



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

Nº de ordem: MET-UFAL-MS/102

ALITON OLIVEIRA DA SILVA

ANÁLISE E PREVISÃO DE VISIBILIDADE BAIXA  
NO AEROPORTO DE MACEIÓ

MACEIÓ – AL  
2012



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

ALITON OLIVEIRA DA SILVA

ANÁLISE E PREVISÃO DE VISIBILIDADE BAIXA  
NO AEROPORTO DE MACEIÓ

Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, para obtenção do título de Mestre em Meteorologia – área de concentração em Processos de Superfície Terrestre.

Orientador: Natalia Fedorova  
Co-orientador: Vladimir Levit

MACEIÓ – AL  
2012

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**  
**Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale**

S586a Silva, Aliton Oliveira da.  
Análise e previsão de visibilidade baixa no aeroporto de Maceió / Aliton Oliveira da Silva – 2012.  
142 f. : il., grafs. tab.

Orientadora: Natalia Fedorova.  
Co-Orientador: Vladimir Levit.  
Dissertação (Mestrado em Meteorologia : Processos de Superfície Terrestre) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2012.

Bibliografia: f. 135-137.  
Apêndices: f. 138-140.  
Anexos: f. 141-142.

1. Visibilidade (Meteorologia). 2. Visibilidade baixa – Maceió (AL). 3. Modelo computacional PAFOG. 4. Aeroportos. 5. Previsão do Tempo. 6. Nevoeiro. I. Título.

CDU: 551.509 (813.5)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO

N.º de ordem: MET-UFAL-MS-102.

*“ANÁLISE E PREVISÃO DE VISIBILIDADE BAIXA NO AEROPORTO DE MACEIÓ”*

*Aliton Oliveira da Silva*

Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

Aprovado pela Banca Examinadora composta por:

Prof.ª. Dr.ª. Natalia Fedorova  
(Orientadora)

Prof. Dr. Roberto Fernando da Fonseca Lyra  
(Membro Interno)

Prof. Dr. Augusto José Pereira Filho  
(Membro Externo – IAG USP)

Setembro/2012

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho a toda minha família,  
Principalmente a minha mãe, irmã e noiva,  
nessa mesma ordem, Luiza Izabel, Amanda e  
Leila de Carvalho, por estarem sempre  
presente me apoiando em todos os momentos.  
Também o dedico a todo o corpo docente do  
ICAT por me instruir e aconselhar durante  
essa longa jornada que foi o curso, em  
especial aos professores e orientadores:  
Natalia Fedorova e Vladimir Levit.*

## AGRADECIMENTOS

Serei eternamente grato aos meus parentes mais próximos: minha mãe, irmã e noiva. E seria injusto não citar pessoas tão especiais que me acolheram como um filho, meus sogros: Lourdes e Damião de Carvalho. Pois sem estas pessoas tão maravilhosas para me encorajar nessa longa estrada da vida, tudo isso não faria sentido.

Um obrigado especial aos professores Natalia e Vladimir por toda paciência e atenção dedicada a mim, a presença de ambos foi essencial para que eu pudesse me tornar um profissional competente.

Ao professor Andreas Bott por ceder o modelo PAFOG e por toda ajuda e confiança neste trabalho.

A todos os companheiros de classe, por me ajudarem direta ou indiretamente.

Ao Rafael do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA).

Ao professor Rosiberto do Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT/UFAL), por toda ajuda e disponibilização dos dados do modelo WRF.

Ao professor Marcelo Barbio Rosa do Centro de Previsão de Tempo e Clima (CPTEC), por toda dedicação e ajuda com o modelo PAFOG.

A todos os professores do ICAT, pois neste trabalho contém um pouco da experiência e sabedoria de cada um.

Ao apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL) que proporcionou o desenvolvimento deste projeto de pesquisa.

## RESUMO

O estudo da visibilidade baixa é muito importante para segurança e eficiência do transporte aéreo. Variáveis meteorológicas de superfície, associadas à visibilidade baixa no Aeroporto de Maceió, foram analisadas durante cinco anos 2002-2005 e 2007, utilizando dados observacionais da estação meteorológica de superfície do Aeroporto. As condições sinóticas que prevaleceram antes e durante os eventos de nevoeiro foram estudadas utilizando diferentes produtos de reanálise do NCEP e ECMWF. Foi obtido que somente a névoa úmida é capaz de reduzir severamente a visibilidade horizontal, em Maceió, originando o nevoeiro. A névoa úmida reduziu a visibilidade para menos de 5km em 14% das observações. Uma considerável parte das visibilidades entre 1-3km (88%) estiveram associadas a ocorrência de chuva. A névoa seca raramente reduz a visibilidade para menos de 5km e os principais motivos são o período de atuação (à tarde) e ventos mais fortes (acima de 3m/s). As condições mais frequentemente associadas à visibilidade baixa são calma ou ventos fracos (abaixo de 3m/s) do oceano e alta umidade (>95%). O período de maior frequência de visibilidade baixa está entre Maio e Setembro. Oito eventos de nevoeiro foram identificados durante o período de estudo. A duração do nevoeiro variou de 20 minutos a até 4 horas e sua intensidade foi fraca ou moderada. Os nevoeiros estiveram associados a sistemas sinóticos, como: 1) Perturbação Ondulatória nos Ventos Alísios; 2) perturbações advindas da extremidade da frente fria. O perfil vertical de temperatura previsto pelo WRF representou as condições para formação de nevoeiro melhor que NCEP. O perfil de temperatura típico para eventos de nevoeiro pelo WRF mostrou: 1) uma inversão de temperatura desde a superfície até 166m (985hPa); 2) camada úmida (T-Td entre 0,3°C e 1,6°C) até o topo da inversão; 3) existência de instabilidade condicional acima da camada de inversão entre 985-860hPa; 4) uma camada mais seca e estável acima de 860hPa. O modelo PAFOG foi utilizado para previsão de nevoeiro em três casos, os quais passaram por um critério para utilização do modelo. A previsão foi satisfatória apenas em um caso (em 30% das previsões). Resultados satisfatórios de duração e intensidade do nevoeiro foram obtidos com 10 horas de antecedência.

Palavras-chave: Visibilidade Baixa, Nevoeiro, Aeroporto Maceió, modelo PAFOG.

## ABSTRACT

Study of Low visibility is very important for security and air traffic efficiency. Surface meteorological variables, associated to low visibility at the Maceio Airport, were analyzed during five years 2002-2005 and 2007, using observational data from the surface weather station at the airport. Synoptic conditions that prevailed before and during the fog events were studied using different reanalysis products of NCEP and ECMWF. It was obtained that only mist is able to decrease severely the horizontal visibility in Maceio and to formed fog. Mist decreased the visibility to less than 5km in 14% of the observations. A great portion of the visibilities between 1-3km (88%) were associated to rain occurrence. Haze rarely decreases the visibility to less than 5km and the main reasons are its acting time (at noon) and stronger winds (over 3m/s). The most frequently conditions associated to low visibility are calm or weak winds (under 3m/s) from ocean and high humidity (>95%). The period of higher frequency of low visibility is between May and September. Eight events of fog have been identified in this study. Fog duration varied from 20 minutes up to 4 hours and its intensity was weak or moderate. Fog events were associated to synoptic systems, such as: 1) Wave Disturbances in Trade Winds; 2) disturbances arising from the cold front extremity. The temperature profile predicted by WRF has represented the conditions for fog formation better than NCEP. The typical temperature profile for fog events by WRF showed: 1) a temperature inversion from surface up to 166m (985hPa); 2) humid layer (T-Td between 0,3°C and 1,6°C) up to the top of inversion; 3) existence of conditional instability above the inversion layer between 985-860hPa; 4) a drier and stable layer above 860hPa. PAFOG model was used for fog forecast in three cases, which have passed of criterion for model using. Forecast was satisfactory just in one case (in 30% of the predictions). Satisfactory results of fog duration and intensity were obtained with 10 hours of antecedence.

Key-words: Low Visibility, Fog, Maceio Airport, PAFOG Model.



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 2.1 – Ilustração dos processos fundamentais para formação de seis tipos de nevoeiros. Fonte: THE COMET PROGRAM, 2004.....24
- Figura 2.2 – Esquema de como a radiação emitida pela Terra viaja pela atmosfera com nuvens (a) e sem nuvens (b). Fonte: THE COMET PROGRAM, 1999.....26
- Figura 2.3 – Evolução do perfil Skew-T das 18hs (a) para 3hs (b) mostrando a formação da camada de inversão, conforme a superfície se resfria e a energia escapa para atmosfera. Fonte: THE COMET PROGRAM, 1999.....26
- Figura 2.4 – Formação de orvalho sobre a vegetação (a) e evolução para condensação das gotículas de nevoeiro (b), conforme a superfície continua a se resfriar. Fonte: THE COMET PROGRAM, 1999.....27
- Figura 2.5 – Condensação e formação do nevoeiro (a) e influência do oceano e da poluição no processo de condensação (b). Fonte: THE COMET PROGRAM, 1999.....28
- Figura 2.6 – Referência a Fig. 2.5a com resfriamento radiativo (a), expansão vertical do nevoeiro (b), produção de correntes convectivas (c) e elevação da base da inversão devido à condução de calor para a superfície. Fonte: THE COMET PROGRAM, 1999.....29
- Figura 2.7 – Relação entre inversão de temperatura e o topo do nevoeiro (a) e balanço entre resfriamento radiativo e mistura turbulenta no topo do nevoeiro (b). Fonte: THE COMET PROGRAM, 1999.....30
- Figura 2.8 – Ilustração da influência da sobreposição de camadas de nuvens durante o dia no desenvolvimento do nevoeiro. Fonte: THE COMET PROGRAM, 1999.....31
- Figura 2.9 – Evaporação da base do nevoeiro devido à incidência de radiação na superfície. Fonte: THE COMET PROGRAM, 1999.....33
- Figura 2.10 – Processo conceitual envolvido no nevoeiro de advecção. Fonte: THE COMET PROGRAM, 2004.....35
- Figura 2.11 – Modelo conceitual do pré-condicionamento do nevoeiro de advecção. Fonte: THE COMET PROGRAM, 2004.....36

Figura 2.12 – Evolução de uma sondagem para nevoeiro de advecção. Fonte: THE COMET PROGRAM, 2004.....	37
Figura 2.13 – Evolução da circulação de brisa ao longo do ciclo diário. Fonte: THE COMET PROGRAM, 2003b.....	39
Figura 2.14 – Interferência da condutividade térmica na superfície no resfriamento do ar adjacente em solo coberto por asfalto e vegetação às 21hs (superior) e 3hs (inferior). Fonte: THE COMET PROGRAM, 1999.....	41
Figura 2.15 – Influência da umidade do solo no aquecimento do ar adjacente. Solo seco à esquerda e solo úmido à direita. Fonte: THE COMET PROGRAM, 1999.....	41
Figura 2.16 – Influência da umidade do solo no resfriamento e na umidade do ar durante o dia (superior) e a noite (inferior). Solo seco à esquerda e solo úmido à direita. Setas azuis e vermelhas representam evaporação e radiação, respectivamente. Fonte: THE COMET PROGRAM, 2003b.....	42
Figura 3.1 – Localização do Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares, Maceió – AL. Fonte: Fotografia aérea (SkyscraperCity) e screenshot da imagem de satélite (Googlemaps).	45
Figura 3.2 – Esquema da identificação do tempo nas análises dos eventos de nevoeiros.....	46
Figura 3.3 – Árvore de decisão para inicialização do PAFOG com valores de visibilidade observada e indefinida. Fonte: Adaptado de Thoma et. al (2011).....	52
Figura 3.4 – Esquema dos dados de entrada do modelo PAFOG.....	53
Figura 4.1 – Distribuição anual da quantidade de horas e casos de névoa úmida (esquerda) e névoa seca (direita).....	55
Figura 4.2 – Distribuição de frequência das classes de visibilidade para névoa úmida (a) e seca (b) e frequência relativa da participação das chuvas para névoa úmida (c) e seca (d).....	56
Figura 4.3 – Distribuição temporal das observações de nevoas úmida e seca entre 2002-2007 (exceto 2006) (a) e distribuição horária para névoa úmida (b) e névoa seca (c). Os pontos azuis representam as observações de nevoa úmida e os vermelhos representam nevoa seca. As linhas pretas em (a) representam o nascer e o pôr-do-sol.....	58

Figura 4.4 – Distribuição horária dos eventos de névoa úmida (azul) e névoa seca (vermelho) acompanhados de chuva (a) e frequência relativa por período (b). Para névoa seca em (a), número de observações foi multiplicado por 10.....	58
Figura 4.5 – Distribuição de frequência de temperatura do ar para névoa úmida (azul) e seca (vermelho). Para névoa seca, número de observações foi multiplicado por 10.....	59
Figura 4.6 – Distribuição de frequência da umidade relativa para névoa úmida (azul) e seca (vermelho).....	59
Figura 4.7 – Distribuição de frequência da direção do vento para névoa úmida (azul) e seca (vermelho).....	60
Figura 4.8 – Distribuição de frequência da velocidade do vento (a) e frequência relativa na escala Beaufort (b), para névoa úmida (azul) e névoa seca (vermelho). Para névoa seca em (a), número de observações foi multiplicado por 10. BrLev, BrDeb e BrMod significam brisa leve, débil e moderada, respectivamente.....	61
Figura 4.9 – Dados horários de altura da base das nuvens (a) e cobertura de nuvens (oitavos) (b) sobre o Aeroporto de Maceió, de 0h do dia 10 até as 12hs do dia 12/04/2002.....	63
Figura 4.10 – Dados horários de precipitação e umidade específica (a), pressão, temperatura do ar, do ponto de orvalho e visibilidade (b), direção e velocidade do vento e umidade relativa (c) do Aeroporto de Maceió, de 0h do dia 10 até as 12hs do dia 12/04/2002.....	65
Figura 4.11 – Imagem do satélite METEOSAT-7 no canal infravermelho às 06Z de 10/04/2002 (a), 06Z de 11/04/2002 (b) e 06Z de 12/04/2002 (c). Fonte: GIBBS/NOAA.....	66
Figura 4.12 – Linhas de corrente em 925hPa, temperatura da superfície terrestre em 2m e temperatura média diária do mar às 06Z de 10/04/2002 (a), 06Z de 11/04/2002 (b) e 06Z de 12/04/2002 (c). Fonte: LC (NCEP/DOE II); T2m (ECMWF); TSM média diária (NESDIS).67	
Figura 4.13 – Linhas de corrente em 500hPa e índice LI (Lifted Index) (esquerda) e linhas de corrente e magnitude do vento em 200hPa (direita) para o dia 10 (a-b), dia 11 (c-d) e dia 12 de Abril de 2002 (e-f) às 06UTC. Fonte: NCEP/DOE II.....	68
Figura 4.14 – Perfil dos movimentos verticais (m/s) às 06UTC de 12/04/2002 elaborado para o Aeroporto de Maceió pelos modelos NCEP/DOE II (azul), ECMWF (vermelho) e WRF (verde).....	69

Figura 4.15 – Perfil de temperatura e umidade às 06UTC de 12/04/2002 elaborado para o Aeroporto de Maceió pelos modelos NCEP/DOE II (a), ECMWF (b) e WRF (c).....70

Figura 4.16 – Dados horários de altura da base das nuvens (a) e cobertura de nuvens (oitavos) (b) sobre o Aeroporto de Maceió, de 0h do dia 10 até as 12hs do dia 12/07/2002.....71

Figura 4.17 – Dados horários de precipitação e umidade específica (a), pressão, temperatura do ar, do ponto de orvalho e visibilidade (b), direção e velocidade do vento e umidade relativa (c) do Aeroporto de Maceió, de 0h do dia 10 até as 12hs do dia 12/07/2002.....72

Figura 4.18 – Imagem do satélite METEOSAT-7 no canal infravermelho às 12Z de 10/07/2002 (a), 06Z de 11/07/2002 (b) e 06Z de 12/07/2002 (c). Fonte: GIBBS/NOAA.....74

Figura 4.19 – Linhas de corrente em 925hPa, temperatura da superfície terrestre em 2m e temperatura média diária do mar às 12Z de 10/07/2002 (a), 06Z de 11/07/2002 (b) e 06Z de 12/07/2002 (c). Fonte: LC (NCEP/DOE II); T2m (ECMWF); TSM média diária (NESDIS).75

Figura 4.20 – Linhas de corrente em 500hPa e índice LI (Lifted Index) (esquerda) e linhas de corrente e magnitude do vento em 200hPa (direita) para o dia 10 às 12UTC (a-b), dia 11 (c-d) e dia 12 de Julho de 2002 (e-f) às 06UTC. Fonte: NCEP/DOE II.....76

Figura 4.21 – Perfil dos movimentos verticais (m/s) às 06UTC de 11/07/2002 (a) e 12/07/2002 (b) elaborado para o Aeroporto de Maceió pelos modelos NCEP/DOE II (azul), ECMWF (vermelho) e WRF (verde).....77

Figura 4.22 – Perfil de temperatura e umidade às 06UTC de 11/07/2002 (superior) e 12/07/2002 (inferior) elaborado para o Aeroporto de Maceió pelos modelos NCEP/DOE II (a,d), ECMWF (b,e) e WRF (c,f).....78

Figura 4.23 – Dados horários de altura da base das nuvens (a) e cobertura de nuvens (oitavos) (b) sobre o Aeroporto de Maceió, de 0h do dia 30/05/2003 até as 12hs do dia 01/06/2003.....80

Figura 4.24 – Dados horários de precipitação e umidade específica (a), pressão, temperatura do ar, do ponto de orvalho e visibilidade (b), direção e velocidade do vento e umidade relativa (c) do Aeroporto de Maceió, de 0h do dia 30/05/2003 até as 12hs do dia 01/06/2003.....81

Figura 4.25 – Imagem do satélite GOES-12 no canal infravermelho às 06Z de 30/05/2003 (a), 06Z de 31/05/2003 (b) e 00Z de 01/06/2003 (c). Fonte: GIBBS/NOAA.....82

Figura 4.26 – Linhas de corrente em 925hPa, temperatura da superfície terrestre em 2m e temperatura média diária do mar às 06Z de 30/05/2003 (a), 06Z de 31/05/2003 (b) e 00Z de 01/06/2003 (c). Fonte: LC (NCEP/DOE II); T2m (ECMWF); TSM média diária (NESDIS).83

Figura 4.27 – Linhas de corrente em 500hPa e índice LI (Lifted Index) (esquerda) e linhas de corrente e magnitude do vento em 200hPa (direita) para o dia 30 (a-b), dia 31 de Maio às 06UTC (c-d) e dia 01 de Junho de 2003 (e-f) à 00UTC. Fonte: NCEP/DOE II.....84

Figura 4.28 – Perfil dos movimentos verticais (m/s) à 00UTC de 01/06/2003 elaborado para o Aeroporto de Maceió pelos modelos NCEP/DOE II (azul), ECMWF (vermelho) e WRF (verde).....86

Figura 4.29 – Perfil de temperatura e umidade à 00UTC de 01/06/2003 elaborado para o Aeroporto de Maceió pelos modelos NCEP/DOE II (a), ECMWF (b) e WRF (c).....87

Figura 4.30 – Dados horários de altura da base das nuvens (a) e cobertura de nuvens (oitavos) (b) sobre o Aeroporto de Maceió, de 0h do dia 31/05/2004 até as 12hs do dia 02/06/2004.....88

Figura 4.31 – Dados horários de precipitação e umidade específica (a), pressão, temperatura do ar, do ponto de orvalho e visibilidade (b), direção e velocidade do vento e umidade relativa (c) do Aeroporto de Maceió, de 0h do dia 31/05/2004 até as 12hs do dia 02/06/2004.....89

Figura 4.32 – Imagem do satélite GOES-12 no canal infravermelho às 06Z de 31/05/2004 (a), 12Z de 01/06/2004 (b) e 06Z de 02/06/2004 (c). Fonte: GIBBS/NOAA.....90

Figura 4.33 – Linhas de corrente em 925hPa, temperatura da superfície terrestre em 2m e temperatura média diária do mar às 06Z de 31/05/2004 (a), 12Z de 01/06/2004 (b) e 06Z de 02/06/2004 (c). Fonte: LC (NCEP/DOE II); T2m (ECMWF); TSM média diária (NESDIS).91

Figura 4.34 – Linhas de corrente em 500hPa e índice LI (Lifted Index) (esquerda) e linhas de corrente e magnitude do vento em 200hPa (direita) para o dia 31 de Maio às 06UTC (a-b), dia 1 de Junho às 12UTC (c-d) e dia 2 de Junho de 2004 às 06UTC (e-f). Fonte: NCEP/DOE II.92

