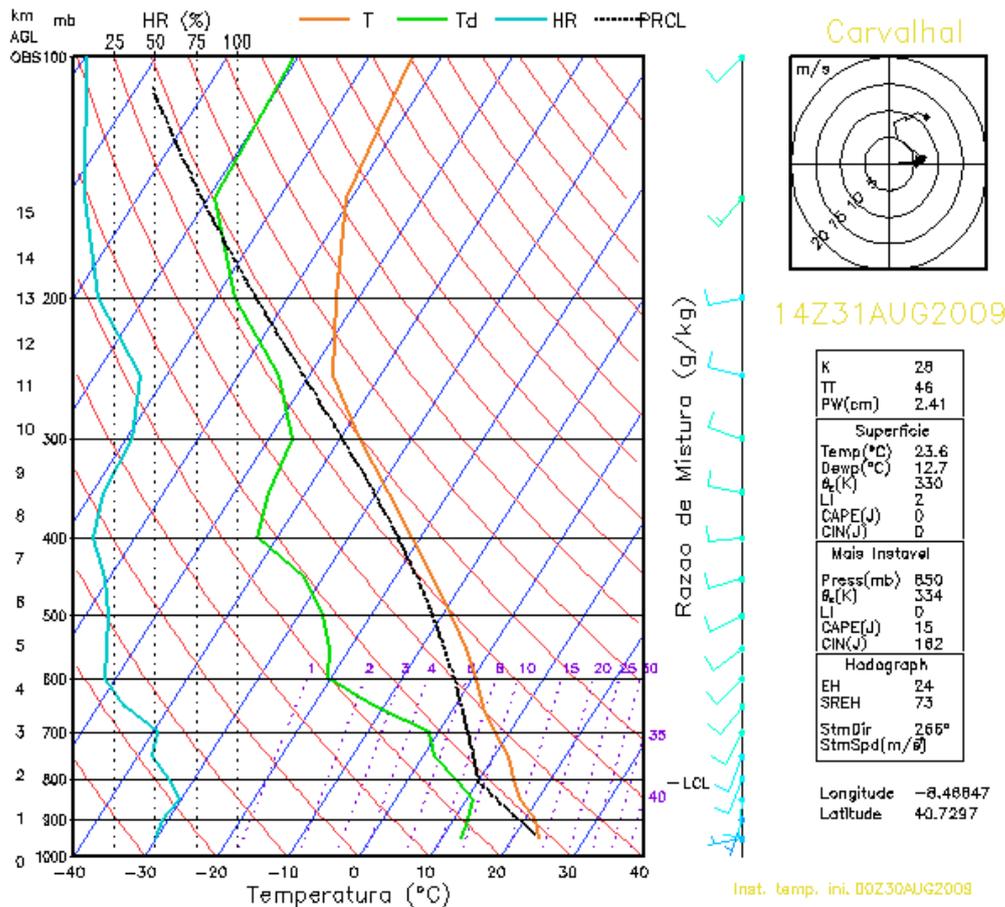


Figura XV - Skew-T de Carvalho no domínio de Aveiro para o dia 31 de Agosto de 2009 às 14h (durante a passagem da brisa marítima).