Figura 4.35 – Perfil dos movimentos verticais (m/s) às 06UTC de 02/06/2004 elaborado para o Aeroporto de Maceió pelos modelos NCEP/DOE II (azul) e ECMWF (vermelho).....94

Figura 4.36 – Perfil de temperatura e umidade às 06UTC de 02/06/2004 elaborado para o Aeroporto de Maceió pelos modelos NCEP/DOE II (a) e ECMWF (b).....94

Figura 4.37 – Dados horários de altura da base das nuvens (a) e cobertura de nuvens (oitavos) (b) sobre o Aeroporto de Maceió, de 0h do dia 19 até as 12hs do dia 21/05/2005.....95

Figura 4.38 – Dados horários de precipitação e umidade específica (a), pressão, temperatura do ar, do ponto de orvalho e visibilidade (b), direção e velocidade do vento e umidade relativa (c) do Aeroporto de Maceió, de 0h do dia 19 até as 12hs do dia 21/05/2005.....97

Figura 4.39 – Imagem do satélite GOES-12 no canal infravermelho às 06Z de 19/05/2005 (a), 12Z de 20/05/2005 (b) e 00Z de 21/05/2005 (c). Fonte: GIBBS/NOAA.....98

Figura 4.40 – Linhas de corrente em 925hPa, temperatura da superfície terrestre em 2m e temperatura média diária do mar às 06Z de 19/05/2005 (a), 12Z de 20/05/2005 (b) e 00Z de 21/05/2005 (c). Fonte: LC (NCEP/DOE II); T2m (ECMWF); TSM média diária (NESDIS).99

Figura 4.41 – Linhas de corrente em 500hPa e índice LI (Lifted Index) (esquerda) e linhas de corrente e magnitude do vento em 200hPa (direita) para o dia 19 de Maio às 06UTC (a-b), dia 20 de Maio às 12UTC (c-d) e dia 21 de Maio de 2005 à 00UTC (e-f). Fonte: NCEP/DOE II.....100

Figura 4.42 – Perfil dos movimentos verticais (m/s) à 00UTC de 21/05/2005 elaborado para o Aeroporto de Maceió pelos modelos NCEP/DOE II (azul), ECMWF (vermelho) e WRF (verde).....101

Figura 4.43 – Perfil de temperatura e umidade à 00UTC de 21/05/2005 elaborado para o Aeroporto de Maceió pelos modelos NCEP/DOE II (a), ECMWF (b) e WRF (c).....102

Figura 4.44 – Dados horários de altura da base das nuvens (a) e cobertura de nuvens (oitavos) (b) sobre o Aeroporto de Maceió, de 0h do dia 12 até as 12hs do dia 14/07/2005.....103

Figura 4.45 – Dados horários de precipitação e umidade específica (a), pressão, temperatura do ar, do ponto de orvalho e visibilidade (b), direção e velocidade do vento e umidade relativa (c) do Aeroporto de Maceió, de 0h do dia 12 até as 12hs do dia 14/07/2005.....104

Figura 4.46 – Imagem do satélite GOES-12 no canal infravermelho às 06Z de 12/07/2005 (a), 06Z de 13/07/2005 (b) e 06Z de 14/07/2005 (c). Fonte: GIBBS/NOAA.....106

Figura 4.47 – Linhas de corrente em 925hPa, temperatura da superfície terrestre em 2m e temperatura média diária do mar às 06Z de 12/07/2005 (a), 06Z de 13/07/2005 (b) e 06Z de 14/07/2005 (c). Fonte: LC (NCEP/DOE II); T2m (ECMWF); TSM média diária (NESDIS).....107

Figura 4.48 – Linhas de corrente em 500hPa e índice LI (Lifted Index) (esquerda) e linhas de corrente e magnitude do vento em 200hPa (direita) para o dia 12 (a-b), dia 13 (c-d) e dia 14 de Julho de 2005 (e-f) às 06UTC. Fonte: NCEP/DOE II.....108

Figura 4.49 – Perfil dos movimentos verticais (m/s) às 06UTC de 14/07/2005 elaborado para o Aeroporto de Maceió pelos modelos NCEP/DOE II (azul), ECMWF (vermelho) e WRF (verde).....109

Figura 4.50 – Perfil de temperatura e umidade às 06UTC de 14/07/2005 elaborado para o Aeroporto de Maceió pelos modelos NCEP/DOE II (a), ECMWF (b) e WRF (c).....110

Figura 4.51 – Dados horários de altura da base das nuvens (a) e cobertura de nuvens (oitavos) (b) sobre o Aeroporto de Maceió, de 0h do dia 24 até as 12hs do dia 26/07/2007.....111

Figura 4.52 – Dados horários de precipitação e umidade específica (a), pressão, temperatura do ar, do ponto de orvalho e visibilidade (b), direção e velocidade do vento e umidade relativa (c) do Aeroporto de Maceió, de 0h do dia 24 até as 12hs do dia 26/07/2007.....112

Figura 4.53 – Imagem do satélite GOES-12 no canal infravermelho às 06Z de 24/07/2007 (a), 12Z de 25/07/2007 (b) e 06Z de 26/07/2007 (c). Fonte: GIBBS/NOAA.....113

Figura 4.54 – Linhas de corrente em 925hPa, temperatura da superfície terrestre em 2m e temperatura média diária do mar às 06Z de 24/07/2007 (a), 12Z de 25/07/2007 (b) e 06Z de 26/07/2007 (c). Fonte: LC (NCEP/DOE II); T2m (ECMWF); TSM média diária (NESDIS).....114

Figura 4.55 – Linhas de corrente em 500hPa e índice LI (Lifted Index) (esquerda) e linhas de corrente e magnitude do vento em 200hPa (direita) para o dia 24 de Julho às 06UTC (a-b), dia 25 de Julho às 12UTC (c-d) e dia 26 de Julho de 2007 às 6UTC (e-f). Fonte: NCEP/DOE II.....115

Figura 4.56 – Perfil dos movimentos verticais (m/s) às 06UTC de 26/07/2007 elaborado para o Aeroporto de Maceió pelos modelos NCEP/DOE II (azul), ECMWF (vermelho) (a) e WRF (verde) (b).....117

Figura 4.57 – Perfil de temperatura e umidade às 06UTC de 26/07/2007 elaborado para o Aeroporto de Maceió pelos modelos NCEP/DOE II (a), ECMWF (b) e WRF (c).....117

Figura 4.58 – Perfil de temperatura (a,b) e umidade (c,d) real (vermelho) e previsto (azul) para estação de altitude de Recife (Lat:-8,05°;Lon:-34,91°) às 12UTC de 31/05/2003 (esquerda) e 20/05/2005 (direita). Os números circulados indicam o módulo da diferença...119

Figura 4.59 – Previsões de visibilidade horizontal inicializadas às 00, 03, 06, 09 e 12hs (a) e 15, 18, 21hs de 11 de Abril e 00h de 12 de Abril de 2002 (b). Fonte: PAFOG.....122

Figura 4.60 – Previsões de visibilidade horizontal inicializadas às 00, 03, 06, 09 e 12hs (a) e 15, 18, 21hs de 11 de Julho e 00h de 12 de Julho de 2002 (b). Fonte: PAFOG.....123

Figura 4.61 – Previsões de visibilidade horizontal inicializadas às 00, 03, 06, 09 e 12hs (a) e 15, 18, 21hs de 31 de Maio e 00h de 01 de Junho de 2003 (b). Fonte: PAFOG.....125

Figura 4.62 – Previsões de visibilidade horizontal inicializadas às 00, 03, 06, 09 e 12hs (a) e 15, 18, 21hs de 20 de Maio e 00h de 21 de Maio de 2005 (b). Fonte: PAFOG.....126

Figura 4.63 – Previsões de visibilidade horizontal inicializadas às 00, 03, 06, 09 e 12hs (a) e 15, 18, 21hs de 13 de Julho e 00h de 14 de Julho de 2005 (b). Fonte: PAFOG.....128

Figura 4.64 – Previsões de visibilidade horizontal inicializadas às 00, 03, 06, 09 e 12hs (a) e 15, 18, 21hs de 25 de Julho e 00h de 26 de Julho de 2007 (b). Fonte: PAFOG.....129



## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Parâmetros de entrada para o modelo de vegetação.....	51
Tabela 4.1 – Quantidade média mensal de horas e casos de névoa úmida (NVU) e névoa seca (NVS), para o Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares (ICAO:SBMO).....	54
Tabela 4.2 – Temperatura mínima e máxima do ar no aeroporto e temperatura média diária da superfície do mar (-9,62°S e -35,62°W), para 10, 11 e 12/04/2002. Anomalia em parênteses.....	67
Tabela 4.3 – Temperatura mínima e máxima do ar no aeroporto e temperatura média diária da superfície do mar (-9,62°S e -35,62°W), para 9, 10, 11 e 12/07/2002. Anomalia em parênteses.....	75
Tabela 4.4 – Temperatura mínima e máxima do ar no aeroporto e temperatura média diária da superfície do mar (-9,62°S e -35,62°W), para 30-31/05 e 1/06/2003. Anomalia em parênteses.....	83
Tabela 4.5 – Temperatura mínima e máxima do ar no aeroporto e temperatura média diária da superfície do mar (-9,62°S e -35,62°W), para 31/05 e 1-2/06/2004. Anomalia em parênteses.....	91
Tabela 4.6 – Temperatura mínima e máxima do ar no aeroporto e temperatura média diária da superfície do mar (-9,62°S e -35,62°W), para 19, 20 e 21/05/2005. Anomalia em parênteses.....	99
Tabela 4.7 – Temperatura mínima e máxima do ar no aeroporto e temperatura média diária da superfície do mar (-9,62°S e -35,62°W), para 12, 13 e 14/07/2005. Anomalia em parênteses.....	107
Tabela 4.8 – Temperatura mínima e máxima do ar no aeroporto e temperatura média diária da superfície do mar (-9,62°S e -35,62°W), para 24, 25 e 26/07/2007. Anomalia em parênteses.....	114
Tabela 4.9 – Altura do topo da inversão (Hi) e espessura topo/base inversão (Ei) observado na radiossonda de Recife, às 12UTC do dia que antecede o nevoeiro (dia - 1) e do dia em que o nevoeiro ocorreu (dia - 0).....	120
Tabela 4.10 – Condições de superfície associadas aos eventos de nevoeiro e névoa no Aeroporto de Maceió.....	130

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	19
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	21
<b>2.1 Sobre a Visibilidade</b> .....	21
<b>2.2 Nevoeiro</b> .....	22
2.2.1 Processos Fundamentais.....	22
2.2.2 Nevoeiro de Radiação.....	25
2.2.2.1 Pré-Condição.....	25
2.2.2.2 Processo de Formação e desenvolvimento.....	27
2.2.2.3 Fase de Manutenção.....	30
2.2.2.4 Fase de Dissipação.....	32
2.2.3 Nevoeiro de Advecção.....	34
2.2.3.1 Pré-Condição.....	35
2.2.4 Influências Locais.....	37
2.2.4.1 Transição Terra-Mar.....	37
2.2.4.1.1 Brisa Marítima e Terrestre.....	38
2.2.4.2 Influência da Superfície.....	40
2.2.4.2.1 Umidade do Solo.....	42
<b>2.3 Previsão Numérica de Visibilidade</b> .....	43
2.3.1 Incertezas dos Modelos 1D.....	43
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	44
<b>3.1 Área de Estudo e Dados Observacionais</b> .....	44
<b>3.2 Metodologia de Análise dos Eventos de Nevoeiro</b> .....	46
<b>3.3 Dados para Análise dos Eventos de Nevoeiro</b> .....	47
<b>3.4 PAFOG: Modelo Numérico de Previsão de Visibilidade</b> .....	48
3.4.1 Grades Verticais do PAFOG.....	48
3.4.2 Breve Descrição dos Esquemas Físicos do PAFOG.....	49
3.4.2.1 Modelo Dinâmico.....	49
3.4.2.2 Modelo Microfísica.....	49
3.4.2.3 Cálculos de Radiação.....	50
3.4.2.4 Vegetação.....	50

3.4.3 Inicialização do PAFOG com Visibilidade.....	51
3.4.4 Dados de Entrada do PAFOG.....	52
<b>3.5 Utilização do Modelo PAFOG.....</b>	<b>53</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>54</b>
<b>4.1 Ocorrência de Névoas e Nevoeiro.....</b>	<b>54</b>
4.1.1 Nevoeiro Ocorrido em 12 de Abril de 2002.....	62
4.1.1.1 Dados Observados.....	62
4.1.1.2 Situação Sinótica.....	66
4.1.2 Nevoeiro Ocorrido em 11 e 12 de Julho de 2002.....	70
4.1.2.1 Dados Observados.....	70
4.1.2.2 Situação Sinótica.....	73
4.1.3 Nevoeiro Ocorrido em 01 de Junho de 2003.....	79
4.1.3.1 Dados Observados.....	79
4.1.3.2 Situação Sinótica.....	82
4.1.4 Nevoeiro Ocorrido em 02 de Junho de 2004.....	87
4.1.4.1 Dados Observados.....	87
4.1.4.2 Situação Sinótica.....	90
4.1.5 Nevoeiro Ocorrido em 21 de Maio de 2005.....	95
4.1.5.1 Dados Observados.....	95
4.1.5.2 Situação Sinótica.....	98
4.1.6 Nevoeiro Ocorrido em 14 de Julho de 2005.....	102
4.1.6.1 Dados Observados.....	102
4.1.6.2 Situação Sinótica.....	105
4.1.7 Nevoeiro Ocorrido em 26 de Julho de 2007.....	110
4.1.7.1 Dados Observados.....	110
4.1.7.2 Situação Sinótica.....	113
<b>4.2 Previsão Numérica.....</b>	<b>118</b>
4.2.1 Avaliação dos Perfis Previstos.....	118
4.2.2 Previsão com Modelo PAFOG.....	120
4.2.2.1 Nevoeiro Ocorrido em 12 de Abril de 2002.....	121
4.2.2.2 Nevoeiro Ocorrido em 11 e 12 de Julho de 2002.....	122
4.2.2.3 Nevoeiro Ocorrido em 01 de Junho de 2003.....	124
4.2.2.4 Nevoeiro Ocorrido em 21 de Maio de 2005.....	125

4.2.2.5 Nevoeiro Ocorrido em 14 de Julho de 2005.....	127
4.2.2.6 Nevoeiro Ocorrido em 26 de Julho de 2007.....	128
<b>4.3 Síntese das Condições de Superfície.....</b>	<b>130</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>130</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>135</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>138</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>141</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As perdas financeiras e humanas relacionadas com visibilidade reduzida se tornam comparáveis com as perdas de outros tipos de fenômenos, como tornados e tempestades (THE COMET PROGRAM, 2003a).

O planejamento de qualquer voo compreende, dentre outros, o estudo minucioso das condições meteorológicas do local de origem, da rota, do local de destino e do local de alternativa, por meio da análise dos últimos boletins meteorológicos e previsão do tempo, utilizando-se, inclusive, do profissional de meteorologia disponível na sala de tráfego. Tal planejamento exige uma adequada antecipação ao horário de decolagem.

Leipper (1993) comentou sobre a falta de trabalhos para previsão de nevoeiros, em particular, na costa oeste dos Estados Unidos. Pesquisando *abstracts* sobre previsão, no período entre 1970 a 1993, foram encontrados 14348 entradas, para nevoeiro haviam 1588, para previsão de nevoeiro, o número de resultados caiu para 89.

No Brasil, existem poucos registros de estudos sobre nevoeiro ou previsão de nevoeiro, principalmente nas regiões tropicais, quiçá no nordeste brasileiro. Apesar da baixa frequência de ocorrência de visibilidade baixa ocasionada por névoas e nevoeiros, no nordeste brasileiro, sua presença pode acarretar em transtornos para todos os tipos de transportes.

Isto é especialmente verdade quando, por exemplo, um voo é planejado e se encontra em curso para seu destino. A formação repentina do nevoeiro pode colocar em risco a segurança de seus usuários no momento do pouso, bem como prejuízos econômicos para as companhias aéreas, devido ao planejamento de uma nova rota para um aeroporto alternativo. Nas rodovias, sua repentina aparição pode colocar em risco a vida de passageiros, obstruindo a visão dos carros que estão a sua frente e de curvas acentuadas, podendo causar acidentes fatais.

Em Julho de 2007, por exemplo, houve um acidente envolvendo um bimotor, próximo ao Aeroporto de Maceió, devido à baixa visibilidade causada pelo nevoeiro, o qual resultou na morte do piloto, que é a maior das perdas. Além disso, deixou o aeroporto e os municípios de Maceió, Rio Largo e Messias sem fornecimento de energia elétrica por quase oito horas, sem contar os prejuízos causados aos bancos pelos talões de cheques e notas promissórias perdidas na explosão da aeronave e as indústrias pelo fornecimento de energia interrompido. Ao todo, não se soube o valor quantitativo dos prejuízos causados por esse acidente (Anexo A).

Pode ser citado, como outro exemplo da periculosidade deste tipo de fenômeno, o engavetamento ocorrido na rodovia dos imigrantes, São Paulo, em Setembro de 2011, o qual envolveu aproximadamente 300 veículos, deixando uma pessoa morta e 51 feridas (Anexo B).

Azevedo (2005) investigou a participação de vários fenômenos adversos nos casos de fechamento do Aeroporto de Maceió, em uma série climatológica de 43 anos. Ele encontrou que a participação média anual das névoas (úmida e seca) e dos nevoeiros correspondeu a 9,32% e 1,16% dos fechamentos operacionais. Ou seja, anualmente esses fenômenos juntos são responsáveis por aproximadamente 10,5% dos fechamentos operacionais em Maceió.

Na literatura, a previsão de nevoeiro está condicionada a algoritmos, regressões, métodos estatísticos, modelos conceituais e outros métodos do gênero. No entanto, tais métodos de previsão se atêm as características locais de cada região de estudo, necessitando de novas pesquisas para outras regiões.

A ausência de qualquer informação sobre as variáveis meteorológicas de superfície associadas às névoas e aos nevoeiros, no Aeroporto de Maceió, mostra a necessidade do desenvolvimento deste trabalho. Além disso, a implementação de uma ferramenta universal, ou seja, uma ferramenta que possa ser aplicada em qualquer região, denominada modelo numérico, capaz de prever com antecedência e acurácia a visibilidade horizontal se torna especialmente necessária para diminuir os riscos decorrentes dos fenômenos meteorológicos de atmosfera estável, que reduzem a visibilidade horizontal.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Sobre a Visibilidade

O olho funciona como uma câmera, com lentes, uma abertura para controlar a quantidade de luz entrando no olho (Iris) e um detector, chamado de retina. O olho tem a capacidade de distinguir diferentes objetos ou objetos e seu envoltório simplesmente pela diferença entre suas luminâncias. Isso quer dizer que o olho mede o contraste entre objetos adjacentes ou entre objetos e sua vizinhança.

A Visibilidade tem um conceito complexo e difícil de definir. A visibilidade está mais associada com a apreciação da beleza natural das características de uma paisagem. O valor que um observador define na visibilidade é para estabelecer uma ligação entre os processos físicos e psicológicos. Historicamente, a visibilidade tem sido definida como a maior distância na qual um observador pode reconhecer ou identificar um objeto negro contra o céu do horizonte (MALM, 1999).

Se a visibilidade for definida em termos de alcance visual ou em termos de algumas variáveis relacionadas com a maneira de como o observador percebe uma fonte visual, a preservação ou melhora na visibilidade seria necessário uma compreensão de quais constituintes atmosféricos reduzem a visibilidade, bem como a origem desses constituintes.

O efeito das partículas sobre a visibilidade é muito complicado pelo fato de que partículas de diferentes tamanhos são capazes de espalhar a luz com variação nos graus de eficiência. Na atmosfera não poluída, a capacidade de observar e apreciar uma fonte visual são limitados pelo espalhamento da luz pelas moléculas que constituem a atmosfera (nitrogênio e oxigênio), como também o vapor d'água condensado (gotículas d'água) e outros gases.

Alguns sais inorgânicos, como sulfato de amônia e nitrato, submetem-se a súbita transição de fase de partículas sólidas para solução de gotículas, quando a umidade relativa está acima de 70%. Estes sais se tornam desproporcionalmente responsáveis pelo empobrecimento da visibilidade horizontal, quando comparado com outras partículas (MALM, 1999).

Apesar da importância da influência dos gases e partículas sobre a visibilidade, tais interferências não serão abordadas no presente estudo.

## 2.2 Nevoeiro

Pode ser definido de duas formas: operacional e meteorológico. Na primeira, o nevoeiro é a redução da visibilidade próximo a superfície para 1km ou menos pelas gotículas de água atmosférica, com diâmetro de poucos até várias dezenas de micrômetros. Na segunda, o nevoeiro é uma camada de nuvem que toca o solo (THE COMET PROGRAM, 1999).

De acordo com a World Meteorological Organization (2008), denomina-se névoa úmida quando a visibilidade horizontal se iguala ou supera os 1000m, desde que a umidade relativa seja maior ou igual a 80%. Já nas mesmas condições de visibilidade horizontal, porém com umidade relativa abaixo de 80%, denomina-se névoa seca.

As demais informações acerca do nevoeiro serão com base no curso à distância de curta duração *Forecasting Fog/Low Stratus for Aviation Operation* oferecido pela University Corporation for Atmospheric Research (UCAR), por meio do THE COMET PROGRAM, devido a uma abordagem e/ou linguagem simplificada sobre o tema.

### 2.2.1 Processos Fundamentais

Para formar qualquer tipo de nevoeiro ou estratos baixo na camada limite, a temperatura do ar e do ponto de orvalho devem se aproximar uma da outra. Isso pode ocorrer de duas maneiras: 1) aumentando a quantidade de umidade na camada limite ou 2) diminuindo a temperatura de forma que ela alcance um estado de equilíbrio. O processo pelo qual a saturação ocorre distingue o tipo de nevoeiro ou estratos que está ocorrendo (THE COMET PROGRAM, 2004).

A figura 2.1 exemplifica seis diferentes processos de desenvolvimento de nevoeiro ou pré-condicionamento da atmosfera para sua formação.

A figura do canto superior esquerdo ilustra o resfriamento radiativo. A superfície e a atmosfera em contato com ela se resfriam, levando a um aumento da umidade relativa. Por ocasião, se a temperatura cair até o ponto de orvalho, o nevoeiro de radiação poderá se formar na camada limite.

A figura central superior tem um exemplo clássico de nevoeiro de advecção. Neste exemplo, o ar está advectando de uma superfície terrestre relativamente mais quente em direção a uma superfície de água relativamente mais fria. Conforme o ar mais quente se desloca sobre a água, ele se resfria. Alguma umidade também pode ser adicionada na massa



de ar nos níveis mais baixos, mas o processo principal nesse caso é o resfriamento da massa de ar para o seu ponto de orvalho, de forma que o nevoeiro possa se formar.

Uma outra forma de o nevoeiro se formar é por meio da advecção do ar frio sobre uma superfície de água quente, conforme mostra a figura do canto superior direito. Nesse caso, tem-se uma massa de ar muito fria que se desenvolveu sobre o continente. Conforme ela se move sobre o corpo d'água, a água evapora na massa de ar e isso aumenta a umidade, podendo formar o nevoeiro.

Nota-se na figura do canto inferior esquerdo, um outro mecanismo de nevoeiro de advecção atrelado a circulação de brisa. Nesse caso, durante o aquecimento diurno do continente, a circulação de brisa (oceano ou lago) se desenvolve e o ar é advectado da superfície d'água para a superfície terrestre, junto com ele, o ar úmido e o nevoeiro pode ser advectado.

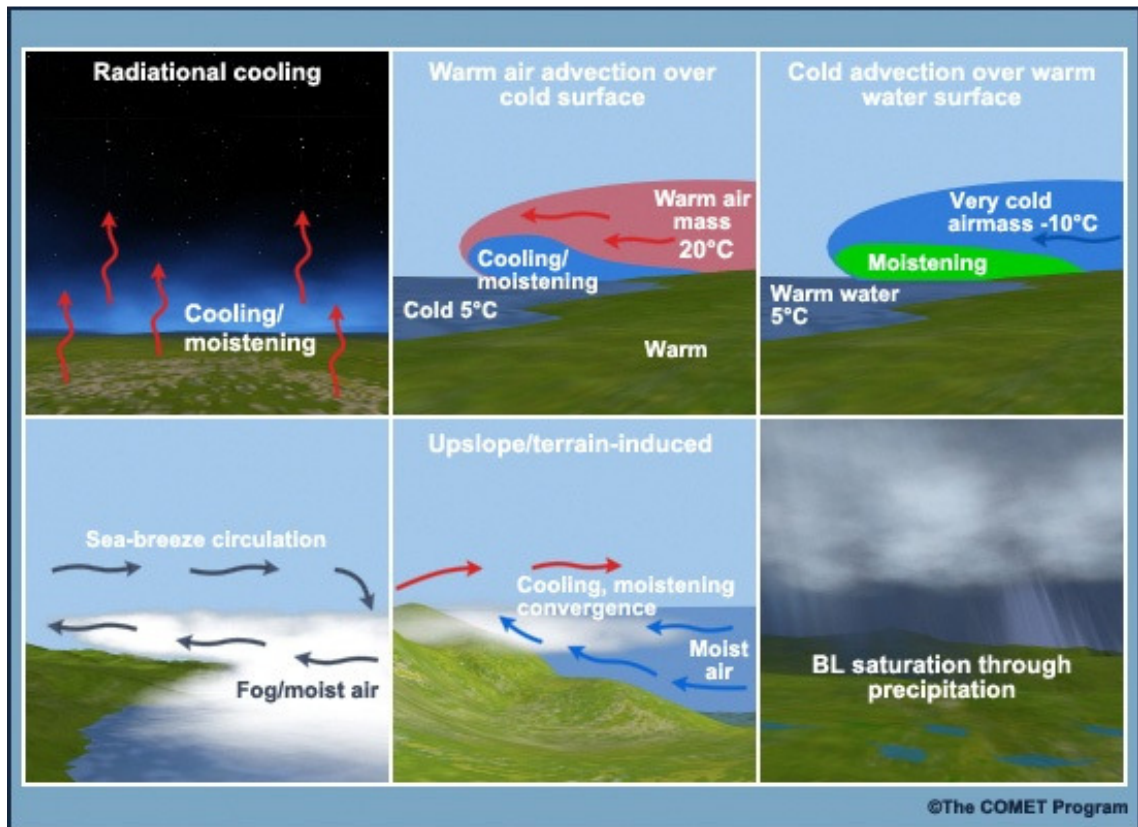
A figura central inferior mostra o desenvolvimento de nevoeiro induzido por aclave ou pelo terreno. Nesse caso, o ar úmido é forçado a subir o terreno. Conforme o ar é elevado adiabaticamente e resfriado, a temperatura diminui até o ponto de orvalho e o nevoeiro pode se formar em qualquer lugar ao longo do aclave. Este tipo de nevoeiro induzido por aclave ou pelo terreno pode atuar com outros mecanismos, como advecção, por exemplo, e se intensificar.

E por último, na imagem do canto inferior direito, tem-se o mecanismo de saturação da camada limite por precipitação. Esse mecanismo representa a situação quando a precipitação atravessa o ar seco, evapora e umedece a camada limite. Dessa forma, a camada limite se resfria conforme o calor latente é extraído do ar para evaporar a água. A precipitação, simultânea com esses processos, poderá formar o nevoeiro ou pré-condicionar a camada limite para sua posterior formação, conforme resfria durante a noite.

Estes são apenas os processos primários na formação do nevoeiro e não representam todos os cenários possíveis.

Willett (1929), em seu trabalho detalhado sobre a importância do núcleo de condensação para formação do nevoeiro e sobre diferentes características de partículas agindo na formação de gotículas, propôs uma classificação para os eventos de nevoeiro e névoa baseado nas causas e nas condições sinóticas favoráveis: os nevoeiros de massa de ar e os nevoeiros frontais. Ele também enfatizou a importância de todas as variáveis meteorológicas que afetam a formação de nevoeiro e os subclassificou em grupos (Quadro 2.1):

Figura 2.1 – Ilustração dos processos fundamentais para formação de seis tipos de nevoeiros.



Fonte: THE COMET PROGRAM, 2004.

Quadro 2.1 – Tipos de nevoeiro.

Nevoeiros de massa de ar	Nevoeiros frontais
Tipo Advecção	Pré-Frontal
Tipo Radiação	Pós-Frontal
Tipo Radiação-Advecção	De Passagem Frontal
Tipo Orográfico	

Fonte: Willett, 1929

Poucos sistemas frontais chegam ao nordeste brasileiro. Sobre o Estado de Alagoas, sua influência se dá mais pelas suas extremidades, mesmo assim, com frequência muito baixa ao longo do ano, média de oito anualmente (DA CRUZ, 2008). Também não se tem registro de nevoeiro provocado por sistemas frontais e sequer algum autor que tenha comentado sobre a formação de tal fenômeno adverso devido a uma zona frontal. Portanto, somente três tipos de nevoeiros que se formam na massa de ar seriam de interesse para o nordeste brasileiro e, em particular, para a região alagoana: o nevoeiro de advecção e principalmente os nevoeiros de radiação e radiação-advecção.

### 2.2.2 Nevoeiro de Radiação

Nevoeiro radiativo é definido como uma nuvem com base em solo causada pelo resfriamento infravermelho noturno da superfície e do ar em contato com ela, e que tipicamente ocorre sob condições de céu claro e alta umidade. O nevoeiro de radiação ocorre quando processos radiativos dominam a situação (THE COMET PROGRAM, 1999).

O nevoeiro de radiação não se desenvolve a menos que as condições necessárias e os ingredientes-chave coincidam, ou seja, quando o resfriamento radiativo e a formação de uma camada estável precedem a formação do nevoeiro. A troca de calor à superfície é um fator importante que influencia esses processos (THE COMET PROGRAM, 1999).

#### 2.2.2.1 Pré-Condição

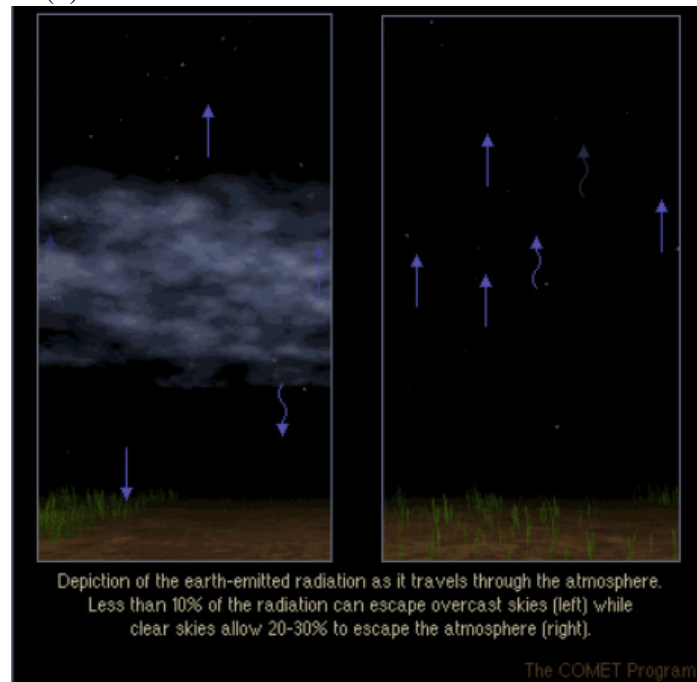
Os ingredientes-chave de baixos níveis necessários para gerar um nevoeiro de radiação são: alta umidade, rápido resfriamento e ventos fracos ou calmaria. Em latitudes médias, anticiclones de baixos níveis podem criar condições favoráveis para nevoeiro de radiação, suprimindo os ventos de superfície e secando o ar acima da camada limite por subsidência. O ar seco acima aumenta o resfriamento radiativo à superfície (THE COMET PROGRAM, 1999).

Este tipo de nevoeiro é improvável de se formar a menos que haja umidade suficiente na camada limite. Tal umidade pode ser advectada para uma área ou por evapotranspiração diurna.

Após o aquecimento diurno cessar, condições claras e secas acima da camada limite aceleram o resfriamento na superfície e próximo dela. Quando o céu está nublado, menos de 10% da radiação emitida pela superfície escapa para o espaço (Fig 2.2 - esquerda). A maioria da radiação é absorvida e/ou refletida pelo dióxido de carbono, vapor d'água e gotículas de nuvens. No entanto, céu claro permite que 20-30% da radiação escape pela atmosfera (Fig. 2.2 - direita).

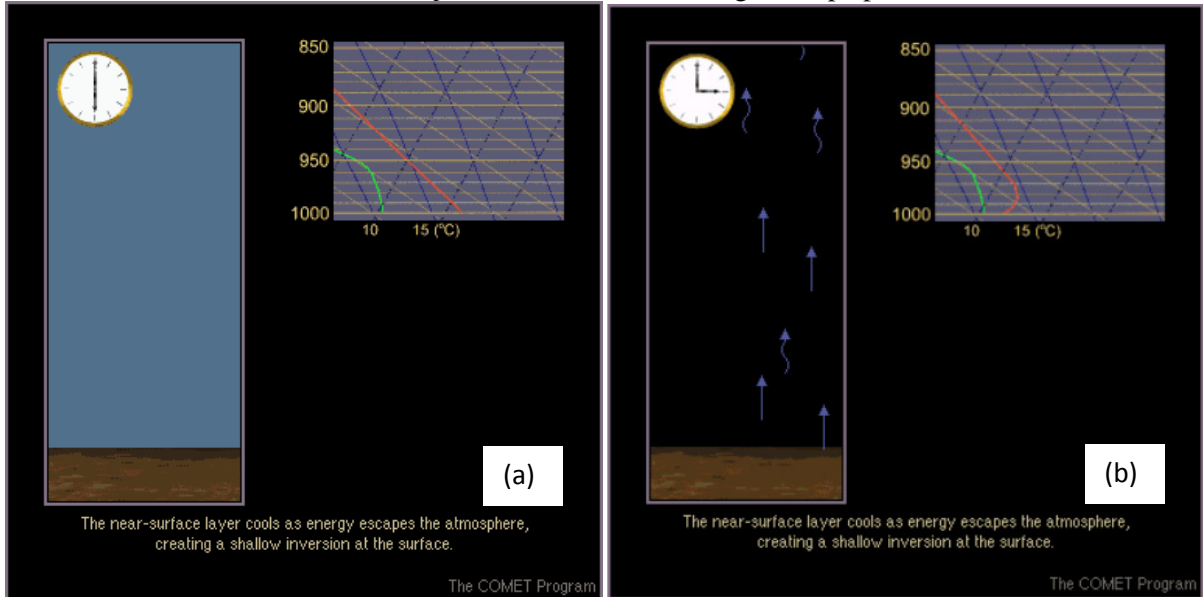
Conforme a energia escapa, a superfície terrestre se resfria mais rapidamente e induz o resfriamento dos primeiros metros da atmosfera, criando uma rasa camada de inversão com base a superfície (Fig. 2.3). Se houver vapor d'água suficiente no ar e resfriamento suficiente a superfície, o ar da camada mais baixa da atmosfera eventualmente alcança a saturação.

Figura 2.2 – Esquema de como a radiação emitida pela Terra viaja pela atmosfera com nuvens (a) e sem nuvens (b)



Fonte: THE COMET PROGRAM, 1999.

Figura 2.3 – Evolução do perfil Skew-T das 18hs (a) para 3hs (b) mostrando a formação da camada de inversão, conforme a superfície se resfria e a energia escapa para atmosfera.



Fonte: THE COMET PROGRAM, 1999.

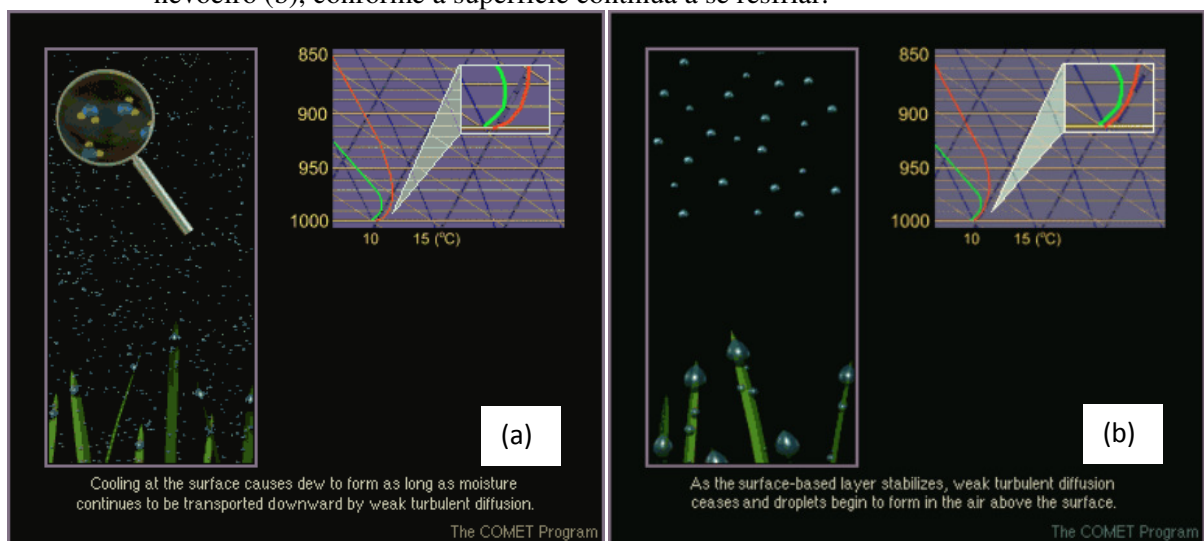
Quando a temperatura da tarde está mais baixa antes do anoitecer, o tempo necessário para alcançar a saturação em noite de céu claro é encurtado.

Conforme o resfriamento continua, o vapor d'água no ar próximo a superfície começa a condensar nos objetos como orvalho ou se deposita como geada. Este processo seca os

primeiros metros da atmosfera, enquanto fraca difusão turbulenta continua a transportar ar úmido para a superfície (Fig. 2.4a).

O resfriamento contínuo nessa camada faz com que ela se torne ainda mais estável e resistente aos efeitos da fraca mistura turbulenta próxima à superfície. Eventualmente, a turbulência próxima à superfície cessa totalmente e, com isso, forma-se orvalho ou geada a superfície. Conforme o resfriamento continua, o excesso de vapor d'água na camada saturada logo acima da superfície começa a condensar nas gotículas de nevoeiro (Fig. 2.4b).

Figura 2.4 – Formação de orvalho sobre a vegetação (a) e evolução para condensação das gotículas de nevoeiro (b), conforme a superfície continua a se resfriar.



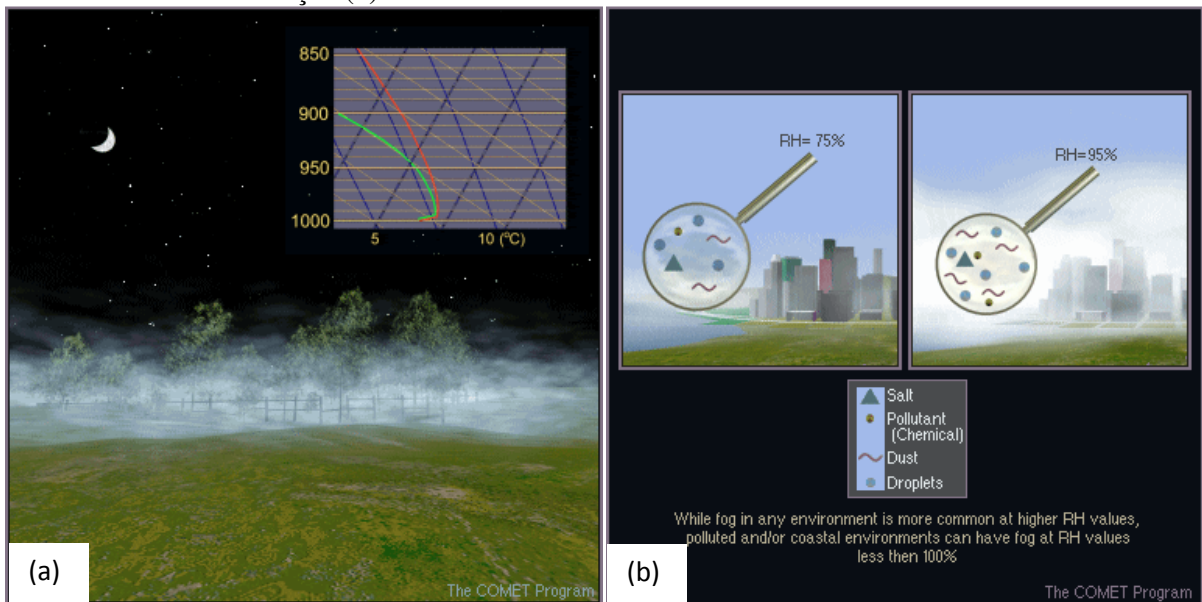
Fonte: THE COMET PROGRAM, 1999.