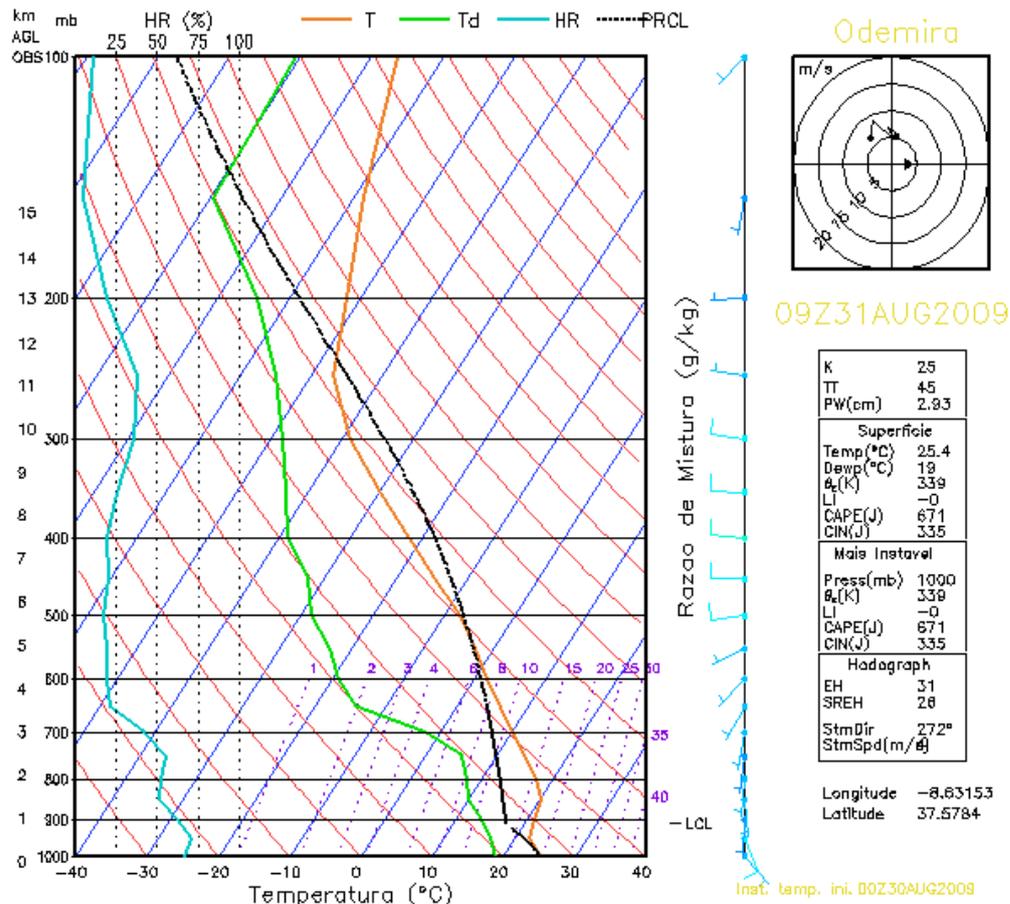


Figura XVI - Skew-T de Odemira no domínio de Aljezur para o dia 31 de Agosto de 2009 às 9h (antes da formação da brisa marítima).

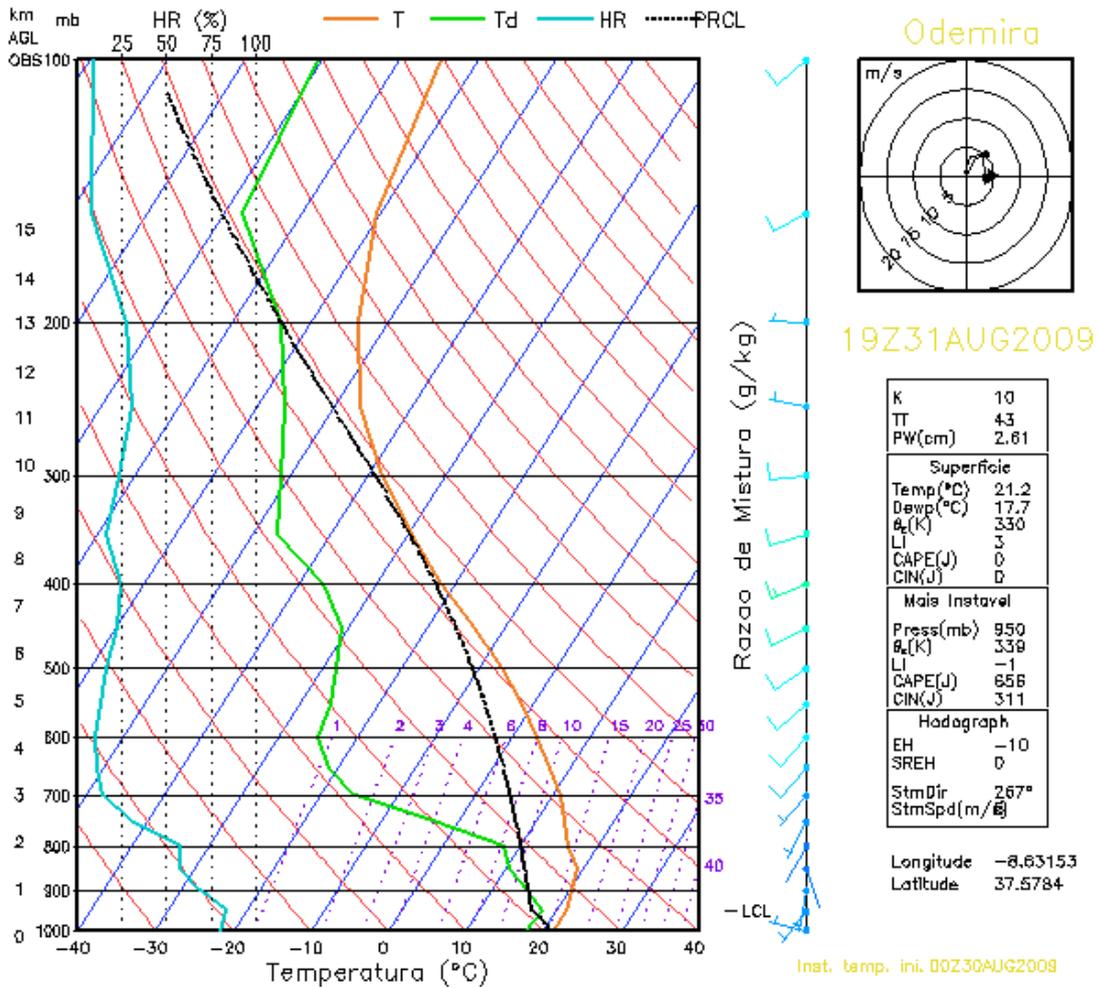


Figura XVII - Skew-T de Odemira no domínio de Aljezur para o dia 31 de Agosto de 2009 às 19h (durante a passagem da brisa marítima).