### 2.2.2.2 Processo de Formação e Desenvolvimento

Na fase de formação e crescimento do nevoeiro de radiação, uma camada de nevoeiro se forma e se expande horizontalmente e verticalmente. Os processos-chave durante essa fase são resfriamento radiativo, formação da camada de nevoeiro e fluxo de calor da superfície.

O Progresso do resfriamento radiativo para o ponto que o ar logo acima da superfície se torna supersaturado e gotículas de nevoeiro se formam por condensação (Fig. 2.5a). Em alguns casos próximos ao oceano ou em ambientes poluídos, a formação de gotículas ocorre antes da supersaturação, visto que alguns núcleos higroscópicos, como partículas de sal, são ativos com umidade relativa abaixo de 100% (Fig. 2.5b).

Figura 2.5 – Condensação e formação do nevoeiro (a) e influência oceano e da poluição no processo de condensação (b).



Fonte: THE COMET PROGRAM, 1999.

Durante o estágio inicial da formação do nevoeiro, o resfriamento continua na superfície e no ar adjacente até que a profundidade do nevoeiro alcance vários metros, profundidade suficiente para começar a absorver e reemitir radiação oriunda da superfície. Isso retarda a taxa de resfriamento à superfície e o topo do nevoeiro se torna o nível no qual os processos de resfriamento radiativo e condensação ficam mais ativos (Fig. 2.6a,b).

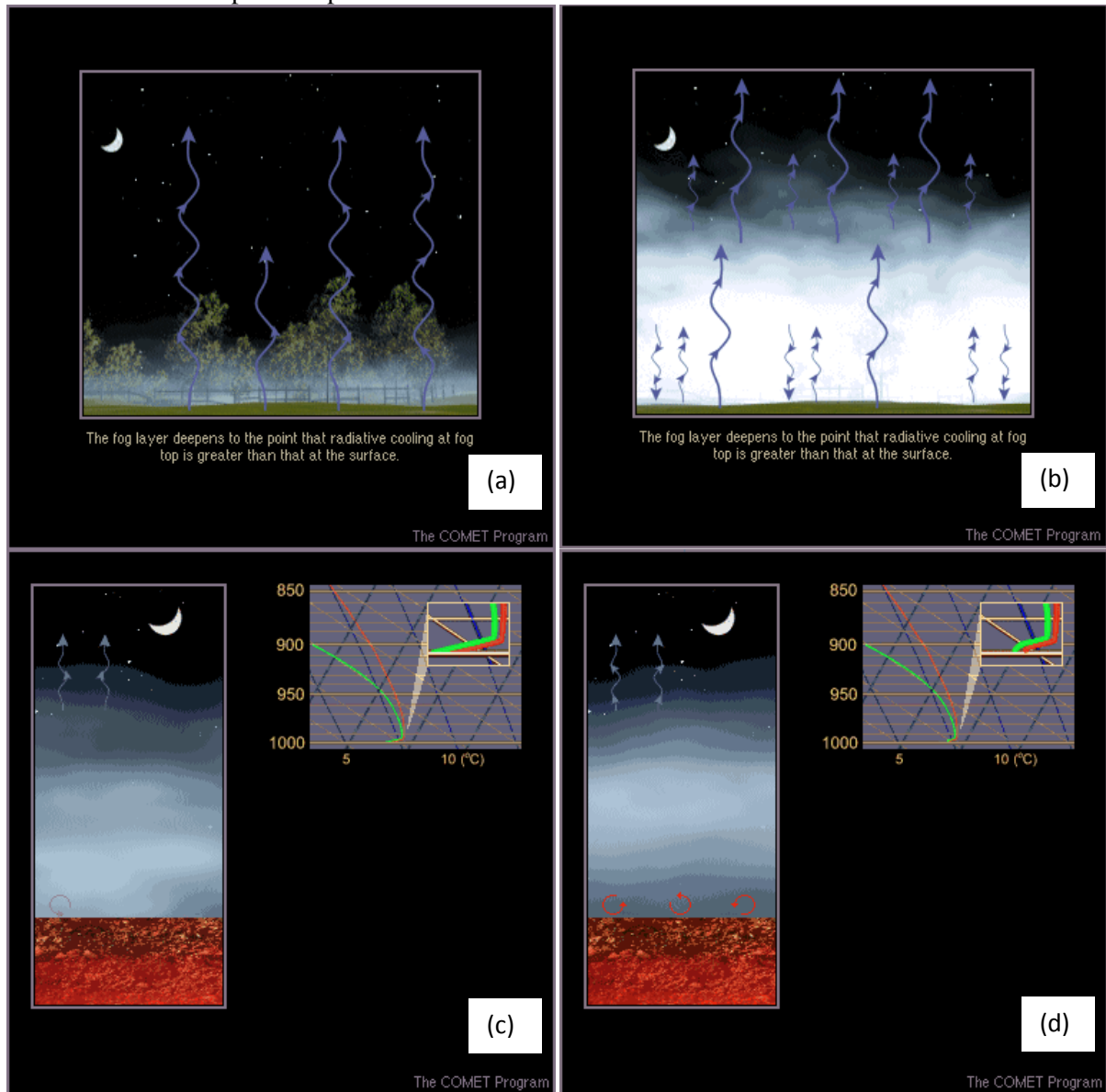
Dependendo da composição da superfície, o solo pode continuar a conduzir calor para superfície. Quando a superfície se torna mais quente que o ar acima, fracas correntes convectivas de baixos níveis se ativam, fazendo com que a base da inversão próxima à superfície se eleve (Fig. 2.6c,d).

Conforme o nevoeiro se aprofunda, cada vez menos radiação consegue escapar da superfície e da porção mais baixa da camada do nevoeiro. O nevoeiro cobre os níveis mais baixos e restringe a perda de calor radiativo. Na ausência de significativo aquecimento residual da superfície, os níveis mais baixos do nevoeiro podem manter uma temperatura aproximadamente constante. No entanto, fraco fluxo de calor de superfície mais quente pode atuar para evaporar o nevoeiro próximo ao solo.

Variações na composição da superfície, como tipo de solo, cobertura de vegetação, e outros fatores, causam variações locais na umidade e na taxa de resfriamento radiativo. Como resultado, o início e a cobertura do nevoeiro de radiação são desiguais. Uma vez que o fluxo de calor para cima do solo reduz a umidade relativa à superfície, a formação do nevoeiro

radiativo noturno é adiada sobre superfícies altamente condutivas, como asfalto, e adiantada sobre superfícies com baixa condutividade térmica.

Figura 2.6 – Referência a Fig. 2.5a com resfriamento radiativo (a), expansão vertical do nevoeiro (b), produção de correntes convectivas (c) e elevação da base da inversão devido à condução de calor para a superfície.



Fonte: THE COMET PROGRAM, 1999.

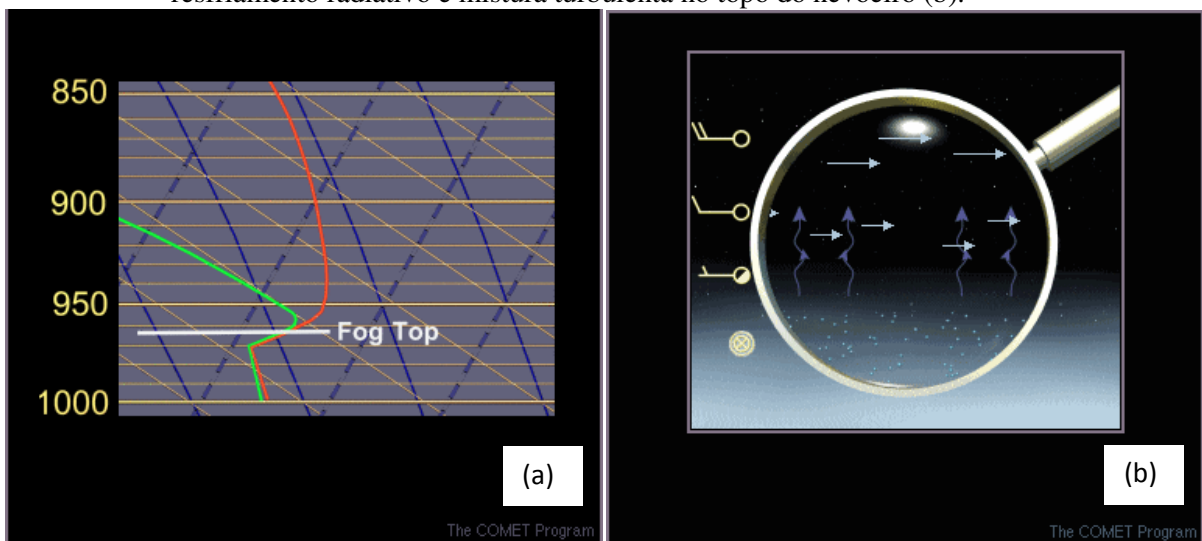
### 2.2.2.3 Fase de Manutenção

Durante a fase de manutenção, uma camada significativa do nevoeiro mantém uma profundidade relativamente constante. Esta fase é caracterizada por um balanço entre forças opostas. Estas forças são: resfriamento radiativo no topo do nevoeiro, deposição de gotículas e mistura no topo do nevoeiro. As concentrações de núcleos de condensação, a presença ou ausência de camadas de nuvens sobrepostas e condutividade de calor da superfície são fatores importantes que influenciam a persistência do nevoeiro.

Próximo ao topo do nevoeiro existe uma inversão de temperatura. Sua base tipicamente está localizada a aproximadamente 50 metros abaixo do topo do nevoeiro. O topo da inversão fica logo acima do topo do nevoeiro (Fig. 2.7a).

Durante a fase de manutenção, a condensação do topo do nevoeiro equilibra os processos de evaporação e deposição de gotículas, para manter a profundidade da camada do nevoeiro. O resfriamento radiativo no topo do nevoeiro torna a fornecer gotículas, conforme elas se depositam e ainda tende a intensificar a inversão e aprofundar o nevoeiro. Ao mesmo tempo, a mistura turbulenta tenta enfraquecer a inversão e desmanchar o topo do nevoeiro. Uma vez que a velocidade do vento geralmente aumenta com a altura, uma camada de nevoeiro de radiação tipicamente se aprofunda durante sua fase de crescimento até que ele alcance um nível onde os ventos sejam fortes o bastante e induza mistura suficiente no topo do nevoeiro para inibir o crescimento (Fig. 2.7b).

Figura 2.7 – Relação entre inversão de temperatura e o topo do nevoeiro (a) e balanço entre resfriamento radiativo e mistura turbulenta no topo do nevoeiro (b).



Fonte: THE COMET PROGRAM, 1999.



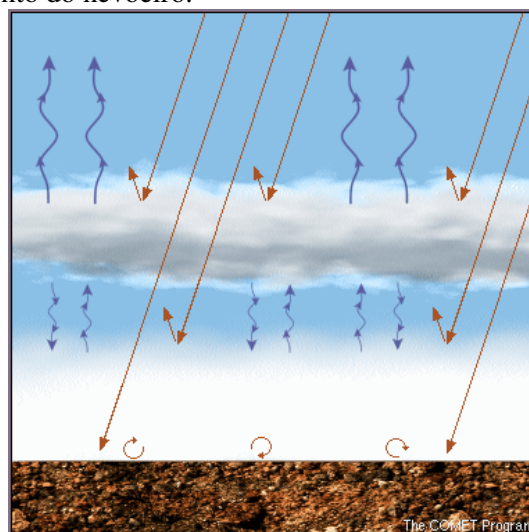
A perda de calor radiativo no topo da nuvem aumenta a umidade relativa, a qual ajuda no crescimento e na formação de novas gotículas. A condensação no topo do nevoeiro é o meio pelo qual um nevoeiro de radiação mantém sua profundidade e/ou se aprofunda. A perda de calor radiativo é maximizada quando a camada imediatamente acima do nevoeiro está relativamente seca, os ventos estão fracos, e não há camadas de nuvens sobrepostas. Em noites de céu claro, a taxa de perda de calor radiativo no topo do nevoeiro é muito mais rápida que aquela nos primeiros metros da atmosfera.

O entranhamento do ar seco via mistura turbulenta no topo do nevoeiro evapora as gotículas. Este processo é aumentado pela presença de cisalhamento vertical do vento no topo e acima da camada do nevoeiro.

Quando há uma alta concentração de núcleos de condensação ativos, é bem provável que o nevoeiro seja constituído de um grande número de gotículas pequenas, ao invés de um grande número de gotículas grandes. A visibilidade é severamente degradada por altas concentrações de gotículas pequenas.

Durante o dia, a introdução de camadas de nuvens de médios e altos níveis pode ajudar a manter a camada do nevoeiro de radiação. Estas nuvens reduzem a radiação solar incidente na superfície, prevenindo o aquecimento e mantendo uma maior umidade relativa nas porções mais baixas da camada do nevoeiro. No entanto, quanto mais baixo o nível da camada de nuvem sobreposta, mais ela pode reduzir o resfriamento radiativo e a condensação no topo do nevoeiro, permitindo os processos dissipativos, como a deposição (Fig. 2.8).

Figura 2.8 – Ilustração da influência da sobreposição de camadas de nuvens durante o dia no desenvolvimento do nevoeiro.



Fonte: THE COMET PROGRAM, 1999.

#### 2.2.2.4 Fase de Dissipação

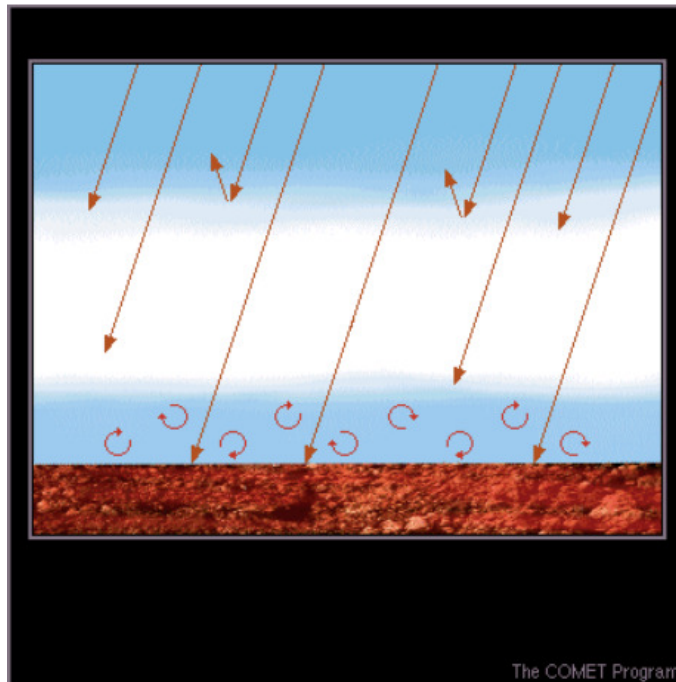
A duração da fase de dissipação, quando uma camada significativa de nevoeiro se eleva, perde profundidade ou desaparece, pode variar devido a vários fatores. O aquecimento radiativo próximo a superfície e dentro da camada de nevoeiro se combina com processos mecânicos, como deposição de gotículas e mistura turbulenta no topo do nevoeiro, para dissipar o nevoeiro. Mudanças no vento e na cobertura de nuvens também podem influenciar a dissipação.

Durante a fase de dissipação de um nevoeiro de radiação, a profundidade, a área coberta e a intensidade do nevoeiro diminuem. A duração desta fase pode variar de minutos até a metade de um dia. Tipicamente, a fase de dissipação demora poucas horas, uma vez que a maioria dos nevoeiros são relativamente rasos e de curta duração. Aqueles eventos de nevoeiro que levam mais de um dia para dissipar, geralmente ocorrem em áreas geograficamente protegidas, como vales. A estação do ano também influencia o comprimento desta fase, com fatores como ângulo solar, velocidade do vento média, umidade do solo e vegetação.

Durante o dia, a radiação solar é absorvida pelo solo, mesmo quando há uma camada de nevoeiro intervindo. Conforme o solo se aquece, uma fina camada de ar em contato com ele também se aquece por condução. Este aquecimento inicia fraca mistura convectiva, a qual começa a aquecer a porção mais baixa da camada de nevoeiro. A umidade relativa nesta camada começa a diminuir, atrasando a formação de gotículas de nevoeiro e eventualmente evaporando gotículas existentes. Conforme o nevoeiro perde profundidade, o processo de aquecimento acelera, permitindo que mais radiação solar alcance o solo. Com mais radiação solar chegando ao solo, a base do nevoeiro pode se elevar a uma taxa de várias centenas de pés por hora (Fig. 2.9).

Enquanto os principais efeitos da radiação solar ocorrem por processos de mistura convectiva, um processo de aquecimento secundário também pode contribuir para dissipação do nevoeiro. Dióxido de carbono e vapor d'água dentro da camada de nevoeiro absorvem e reemitem parte da radiação que vem da superfície. O ar se aquece conforme ele absorve energia, elevando a temperatura e diminuindo a umidade relativa.

Figura 2.9 – Evaporação da base do nevoeiro devido à incidência de radiação na superfície.



Fonte: THE COMET PROGRAM, 1999.

Independentemente do seu tamanho, todas as gotículas de nevoeiro continuamente se depositam. A profundidade de uma camada de nevoeiro diminui quando a taxa de formação de gotícula não consegue superar a taxa de deposição. Gotículas de nevoeiro variam em tamanho, mas gotículas menores se depositam mais lentamente que as gotículas grandes. Uma gotícula de nevoeiro média, com diâmetro menor que 20 micrômetros, se depositará a uma taxa de 1cm/seg. A título de exemplo, um nevoeiro inicialmente com 30 metros de profundidade deve se depositar na superfície em aproximadamente uma hora, se os processos de manutenção forem removidos. Isto resultaria no rápido aumento da visibilidade. Na atmosfera, o processo de manutenção diminui gradualmente e causa um aumento lento na visibilidade.

O topo da inversão da camada de nevoeiro normalmente é acompanhado de uma camada de cisalhamento vertical do vento. A base da inversão tipicamente fica por volta de 50 metros abaixo do topo do nevoeiro. A mistura turbulenta de ar mais quente e seco no topo da camada do nevoeiro pode reduzir a umidade relativa nessa camada e abaixar a inversão. Quanto mais fraco for a inversão, mais suscetível ela fica aos processos de mistura de deterioração.

A introdução de ventos de baixos níveis de moderado a forte pode causar a dissipação do nevoeiro no topo e próximo a superfície. No topo do nevoeiro, os ventos entranham o ar

mais quente e seco acima do nevoeiro. Próximo a superfície, os ventos causam mistura do ar de superfície aquecido com o nevoeiro acima. Ambos promovem evaporação das gotículas do nevoeiro e aumento da visibilidade.

Advecção fria acima da camada do nevoeiro também pode dissipá-lo, pois causa o enfraquecimento da inversão no topo do nevoeiro e o aumento da mistura. Por outro lado, advecção de ar seco acima do topo do nevoeiro pode aumentar o resfriamento radiativo.

Durante a noite, a perda de calor é mais rápido quando não existem nuvens acima de uma camada de nevoeiro. Se uma camada nublada ou encoberta (BKN e OVC) em médios níveis ou uma camada espessa de nuvens de altos níveis é introduzida, o resfriamento no topo do nevoeiro diminui porque menos radiação é capaz de escapar da atmosfera. Este efeito pode retardar a taxa de formação de novas gotículas e contribuir para dissipação do nevoeiro.

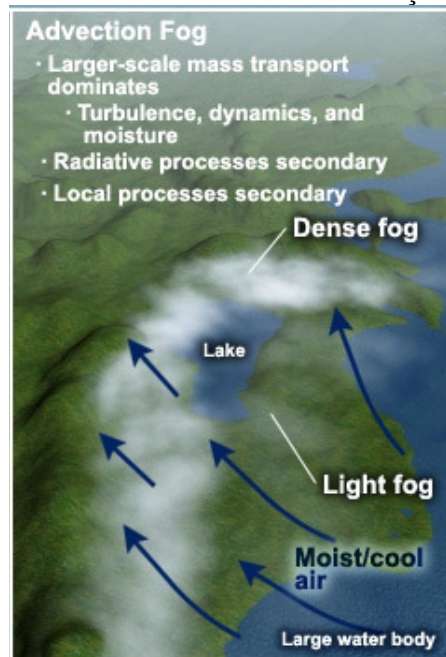
### 2.2.3 Nevoeiro de Advecção

Nevoeiro de advecção é uma nuvem com sua base em solo causado pelo resfriamento de uma massa de ar para o ponto de saturação conforme ela se move sobre uma superfície. Essa superfície pode ser solo frio, cobertura de neve, água ou gelo (THE COMET PROGRAM, 1999).

No exemplo da figura 2.10, a advecção ocorre fora do corpo d'água, fazendo com que o nevoeiro ocorra sobre a superfície terrestre. Com o ar úmido sendo forçado a subir o terreno, logo à frente da costa, percebe-se que o desenvolvimento do nevoeiro mais denso se situa ao longo das encostas.

Agora, o nevoeiro mais denso é a área onde se tem advecção em terra, sobre o lago (o qual aumenta a umidade dentro da massa de ar), e então sobe o terreno. Com nevoeiro de advecção, o transporte de massa de grande escala domina a situação e as características locais possuem efeito secundário, mas certamente afetam a intensidade do nevoeiro.

Figura 2.10 – Processo conceitual envolvido no nevoeiro de advecção.



Fonte: THE COMET PROGRAM, 2004.

### 2.2.3.1 Pré-Condição

Nevoeiros de advecção frequentemente se formam em atmosfera pré-condicionada. O pré-condicionamento da atmosfera pode ocorrer das seguintes formas:

1) Trajetórias das parcelas sobre fontes de umidade;

2) Mistura convectiva dentro da camada limite, o que aumenta a profundidade da camada úmida. Em nevoeiros de advecção, que são mais governados por processos sinóticos, observa-se dinâmicas mais fortes na camada limite. Como resultado, maior turbulência na camada limite aumenta sua profundidade, que conseqüentemente, aumenta a profundidade da camada úmida;

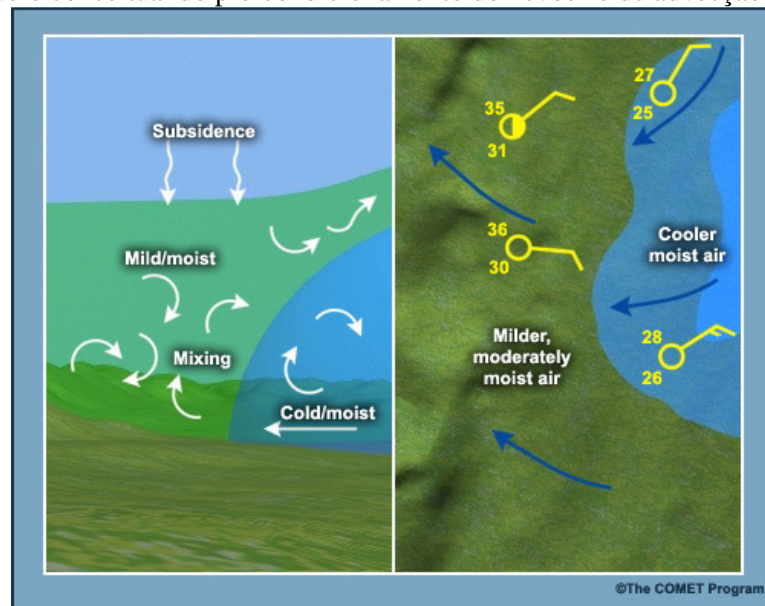
3) Aquecimento diferencial entre a superfície e a massa de ar advectada;

4) Ventos anticiclônicos de grande escala na superfície e acima e Subsidiência.

Ambos os eventos de nevoeiro necessitam de condições relativamente estáveis, ou seja, algum tipo de subsidência de grande escala na área, o que torna o desenvolvimento do nevoeiro e estratos mais favorável.

A figura 2.11 mostra um modelo conceitual do que acontece no pré-condicionamento do nevoeiro de advecção. No lado esquerdo está um corte transversal da área e no lado direito está uma superfície. Pode-se observar a massa de ar mais fria advectando de leste e substituindo o ar misturado e relativamente mais seco. Conforme ele é advectado, a superfície se resfria, bem como os níveis mais baixos da atmosfera. Sinoticamente, há subsidência de grande escala sobre a área, o que favorece a formação do nevoeiro e estratos na região.

Figura 2.11 – Modelo conceitual do pré-condicionamento do nevoeiro de advecção.

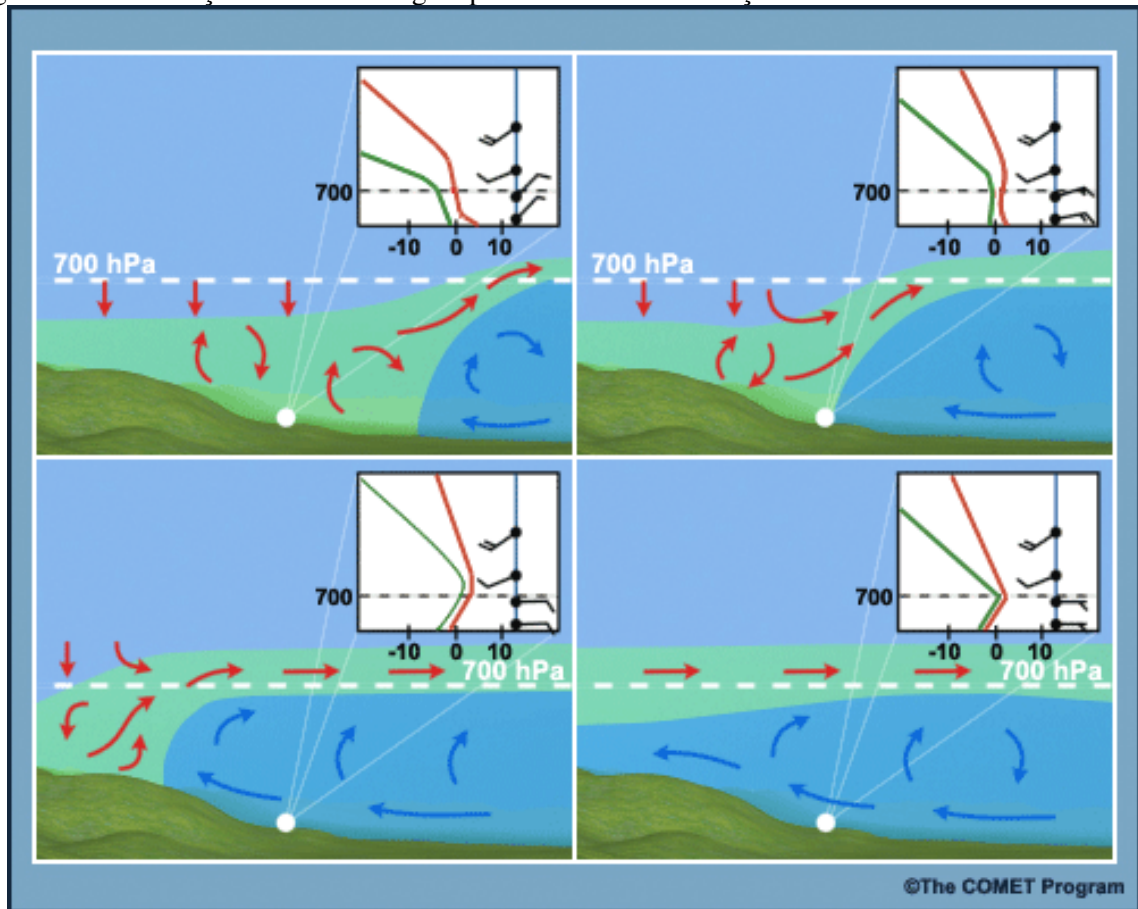


Fonte: THE COMET PROGRAM, 2004.

Conforme esse ar frio continua avançando sobre a área, a estrutura vertical da atmosfera continua se modificando e é possível identificar a inversão de temperatura se configurando na camada limite. Até a inversão se estabelecer, os ventos ainda são relativamente fortes na camada limite (Fig. 2.12 - imagens superiores). Na última seção, os ventos diminuíram e há uma região saturada com inversão, a qual é responsável por aprisionar a umidade na camada limite.

Os processos de dissipação para o nevoeiro de advecção são os mesmos do nevoeiro radiativo, mas sua duração é dependente da intensidade dos processos de formação.

Figura 2.12 – Evolução de uma sondagem para nevoeiro de advecção.



Fonte: THE COMET PROGRAM, 2004.

## 2.2.4 Influências Locais

Influências locais e de mesoescala podem ajudar ou atrapalhar uma previsão de nevoeiro ou nuvens estratos. A influência de corpos d'água local, terreno, vegetação, características do solo e costeira na baixa atmosfera podem ser importantes no desenvolvimento, duração e intensidade desses eventos. Esta secção contém uma breve discussão de como algumas dessas influências podem contribuir ou inibir um evento de nevoeiro (THE COMET PROGRAM, 2003b).

### 2.2.4.1 Transição Mar-Terra

Ambientes costeiros fornecem pelo menos um ingrediente chave necessários para formação de nevoeiro e nuvens estratos: a umidade. Mas eles também influenciam diretamente a circulação local e o resfriamento, que por sua vez influencia a ocorrência de

nevoeiro e nuvens estratos. Se o ambiente costeiro faz fronteira ou com um lago ou com o mar, ambos influenciam vários processos de escala local, meso-a e meso-b, que pode afetar a formação e a persistência do nevoeiro.

A interface costeira representa uma zona entre o núcleo de condensação de nuvem (CCN) marítimo e continental, que afetam os processos microfísicos que levam ao desenvolvimento de nuvens. Em alguns casos, o CCN pode ajudar o provável desenvolvimento e/ou aumento de intensidade, dependendo da natureza da interface costeira. Por exemplo, a presença de um corpo d'água salino pode fornecer CCN que resultará em nevoeiros mais densos que corpos d'água doce, especialmente quando poluentes também estão presentes.

#### 2.2.4.1.1 Brisa Marítima e Terrestre

Escoamento para continente de escala sinótica e a brisa marítima de mesoescala e seus correlatos (brisas de rio e lago), todos podem advectar nevoeiro já presente sobre corpos d'água para áreas terrestres. Esses padrões de circulações afetam não somente o potencial de nevoeiro e estratos, mas também de convecção e rápidas mudanças no teto e visibilidade. As circulações de brisa de mar, rio e lago tendem a ser mais proeminente do final da primavera para o final do verão.

O período do ano em que a circulação de brisa marítima é mais forte e a capacidade de penetrar o continente dependem de vários fatores, incluindo a forma da costa e a direção predominante do vento, a topografia da região costeira, a temperatura da superfície do mar costeira e os gradientes de TSM, temperatura da superfície terrestre, etc.

Enquanto uma penetração típica do vento é de 40km, as frentes de brisa de mar conseguem penetrar de 160 a 320km sob moderado escoamento de escala sinótica. Com circulação sinótica contrária a brisa de mar, a brisa se moverá para o continente lentamente ou não se formará, caso o gradiente do vento de escala sinótica seja forte demais.

A figura 2.13 (imagens superiores e central à esquerda) mostra um típico ciclo diurno de formação de brisa de mar sob fraco escoamento sinótico. Em uma escala menor, os mesmos processos se aplicam a formação de brisa de lago e rio.

As circulações de brisa marítima tipicamente se formam e começam seu fluxo para o continente durante o meio para o fim da manhã, quando a temperatura da superfície terrestre durante o dia excede a temperatura do corpo d'água adjacente em 3 a 6°C. Sua intensidade é proporcional a magnitude da diferença de temperatura terrestre e do mar, e depende da

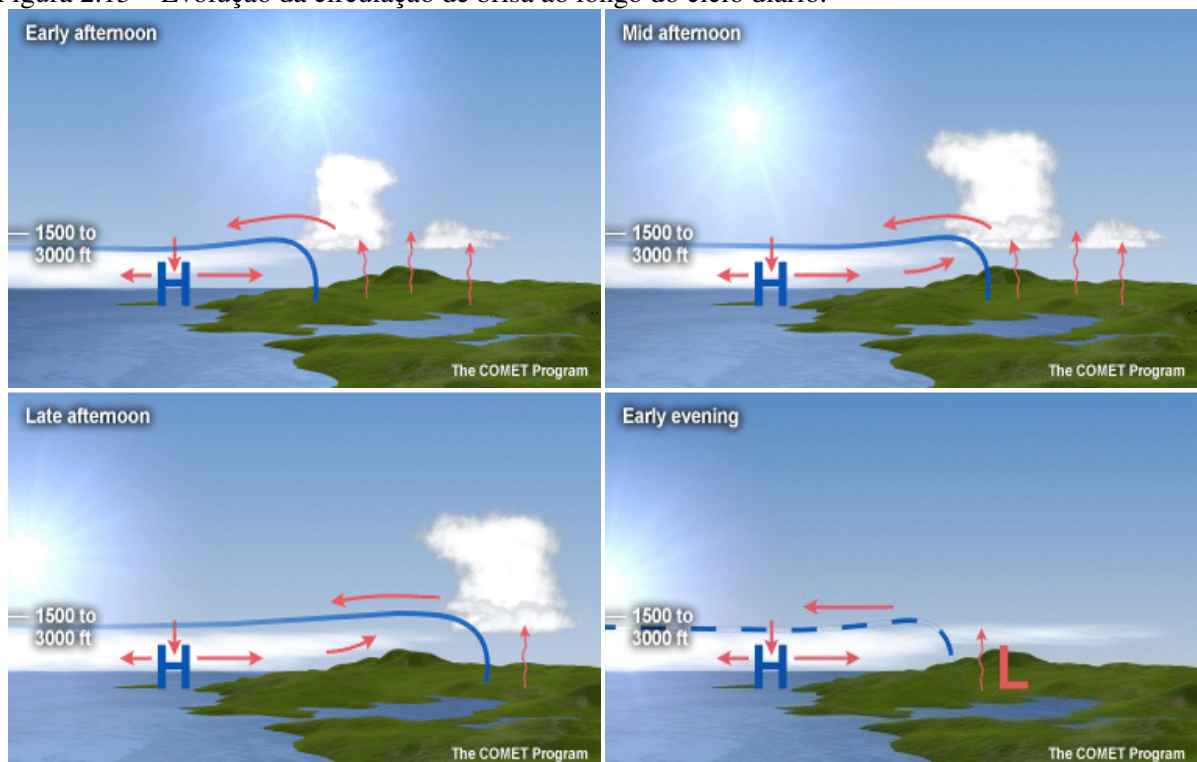


direção e intensidade do escoamento sinótico predominante. Mesmo fraco, o escoamento sinótico do oceano para o continente favorecerá a brisa marítima e sua penetração no continente, enquanto que um fluxo do continente para o oceano a impedirá.

Condições mais frias e úmidas atrás da frente podem ser suficientes para ajudar o nevoeiro ou nuvens estratos sobre o corpo d'água. Se este nevoeiro ou estratos será capaz ou não de se manter sobre a superfície terrestre dependerá do ambiente pré-condicionado. Se condições já estiverem úmidas, o resfriamento atrás da frente pode ser suficiente para ajudar a deslocar o nevoeiro ou estratos para a terra. Se o nevoeiro costeiro for raso, ele pode se misturar com o ar terrestre mais quente e úmido para criar uma camada fina de estratos e/ou nevoeiro conforme ele se move em direção à superfície terrestre.

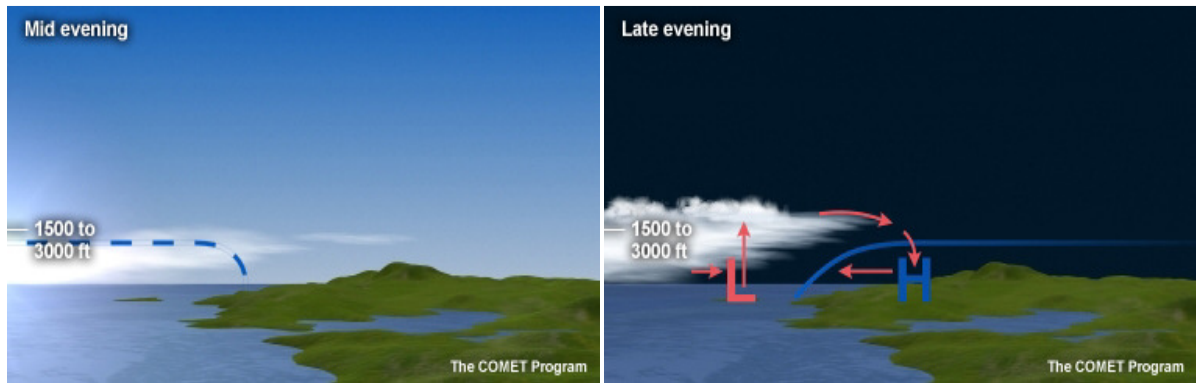
Até o fim da tarde, a circulação de brisa marítima diminui e desaparece completamente uma ou duas horas após o pôr do sol. A terra se resfria e os processos se invertem para formação de uma circulação de brisa terrestre, como pode ser visto na figura 2.13 (imagens central à direita e inferiores). Embora seja mais fraca, a brisa terrestre frequentemente é suficiente para deslocar qualquer nevoeiro ou estratos costeiro. Mesmo se o escoamento for leve, a mudança para uma trajetória de ar advinda de uma massa de ar mais seca normalmente é suficiente para dissipar o nevoeiro.

Figura 2.13 – Evolução da circulação de brisa ao longo do ciclo diário.



Continua Figura 2.13

### Conclusão Figura 2.13



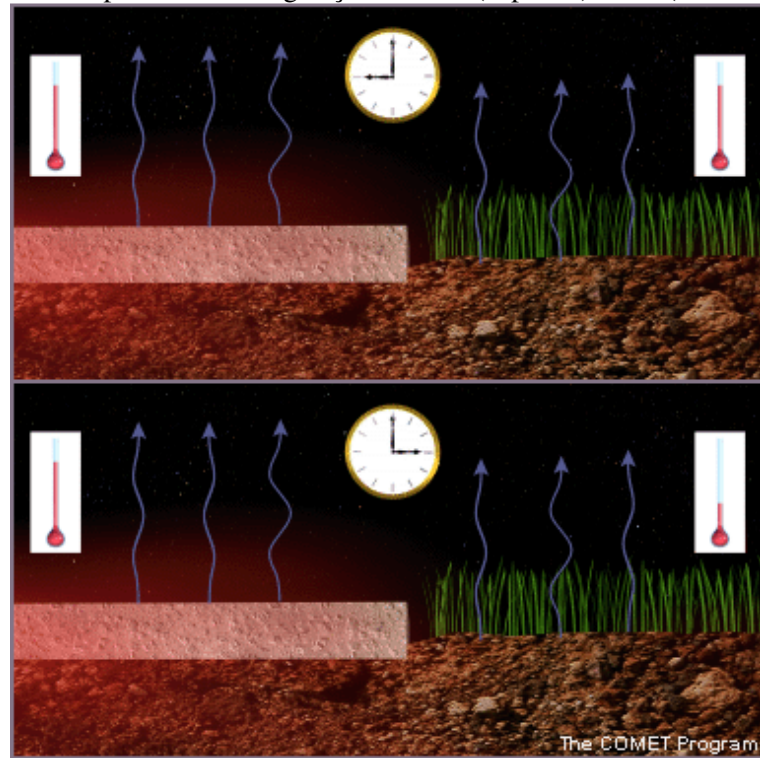
FONTE: THE COMET PROGRAM, 2003b.

#### 2.2.4.2 Influência da Superfície

Diferentes superfícies se resfriam a diferentes taxas, dependendo do tipo de superfície e condutividade térmica debaixo da superfície. Superfícies altamente condutivas, como asfalto, se resfriam mais lentamente durante a noite, porque o calor conduzido de baixo para cima compensa o resfriamento radiativo na superfície. O gramado, por exemplo, possui menor condutividade que o asfalto, sendo assim, resfria-se mais rapidamente, permitindo que o ar em contato com ele alcance a saturação mais rapidamente (Fig. 2.14).

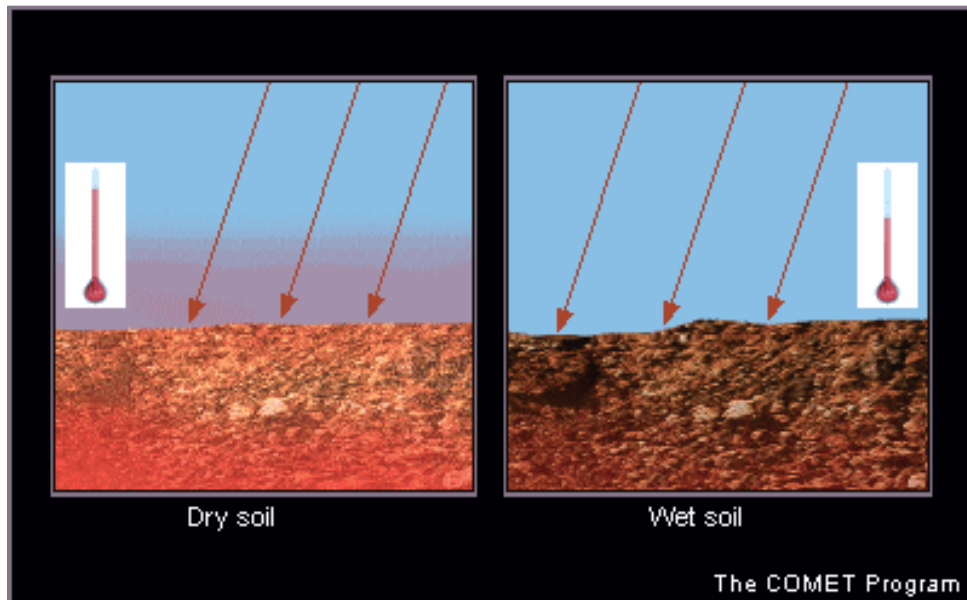
A condutividade térmica do solo é fortemente dependente de seu conteúdo de umidade. O solo úmido não se aquece tanto como o solo seco durante o dia, um dos motivos é que parte da energia solar absorvida pelo solo úmido contribui para evaporação. Além disso, o solo úmido se resfria mais rapidamente que o solo seco após o aquecimento diurno (2.15).

Figura 2.14 – Interferência da condutividade térmica na superfície no resfriamento do ar adjacente em solo coberto por asfalto e vegetação às 21hs (superior) e 3hs (inferior).



Fonte: THE COMET PROGRAM, 1999.

Figura 2.15 – Influência da umidade do solo no aquecimento do ar adjacente. Solo seco à esquerda e solo úmido à direita.



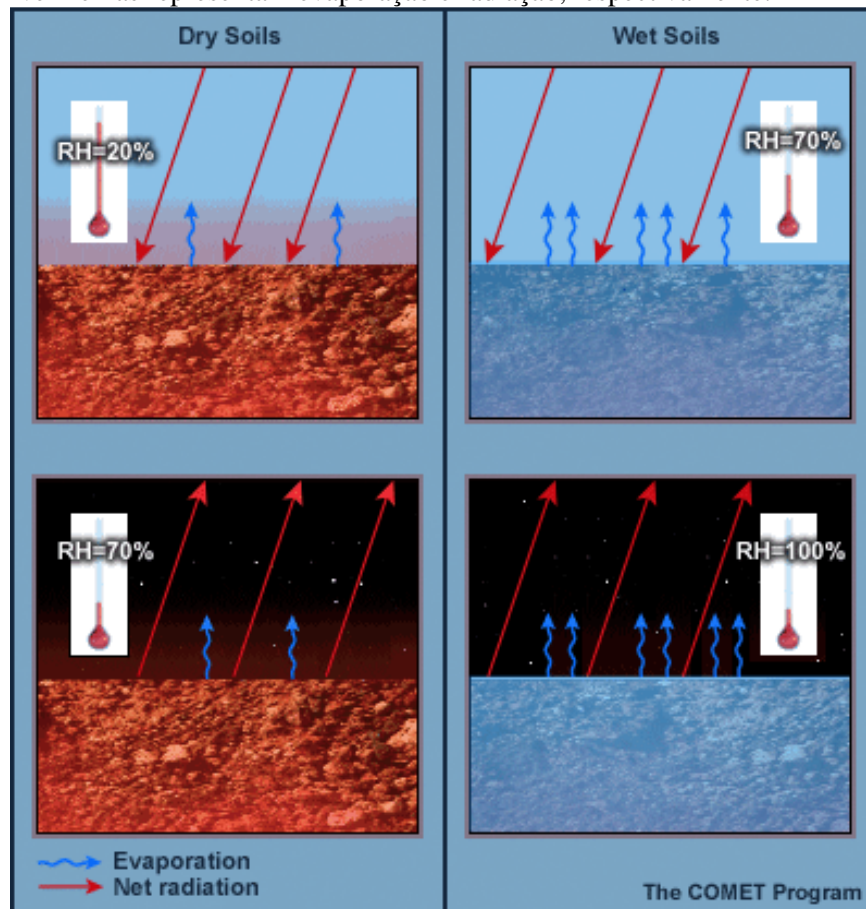
Fonte: THE COMET PROGRAM, 1999.

### 2.2.4.2.1 Umidade do Solo

Solos úmidos não somente contribuem para o desenvolvimento do nevoeiro, mas também pode prolongar um evento. Durante o dia, solos úmidos se aquecem mais lentamente que solos secos, mantendo a camada de ar próximo a superfície mais fria. Além disso, a evaporação do solo úmido também resfria e umedece esta camada, criando um ambiente que é mais propício a subsequente formação de nevoeiro noturno (Fig. 2.16 - imagens superiores).

Durante a noite, o resfriamento radiativo, auxiliado pela evaporação, leva esta camada de superfície úmida à saturação, favorecendo a formação do nevoeiro. Estas condições podem ajudar a formar uma inversão de baixo nível mais rapidamente e possivelmente aumentar a formação do nevoeiro de radiação, se outras condições estiverem favoráveis (Fig. 2.16 - imagens inferiores).

Figura 2.16 – Influência da umidade do solo no resfriamento e na umidade do ar durante o dia (superior) e a noite (inferior). Solo seco à esquerda e solo úmido à direita. Setas azuis e vermelhas representam evaporação e radiação, respectivamente.



Fonte: THE COMET PROGRAM, 2003b.

## 2.3 Previsão Numérica de Visibilidade

A visibilidade baixa durante eventos de nevoeiro é um resultado de complexos processos radiativos, turbulentos, microfísicos, termodinâmicos, dinâmico, aerossol, bem como interações entre camada limite planetária (CLP) e superfície adjacente (GULTEPE, I. et. al., 2006; THOMA, C. et. al., 2011). Dessa forma, a previsão numérica de nevoeiro se torna uma tarefa muito difícil.

O processo de formação de nevoeiro não pode ser resolvido com aproximações 1D. Simulações numéricas necessitam de altas resoluções horizontal e vertical combinada com sofisticada física de nuvens. O modelo PAFOG, por exemplo, possui uma microfísica limitada à parte mais baixa da atmosfera, que se estende da superfície até uma determinada altura, atualmente 1500m (MULLER, et al., 2005).

O problema dos modelos unidimensionais é que eles não são capazes de resolver os termos de forçantes horizontais, como processos de advecção (THOMA, et. al., 2011).

### 2.3.1 Incertezas dos Modelos 1D

A previsão de visibilidade deve ser realizada com maior precisão (>30%) para reduzir os custos de acidentes relacionados com visibilidade baixa e atrasos em aeroportos (PAGOWSKI, et. al., 2004).

De acordo com Gultepe et. al. (2007), a aproximação mais simples para previsão numérica de nevoeiro é a utilização de modelos unidimensionais. Nesses modelos, os processos dinâmicos, como advecção ou subsidência de grande escala, normalmente não são considerados. Em eventos, onde os processos radiativos são dominantes, as previsões desses eventos são relativamente boas. No entanto, o oposto também é verdade. Ele também explica que as principais razões para tal deficiência nas previsões de nevoeiro são:

- 1) A hipótese da homogeneidade horizontal das variáveis termodinâmicas, a qual não é válida. Essa consideração resulta em grandes erros na evolução no tempo das variáveis do nevoeiro.

- 2) As nuvens não são corretamente representadas. Nevoeiros de radiação são caracterizados por um distinto resfriamento nas camadas mais baixas durante o período

noturno, e tal processo depende fortemente da cobertura de nuvem, pois o resfriamento radiativo aumenta com a diminuição da cobertura de nuvens.

3) Os fluxos de umidade e calor não são tratados adequadamente em condições de superfície heterogênea, uma vez que esses fluxos são dependentes das características da superfície, tais como vegetação, tipo de solo, umidade do solo e temperatura do solo, que obviamente são considerados homogêneos horizontalmente em modelos 1D. A evolução do nevoeiro de radiação, por exemplo, depende desses fluxos.

4) A turbulência atmosférica também não é tratada adequadamente, particularmente sob condições de forte inversão térmica.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

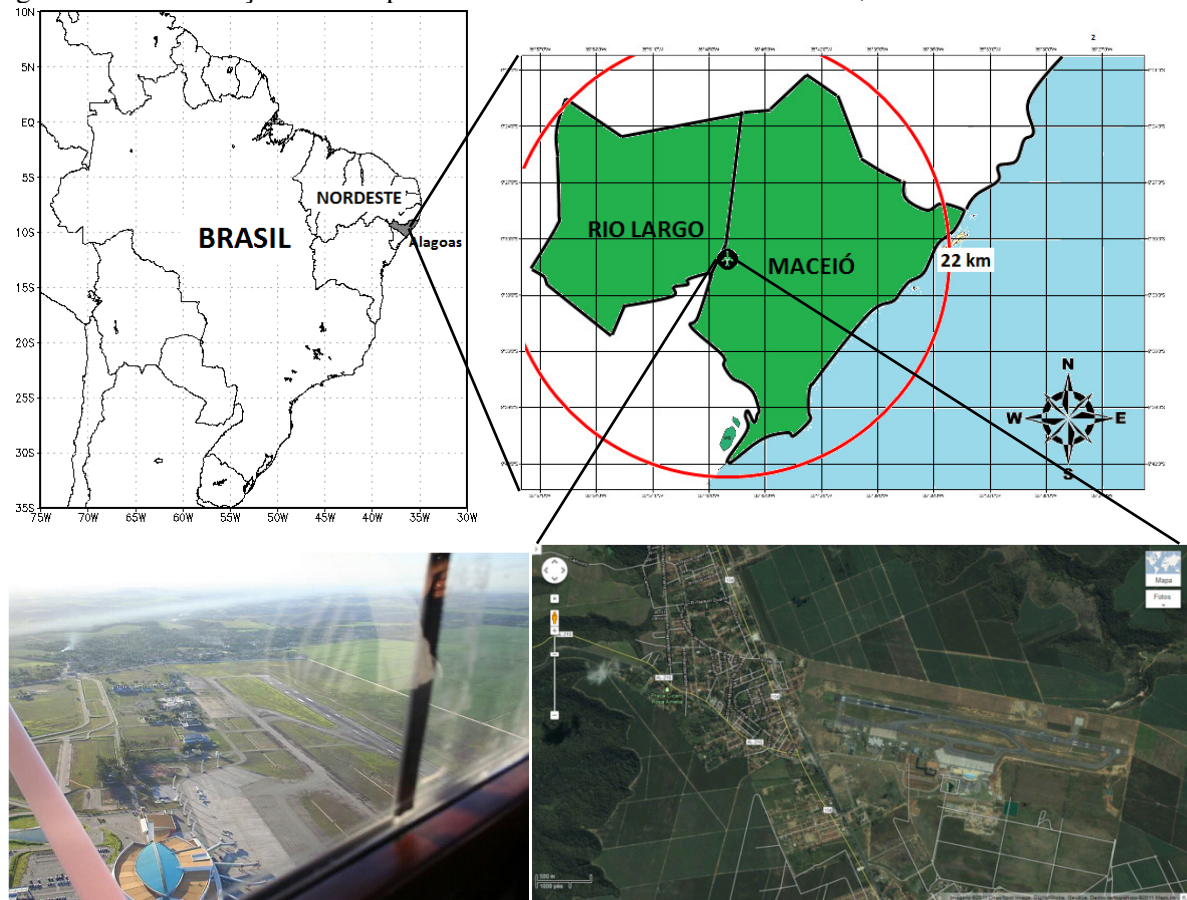
#### **3.1 Área de Estudo e Dados Observacionais**

O estudo da visibilidade baixa se limitará a área do Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares (ICAO: SBMO). O Aeroporto se situa na costa leste do nordeste brasileiro (NEB), nos limites entre os municípios de Maceió e Rio Largo, Estado de Alagoas, a aproximadamente 20 km do litoral (Fig. 3.1).

A estação meteorológica de superfície (EMS) do Aeroporto de Maceió está posicionada geograficamente a 9°31' de latitude Sul, 35°47' de longitude Oeste e 117 metros de altitude. A EMS do Aeroporto de Maceió dispõe de observações regulares (horárias: 0h, 1h, 2h, ..., 23h) e especiais ou locais, que são efetuadas entre as observações regulares.

Os dados meteorológicos utilizados para o estudo da ocorrência de nevoeiro e névoas foram: direção do vento (graus), velocidade do vento (nós), visibilidade (m), tempo presente, umidade relativa (%), temperatura do ar (°C), temperatura do ponto de orvalho (°C), pressão (hPa) ao nível da estação, precipitação (mm) e nebulosidade (em oitavos). Também foram contabilizadas as horas e a quantidade de casos de névoa úmida e seca. A quantidade de casos foi considerada como sendo uma sequência ininterrupta de observações e as horas como sendo o intervalo de tempo de cada caso identificado. Em seguida, foram realizadas análises de distribuição de frequência de temperatura, umidade e vento. Os intervalos ou limites encontrados para cada variável foram feitos baseado na soma das maiores frequências.

Figura 3.1 – Localização do Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares, Maceió – AL.



Fonte: Fotografia aérea (SkyscraperCity) e screenshot da imagem de satélite (Googlemaps).

O período de estudo compreendeu os anos de 2002-2005 e 2007, resultando em um total de 6142 observações meteorológicas de visibilidade baixa.

Em toda base de dados, somente alguns dias nos anos de 2003, 2005 e 2007 apresentaram falhas, tal como ausência de registro ou registro corrompido, o qual, de alguma forma, impossibilitou a leitura do registro dos dados meteorológicos (Ver Quadro 3.1). No entanto, a quantidade de falhas não foi suficiente para comprometer o resultado final deste trabalho, pois o período de estudo é relativamente muito maior que as falhas.

Quadro 3.1 – Falhas existentes nos registros dos dados meteorológicos da EMS do Aeroporto de Maceió, entre os anos 2002-2007 (exceto 2006).

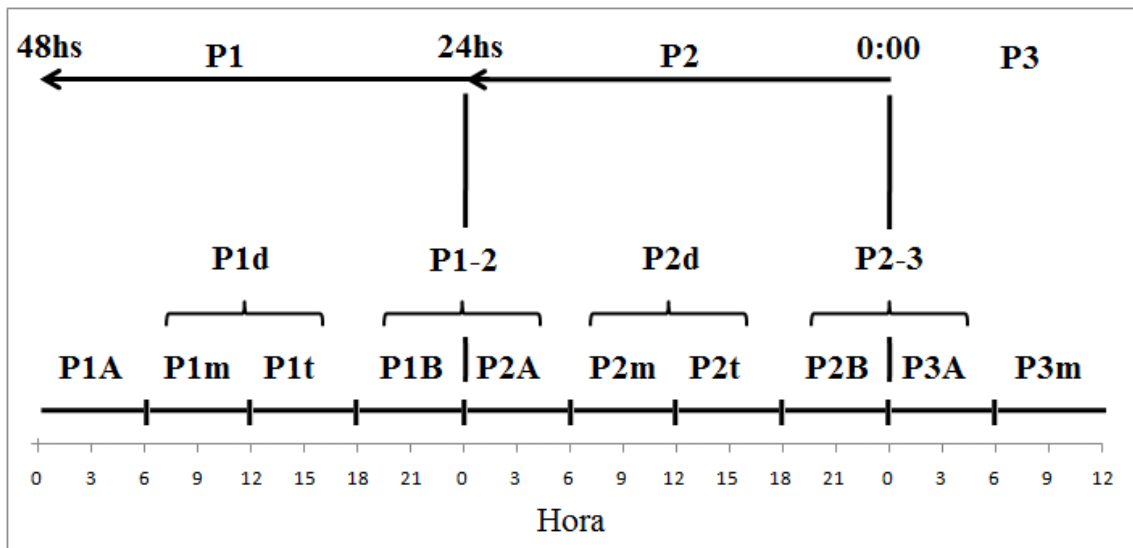
Período	Descrição
Setembro/2003	Falha nos 8 primeiros dias
Junho/2005	Falha na 2ª quinzena do mês
Julho/2005	Falha nos 2 últimos dias
Setembro/2005	Falha na 2ª quinzena do mês
Abril/2007	Falha na 2ª quinzena do mês

### 3.2 Metodologia de Análise dos Eventos de Nevoeiro

A ocorrência de nevoeiro depende dos fatores meteorológicos que o antecede. Isso significa que a atmosfera deve estar pré-condicionada para sua formação. Nesse sentido, os episódios de nevoeiro foram estudados com 48 horas de antecedência, contados a partir da 0:00 hora do dia de sua ocorrência, no intuito de identificar as condições meteorológicas que o antecede.

Sendo assim, o período de análise foi dividido em três partes: P1 é o segundo dia que antecede a formação do nevoeiro, P2 é o dia que antecede a formação do nevoeiro e P3 é o dia em que foi registrado nevoeiro. Cada parte (P) do período de análise foi subdividida em: “A” representa o primeiro período noturno do dia entre 0-6hs, “d” representa o período diurno entre 6-18hs e “B” representa o segundo período noturno do dia entre 18hs e o último minuto do dia. O período diurno de cada parte, ainda pode ser dividido em dois: manhã (m) e tarde (t). Além disso, a junção dos períodos noturnos de cada parte será representada pelos números que os designam separados por hífen, como por exemplo: P1B+P2A igual a P1-2 (Fig. 3.2).

Figura 3.2 – Esquema da identificação do tempo nas análises dos eventos de nevoeiros.





### 3.3 Dados para Análise dos Eventos de Nevoeiro

Para a análise sinótica dos eventos de nevoeiro ocorridos durante o período de estudo, foram utilizados os seguintes dados:

- 1) Produtos de reanálise do modelo numérico do National Centers of Environmental Prediction (NCEP) ligado à National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), através da página da internet do Climate Research Data and Resource (CDC): <http://www.cdc.noaa.gov>.
- 2) Dados de reanálise do projeto ERA-Interim do modelo numérico The European Centre For Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), com resolução horizontal de  $0,75^\circ \times 0,75^\circ$ , hospedado no endereço eletrônico: <http://www.ecmwf.int>.
- 3) Produtos do modelo de mesoescala Weather Research and Forecasting (WRF), com resolução horizontal de  $0,18^\circ \times 18^\circ$ , fornecido pelo Laboratório de Modelagem Atmosféricas (LMA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL).
- 4) Dados de temperatura média diária da superfície do mar no NOAA Satellite and Information Service ligado à National Environmental Satellite, Data and Information Service (NESDIS), logrados através da página da internet do National Climatic Data Center (NCDC): <http://www.ncdc.noaa.gov>.
- 5) Imagens dos satélites GOES-12 e METEOSAT-7 no canal infravermelho disponibilizadas pelo National Climatic Data Center (NOAA), hospedado no endereço eletrônico: <http://www.ncdc.noaa.gov/gibbs>.

Os dois primeiros modelos (NCEP e ECMWF) foram somente utilizados para identificação dos sistemas de escala sinótica atuantes no período de análise, juntamente com as imagens de satélite. Os dados do modelo WRF foram utilizados para análise vertical atmosférica (movimentos verticais, temperatura e umidade) e como dados de entrada para o modelo PAFOG, devido à ausência de radiossondas em Alagoas.

Os dados de temperatura da superfície do mar (TSM) média diária foram utilizados para o estudo da relação entre ela e a ocorrência do nevoeiro.

### 3.4 PAFOG: Modelo Numérico de Previsão de Visibilidade

PAFOG é um modelo unidimensional, que foi desenvolvido por Bott e Trautmann (2002), para previsão de nevoeiro e nuvens estratiformes de baixos níveis. PAFOG foi elaborado com tratamento detalhado dos processos de microfísica de nuvens. Basicamente, PAFOG é uma versão aprimorada dos modelos de nevoeiro e nuvens estratos, MIFOG e MISTRA, respectivamente. O PAFOG necessita de pouco recurso computacional e, por isso, pode ser executado em qualquer computador padrão.

#### 3.4.1 Grades Verticais do PAFOG

O PAFOG pode ser utilizado para simulações de duas maneiras diferentes:

1) Para simulações no modo nevoeiro, a porção mais baixa, que se estende da superfície até  $z_1$ , é subdividida em  $N_1$  camadas equidistantes. Os valores de  $z_1$  e  $N_1$  são, por padrão, configurados para 200 m e 50, respectivamente, mas seus valores podem ser alterados, de acordo com as necessidades do usuário. Uma segunda região que se estende de  $z_1$  até  $z_2$  é subdividida em  $N_2$  camadas logaritmicamente equidistantes. Os valores de  $z_2$  e  $N_2$  foram configurados para 2500 m e 20, respectivamente.

2) Para simulações no modo estratos, a camada equidistante do modelo se estende da superfície até um novo valor definido para  $z_1$ , que é 1500 m. A parte restante da estrutura da grade são as mesmas como no modo nevoeiro.

Os processos de microfísica de nuvens são calculados somente nas regiões equidistantes do modelo (0-200 m, modo nevoeiro; 0-1500 m, modo estratos). Então, em uma determinada simulação, o topo do nevoeiro ou estratos não pode exceder essa região, pois seus resultados passariam a ser menos confiáveis. Sendo assim, os cálculos do modelo são interrompidos nesse momento. Para os cálculos dos perfis de temperatura e umidade no solo, a região 0-50 cm abaixo da superfície é subdividida em 20 camadas logaritmicamente equidistantes.

### 3.4.2 – Breve Descrição dos Esquemas Físicos do PAFOG

O PAFOG consiste de quatro módulos: 1) dinâmico, 2) microfísica, 3) radiação e 4) vegetação baixa. No quadro 2.2 e nas seções seguintes se encontram as referências dos esquemas físicos e uma breve descrição dos módulos que o compõe.

Uma descrição mais detalhada pode ser encontrada em Bott et al. (1990), Bott (1997) e Bott e Trautmann (2002).

Quadro 2.2 – Referência dos principais esquemas físicos do PAFOG.

Processo físico	PAFOG
Dinâmica	Bott et. al. (1990)
Turbulência	Modelo fechamento 2.5 de Mellor e Yamada (1974)
Microfísica	Nickerson et. al. (1986) e Chaumerliac et. al. (1987)
Radiação	Aproximações de transferência radiativa ( $\delta$ -two stream) de Zdunkowski et. al. (1982)
Vegetação	Siebert et. al. (1992a, b)

#### 3.4.2.1 Modelo Dinâmico

A parte dinâmica consiste de um conjunto de equações prognósticas para o campo do vento horizontal ( $u$ ,  $v$ ), temperatura potencial ( $\theta$ ) e umidade específica ( $q$ ). Os processos de turbulência na camada limite são resolvidos a partir de equações prognósticas para energia cinética turbulenta.

#### 3.4.2.2 Modelo Microfísica

Os processos de microfísica de nuvens são tratados por meio de duas equações prognósticas para conteúdo de água líquida (LWC) e concentração total do número de gotículas de nuvem ( $N_c$ ). A distribuição do tamanho das gotículas é descrito por uma função log-normal de forma:

$$dN_c = \frac{N_c}{\gamma_c D \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{1}{2\gamma_c^2} \ln^2 \left( \frac{D}{D_o} \right) \right] dD \quad (1)$$

Onde,  $D$  é o diâmetro da gotícula,  $D_o$  é o valor médio de  $D$  e o  $\gamma_c$  é o parâmetro de dispersão da distribuição da gotícula. De acordo com Chaumerliac et al. (1987), o valor de  $\gamma_c$  depende do tipo de aerossol particular que pode variar entre 0,28 (aerossol marítimo) e 0,15 (aerossol continental). Na presente versão do modelo, este valor é 0,2.

Em caso de supersaturação ( $S$ ), o número de gotículas de nuvens ativas é calculado de acordo com a relação de Twomey (1959):

$$N_{act} = N_a S^k \quad (2)$$

Onde,  $N_a$  é a concentração total do número de partículas de aerossol com raio maior que 0,05  $\mu\text{m}$ .  $S$  é a supersaturação (SAKAKIBARA, 1979; CHAUMERLIAC, 1987) e  $k$  depende do tipo de aerossol. Quatro tipos de aerossóis podem ser escolhidos (JANICKE, 1993): rural ( $N_a = 10000 \text{ cm}^{-3}$ ,  $k = 0,9$ ), urbano ( $N_a = 50000 \text{ cm}^{-3}$ ,  $k = 0,9$ ), marítimo ( $N_a = 200 \text{ cm}^{-3}$ ,  $k = 0,7$ ) ou troposférico ( $N_a = 100 \text{ cm}^{-3}$ ,  $k = 0,7$ ). Na presente versão do modelo, a formação de chuva ainda não foi incluída.

#### 3.4.2.3 Cálculos de Radiação

Nas aproximações dos cálculos de radiação, o intervalo do espectro eletromagnético solar (0,28-6  $\mu\text{m}$ ) é dividido em quatro partes e em cada parte a extinção dos gases, hidrometeoros líquido e sólido, assim como partículas de aerossol são considerados. A região do infravermelho (3,5-100  $\mu\text{m}$ ) e a janela atmosférica (8,75-12,25  $\mu\text{m}$ ) são resolvidos separadamente, concernente a extinção dos gases. Somente comprimentos de onda maior que 100  $\mu\text{m}$  (região do infravermelho), a absorção dos gases, aerossol e gotículas d'água são tratados pelo método da emissividade.

#### 3.4.2.4 Vegetação

O módulo de vegetação descreve a interação entre os processos de superfície terrestre e sua atmosfera adjacente. Parâmetros de entrada para o módulo de vegetação (Tab. 2.1) são usados para calcular a temperatura e a umidade específica dentro da cobertura da vegetação, bem como a temperatura e a umidade específica de saturação da folhagem.

Tabela 2.1 – Parâmetros de entrada para o modelo de vegetação.

Altura da vegetação (m)	0,15
Fator de cobertura	0,80
Índice de Área Folhear	3,60
Albedo da Folhagem	0,20
Armazenamento de Água da Folhagem Máxima ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ )	0,50
Resistência do Estômato Mínima ( $\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$ )	200,00
Fator de Crescimento Sazonal	3,00
Albedo da Superfície da Terra	0,25

As informações sobre os tipos de solo podem ser visto em Pielke (1984). Para o solo existem duas equações prognósticas que calculam a temperatura do solo e o conteúdo de umidade volumétrica dentro do solo e três equações de balanço para a superfície do solo que resolvem a temperatura e a umidade específica.

Inúmeros estudos de sensibilidade com PAFOG mostraram que a evolução do nevoeiro reage relativamente com a escolha particular de cada variável (BOTT E TRAUTMANN, 2002).

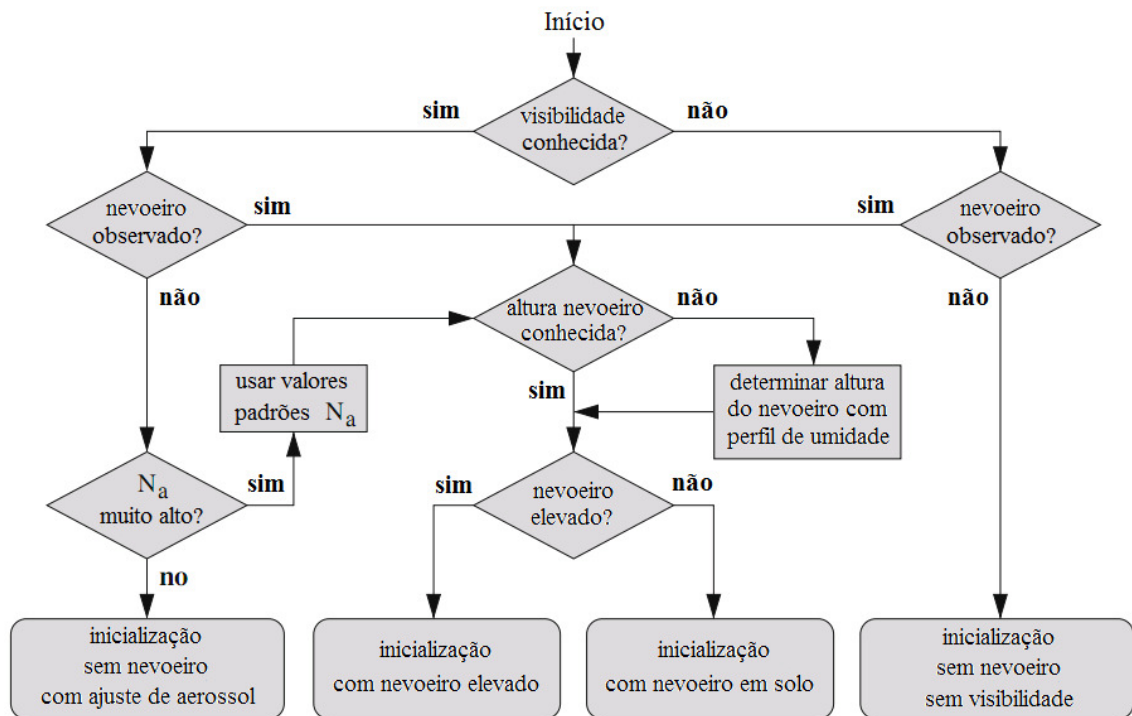
### 3.4.3 Inicialização do PAFOG com Visibilidade

O conhecimento da visibilidade atual é essencial para inicialização de um modelo de nevoeiro. Particularmente, quando as simulações numéricas são iniciadas durante um evento de nevoeiro. O modelo requer o valor da visibilidade inicial, como também o limite inferior e superior do nevoeiro. Os dados de visibilidade podem ser usados pelo modelo para fazer uma estimativa da distribuição espacial inicial e densidade do nevoeiro.

O modelo PAFOG requer um conjunto de dados completo, inclusive a visibilidade. Duas diferentes aplicações foram introduzidas para tornar o tratamento dos valores de visibilidade inicial mais flexível. 1) Se o modelo iniciar em condições de nevoeiro, os valores iniciais de LWC e Nd serão calculados em função da visibilidade. 2) Em condições sem nevoeiro, a visibilidade observada será usada para calcular a concentração inicial de aerossol.

O procedimento completo de inicialização do modelo PAFOG está ilustrado na árvore de decisão mostrada na figura 2.17. Todo texto acima e para mais detalhes sobre o complexo sistema de inicialização do PAFOG pode ser encontrado em Thoma et. al (2011).

Figura 3.3 – Árvore de decisão para inicialização do PAFOG com valores de visibilidade observada e indefinida.



Fonte: Adaptado de Thoma et. al (2011).

#### 3.4.4 Dados de Entrada do PAFOG

Os dados de entrada do modelo serão apresentados em quatro partes (Fig. 2.18).

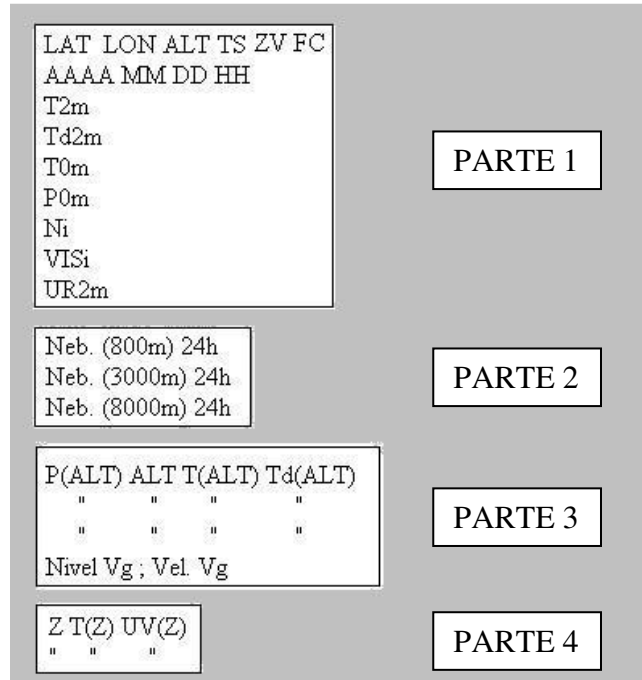
**PARTE 1:** Dados geográficos, de solo, de vegetação e meteorológicos de superfície. Os dados geográficos correspondem à latitude, longitude (em graus) e altitude (m) da estação meteorológica. Sobre o solo, seu tipo pode ser consultado em Pielke (1984) e os dados de vegetação englobam sua altura (m) e o fator de cobertura. Os dados meteorológicos são temperatura do ar (°C) a 2 m e temperaturas do ar e do ponto de orvalho (°C) próximo a superfície, pressão (hPa) nível da estação, visibilidade horizontal (m) e umidade relativa (%).

**PARTE 2:** Dados de nebulosidade baixa, média e alta em oitavos das últimas 24 horas para cálculos de radiação.

**PARTE 3:** Dados de radiossondagem (pressão, temperatura do ar e do ponto de orvalho) e a velocidade ( $\text{ms}^{-1}$ ) do vento geostrófico acima da camada limite.

PARTE 4: dados de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) e conteúdo de umidade volumétrica ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) do solo em profundidade.

Figura 3.4 – Esquema dos dados de entrada do modelo PAFOG.



### 3.5 Utilização do Modelo PAFOG

Devido à ausência de radiossonda em Alagoas, a maioria dos dados de entrada do PAFOG (Fig. 2.18) foram em função dos dados previstos pelo WRF, tanto os dados de superfície, como os de altitude. Somente os dados de visibilidade e nebulosidade foram extraídos dos dados da EMS do Aeroporto de Maceió.

Os parâmetros de entrada para o modelo de vegetação se encontram na Tabela 2.1. Todos os parâmetros se encontram inalterados desde o seu recebimento para avaliação. Todos os casos de nevoeiro foram previstos com os mesmos parâmetros. A principal razão para isso foi a falta de dados com esse tipo de informação.

O modelo PAFOG possui um tempo de integração de 36 horas, mas somente foi utilizado para previsões de 24 horas. As inicializações foram efetuadas a cada 3 horas, começando à 0 hora do dia que antecede o evento de nevoeiro até a 0 hora do dia do evento.

Dessa forma, nove previsões foram executadas e em cada uma delas os dados de entrada foram modificados em função dos dados do WRF. Os dados de nebulosidade e

visibilidade também acompanharam a reinserção dos dados de entrada, sendo que, quando a visibilidade foi maior que 19 km, o PAFOG foi inicializado sem visibilidade observada.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Ocorrência de Névoas e Nevoeiro

No aeroporto de Maceió, em média, são registradas 1201 horas de redução de visibilidade ocasionada por névoas a cada ano, sendo que névoa úmida reduz a visibilidade 16 vezes mais que a névoa seca, tornando-se o fenômeno adverso que mais merece atenção depois da precipitação, conforme estudado por Azevedo (2005). Além disso, em média, 384 eventos de névoa ocorrem por ano, implicando em eventos com duração aproximada de 3 horas (Tab. 4.1).

Os eventos de névoa úmida se tornam mais presentes a partir de meados de outono até o fim do inverno (maio-setembro). Já os eventos de névoa seca possuem uma distribuição irregular ao longo do ano, não permitindo definir exatamente seu período de maior atuação (Tab. 4.1).

Tabela 4.1 – Quantidade média mensal de horas e casos de névoa úmida (NVU) e névoa seca (NVS), para o Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares (ICAO: SBMO).

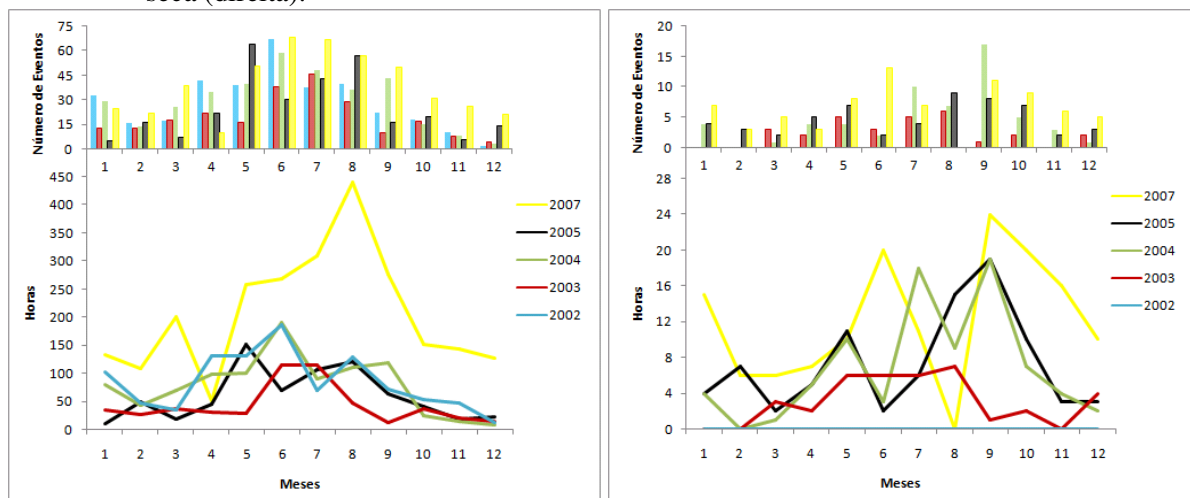
MÊS	HORAS NVU	HORAS NVS	TOTAL HORAS	Nº DE CASOS NVU	Nº DE CASOS NVS	TOTAL CASOS
JANEIRO	72	5	76	21	3	24
FEVEREIRO	55	3	57	16	1	17
MARÇO	72	2	74	21	2	24
ABRIL	71	4	75	26	3	29
MAIO	134	7	141	42	5	47
JUNHO	166	6	172	52	4	56
JULHO	138	8	146	48	5	54
AGOSTO	169	6	176	44	4	48
SETEMBRO	109	13	121	28	7	36
OUTUBRO	61	8	69	20	5	25
NOVEMBRO	48	5	53	12	2	14
DEZEMBRO	37	4	40	9	2	11
MÉDIA	94	6	100	28	4	32
TOTAL	1131	70	1201	340	44	384



Ressalta-se que os meses de Abril, Junho e Setembro possuem inconsistência nos dados em determinados dias do mês em anos alternados e isso significa que a quantidade de horas e o número de casos de névoa úmida e seca podem ser maiores do que aqueles apresentados na tabela acima.

A partir da distribuição anual de névoas (Fig. 4.1), nota-se o maior número de horas e eventos em 2007. Com base na tabela de ocorrências dos fenômenos El Niño Oscilação Sul (ENOS) do Centro de Previsão de Tempo e Clima (CPTEC - <http://enos.cptec.inpe.br>), o ano de 2007 foi caracterizado pela transição de El Niño para La Niña, onde esta provoca chuvas acima do normal no nordeste brasileiro (MOLION E BERNARDO, 2002). Dessa forma, torna-se inevitável relacionar os eventos de névoa com as ocorrências de chuva, uma vez que a névoa tende a atuar com mais frequência no período frio e chuvoso da região e na fase fria do fenômeno atmosférico ENOS (La Niña).

Figura 4.1 – Distribuição anual da quantidade de horas e casos de névoa úmida (esquerda) e névoa seca (direita).



Poucos eventos de névoa úmida conseguem reduzir a visibilidade horizontal para menos de 5 km no Aeroporto de Maceió (14% das observações). Apenas 42% das observações de névoa úmida reduzem a visibilidade para menos de 10 km (Fig. 4.2a), as quais são reportadas nas mensagens METAR.

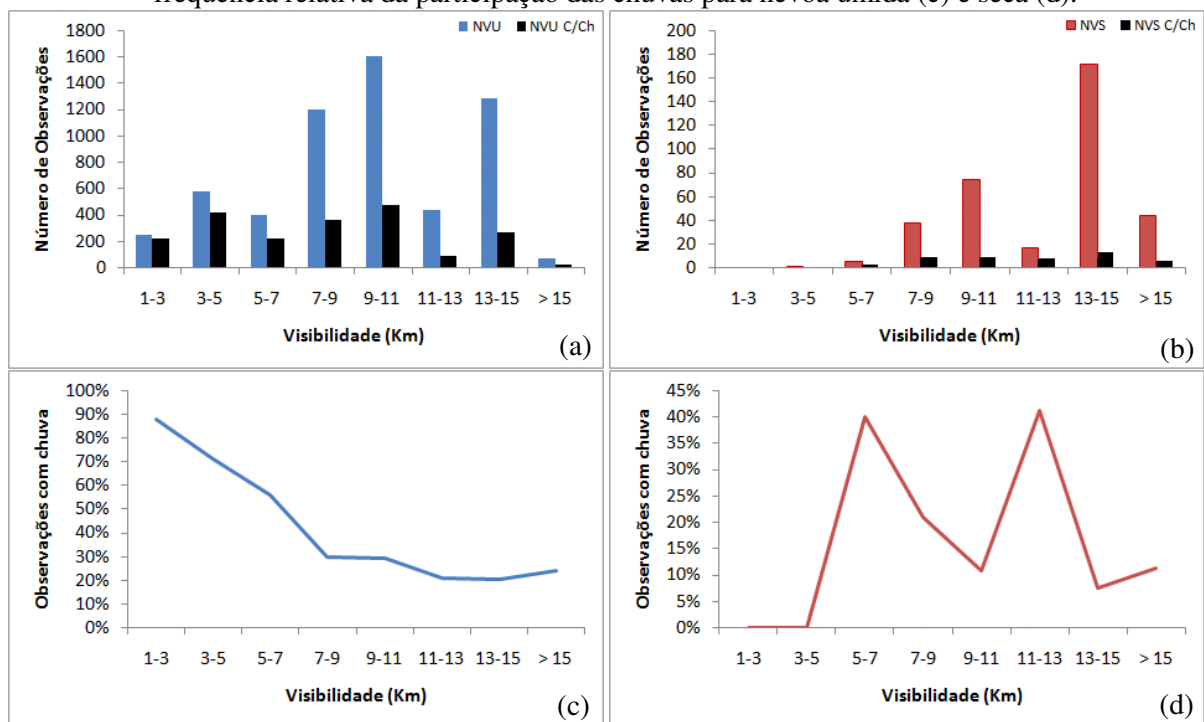
Embora os eventos de névoa úmida coincidam com o período frio e chuvoso de Alagoas, apenas 35% das observações estão acompanhadas de precipitação. Mas, conforme a visibilidade diminui, a participação das chuvas na redução da visibilidade aumenta para 76% nas visibilidades entre 1 km e 5 km (Fig. 4.2c).

Os eventos de névoa seca raramente reduzem a visibilidade horizontal para menos de 5 km. As visibilidades de 7 km a 11 km e maior que 13 km são as mais frequentemente observadas com este tipo de fenômeno. Os registros de visibilidade acima de 10 km representam 88% das observações de névoa seca (Fig. 4.2b).

Os eventos de névoa seca também estão acompanhados de precipitação (12,2%). As ocorrências de chuva estão distribuídas nas classes de visibilidade que apresentam menor frequência (5-7 km e 11-13 km), como pode ser visto na figura 4.2d.

Isso significa que grande parte dos eventos de névoa seca possui autonomia para se formar ou desenvolver, ou seja, as chuvas atuam somente como coadjuvantes na redução da visibilidade, mas alguns fatores meteorológicos não contribuem para sua intensificação.

Figura 4.2 – Distribuição de frequência das classes de visibilidade para névoa úmida (a) e seca (b) e frequência relativa da participação das chuvas para névoa úmida (c) e seca (d).



Com base nesses resultados, fica evidente que a névoa úmida é o único fenômeno adverso de atmosfera estável que pode anteceder os eventos de nevoeiro.

Conforme pode ser visto na figura 4.3a, as maiores contribuições na quantidade de horas e número de casos visto na tabela 4.1 se devem a capacidade de a névoa úmida resistir aos efeitos da radiação solar e outros fatores meteorológicos durante o dia.

Na primavera (Outubro a Dezembro), quando a névoa úmida encontra condições atmosféricas favoráveis, elas tendem a se formar algumas horas após o pôr do sol,

desenvolvendo-se durante a noite, e quando não se dissipam no período noturno, chegam ao fim de seu ciclo de vida logo após o nascer do sol.

No verão e início do outono (Janeiro a Abril), quando há pré-condicionamento da atmosfera, a maioria das névoas úmidas tende a se formar um pouco mais cedo que na primavera, logo após o pôr do sol. Essa antecipação na formação provavelmente se deve a atuação de alguns sistemas precipitantes nesse período, como VCAN (GAN, 1986) e CCM (SILVEIRA, 2010). Assim como na primavera, caso a névoa persista durante a noite, seu ciclo de vida se encerrará logo após o nascer do sol.

A partir de meados de outono e por todo inverno (Maio a Setembro), período de maior atuação das névoas úmidas, elas começam a se formar antes do pôr do sol, desenvolvem-se durante a noite e persistem até as primeiras horas da manhã e, por vezes, boa parte do período diurno.

Mais uma vez, a distribuição temporal da névoa seca não teve um comportamento discriminante. Mas, é possível verificar que as observações de névoa seca se apresentaram menos dispersas no mesmo período de maior atuação das névoas úmidas (Maio a Setembro).

Os eventos de névoa úmida ocorrem preferencialmente durante a noite, atingindo maior frequência entre as 3 e 5 horas da madrugada (Fig. 4.3b), período no qual o ambiente se torna mais favorável à formação tanto de névoa quanto de nevoeiro, com supressão dos ventos em baixos níveis e atmosfera úmida e estável.

Os eventos de névoa seca atingem seu máximo de ocorrência durante o período diurno (Fig. 4.3c), período no qual a atmosfera tende a estar mais seca, devido ao transporte vertical de umidade causado pelo aquecimento radiativo da superfície terrestre.

As chuvas que acompanham os eventos de névoa úmida estão distribuídas ao longo de todo ciclo diário. Sendo que, os eventos que ocorrem durante o período noturno e início da manhã são os mais frequentemente acompanhados de chuva (Fig. 4.4a).

A névoa seca é um fenômeno tipicamente diurno (Fig. 4.3c) e, naturalmente, as chuvas que a acompanha se concentram nesse período (Fig. 4.4).

Figura 4.3 – Distribuição temporal das observações de nevoas úmida e seca entre 2002-2007 (exceto 2006) (a) e distribuição horária para névoa úmida (b) e névoa seca (c). Os pontos azuis representam as observações de névoa úmida e os vermelhos representam névoa seca. As linhas pretas em (a) representam o nascer e o pôr-do-sol.

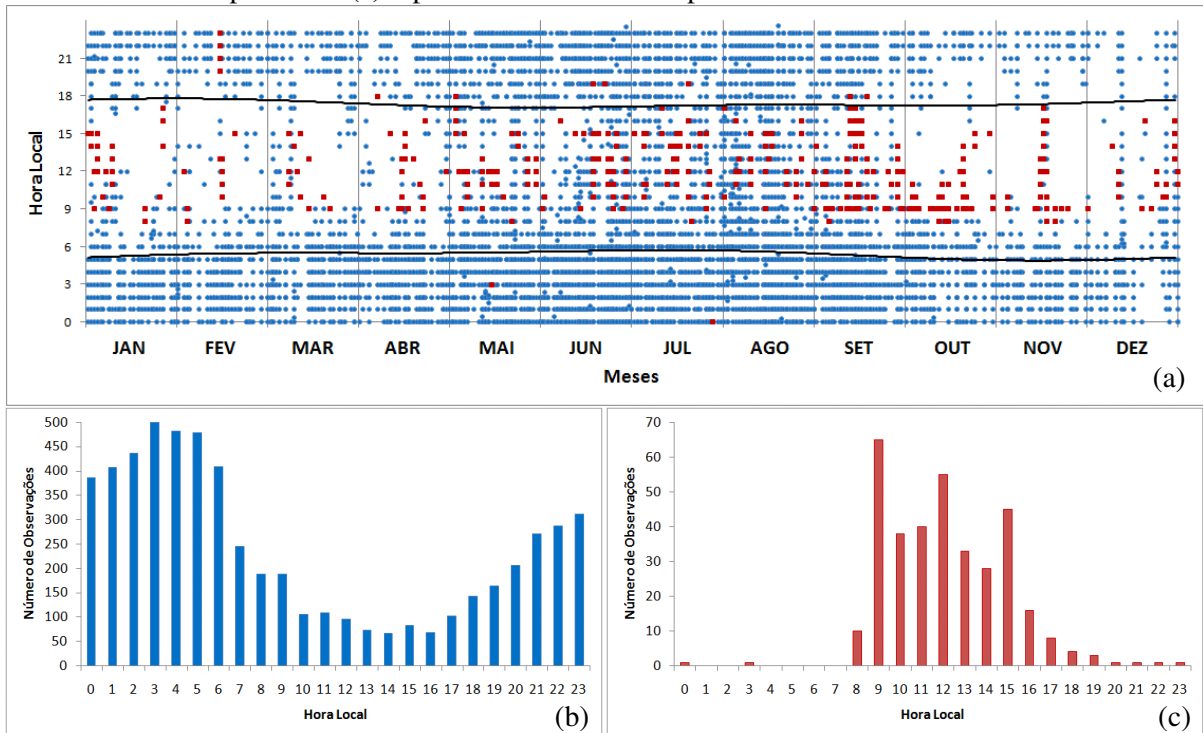
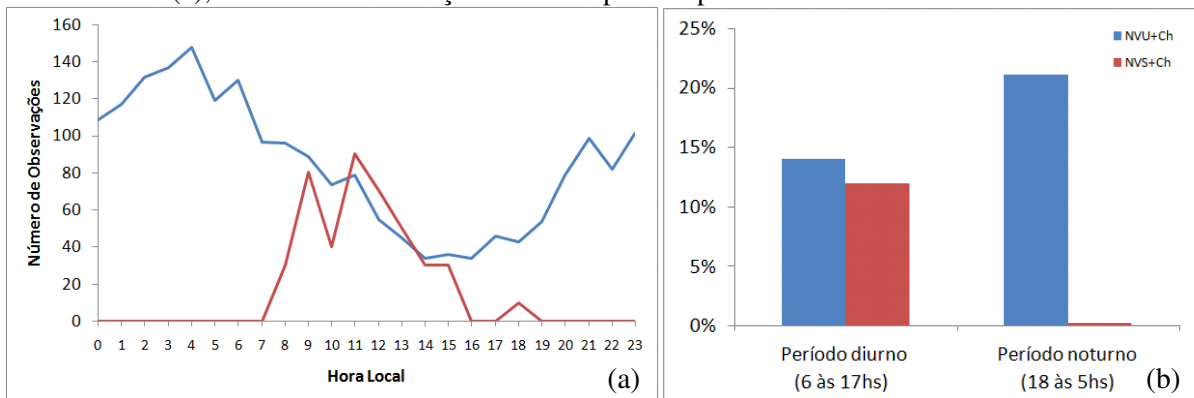


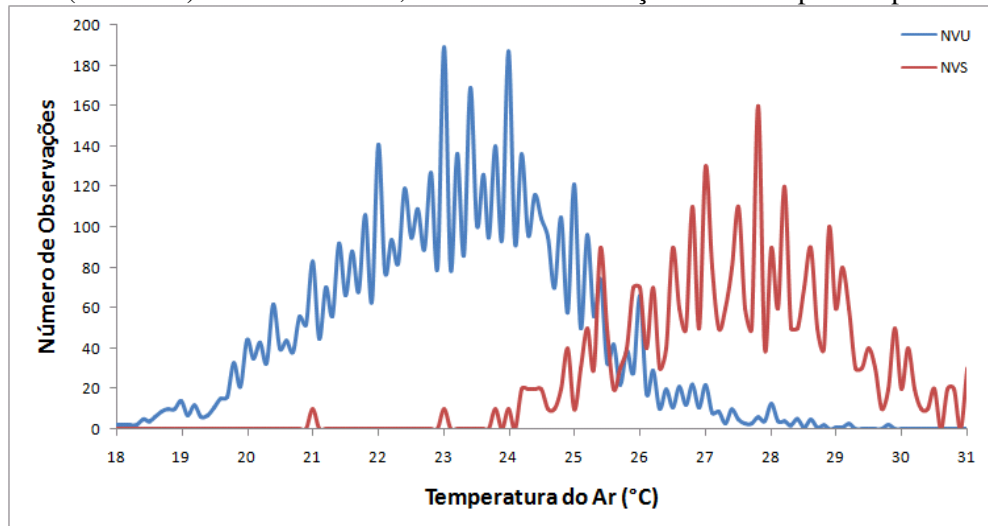
Figura 4.4 – Distribuição horária dos eventos de névoa úmida (azul) e névoa seca (vermelho) acompanhados de chuva (a) e frequência relativa por período (b). Para névoa seca em (a), número de observações foi multiplicado por 10.



A névoa úmida é um fenômeno tipicamente noturno, período no qual a temperatura do ar está mais baixa. Já os eventos de névoa seca ocorrem quase que exclusivamente durante o período diurno, período no qual a temperatura do ar é mais alta. Em 85,4% das observações de NVU, a temperatura do ar geralmente esteve entre 20,4-26°C. Em 87,7% das observações de NVS, a temperatura do ar geralmente esteve entre 24,9-30,1°C. Nota-se que boa parte das

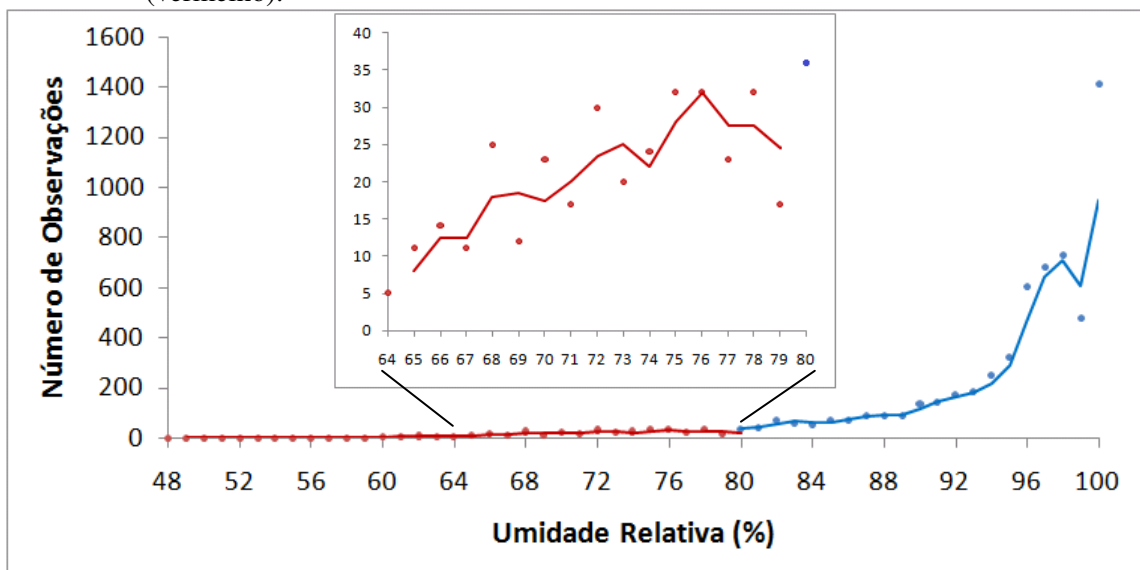
observações de névoas estão contidas em um pequeno intervalo de temperatura ( $\sim 5,5^{\circ}\text{C}$ ) (Fig. 4.5).

Figura 4.5 – Distribuição de frequência de temperatura do ar para névoa úmida (azul) e seca (vermelho). Para névoa seca, número de observações foi multiplicado por 10.



Conforme pode ser visualizado na Figura 4.6, as névoas úmidas são mais frequentemente observadas com alta umidade relativa. Também foi identificada a relação de que quanto menor a visibilidade, maior a necessidade de o ar estar saturado. 73% das observações de névoa úmida estão ligadas a umidade relativa acima de 95% e 71% das observações de névoa seca estão ligadas a umidade entre 70 e 79%.

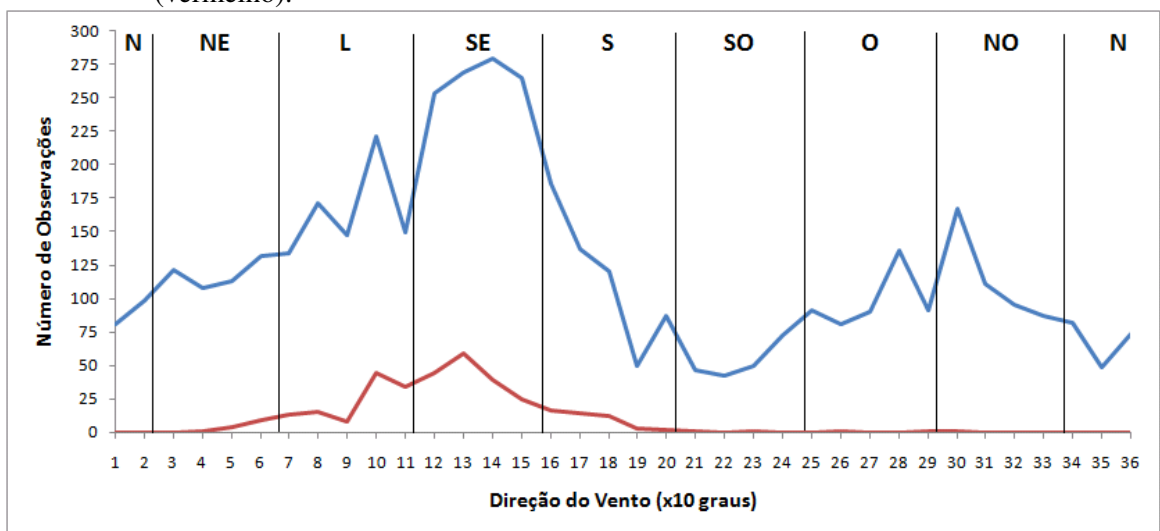
Figura 4.6 – Distribuição de frequência da umidade relativa para névoa úmida (azul) e seca (vermelho).



A figura 4.7 mostra os ventos que mais frequentemente contribuem para a formação ou desenvolvimento tanto das névoas úmidas, quanto das névoas secas.

Os ventos associados às névoas úmidas foram preferencialmente de origem oceânica – NE (8,2%), L (14,2%), SE (18,4%) e S (10%). A formação da névoa úmida independe da direção do vento. Ventos de oeste (8,4%) e noroeste (7,9%) se destacaram como o segundo escoamento que mais contribuem para sua formação. Os ventos associados às névoas secas foram exclusivamente de origem oceânica – NE (4%), L (32,8%), SE (47,6%) e S (14%).

Figura 4.7 – Distribuição de frequência da direção do vento para névoa úmida (azul) e seca (vermelho).

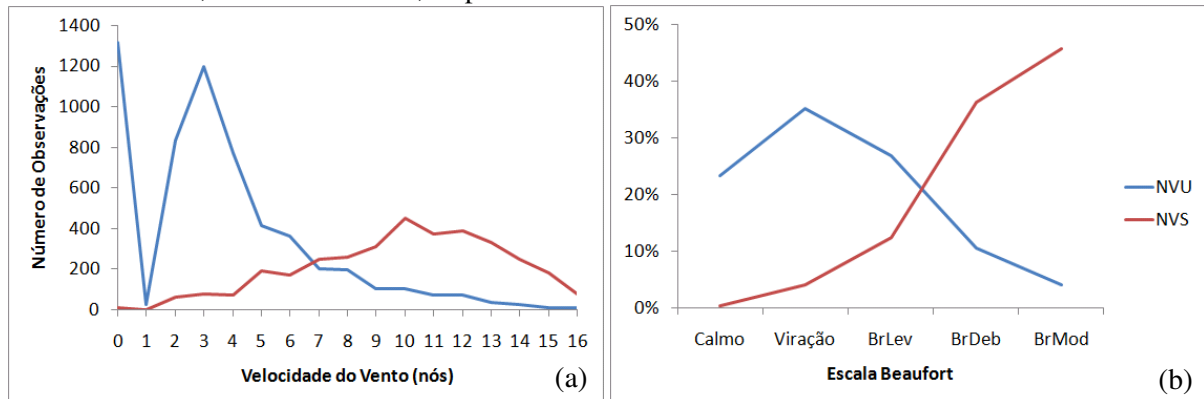


Ausência de vento ou ventos fracos são mais frequentemente observados com névoa úmida. 85% das observações de névoa úmida estão relacionadas com velocidades menores ou igual a 6 nós (linha azul da Fig. 4.8a). As velocidades de 0 e 3 nós (22,7 e 20,7%) são os mais frequentemente observados nos eventos de névoa úmida, seguido por ventos de 2 e 4 nós (14,4 e 13,3%). Sendo assim, estima-se que se não nulo, ventos de 2 a 4 nós gerariam a turbulência ideal para o desenvolvimento da névoa úmida, e conforme o vento aumenta de intensidade, o mesmo atuaria contra o desenvolvimento dela.

A distribuição da velocidade do vento para névoa seca está mais concentrada no entorno de seu máximo de 10 nós. 86,6% das observações de névoa seca estão ligadas a ventos maiores ou igual a 6 nós (linha vermelha da Fig. 4.8a).

De um outro ponto de vista, as névoas úmidas se desenvolvem com ventos de calmo a brisa leve e os eventos de névoa seca com brisa moderada (Fig. 4.8b)

Figura 4.8 – Distribuição de frequência da velocidade do vento (a) e frequência relativa na escala Beaufort (b), para névoa úmida (azul) e névoa seca (vermelho). Para névoa seca em (a), número de observações foi multiplicado por 10. BrLev, BrDeb e BrMod significam brisa leve, débil e moderada, respectivamente.



Apesar da fraca intensidade, os ventos de origem oceânica transportam ar úmido e nuvens precipitantes para a costa. As chuvas que acompanham as névoas úmidas e aquelas que as antecedem são responsáveis pelo umedecimento do solo e da baixa atmosfera, fazendo com que o ar próximo a superfície sature mais rapidamente, enquanto se resfria ao longo da noite.

Devido à ocorrência de névoa seca ser preferencialmente no período diurno, o conjunto brisa marítima e ventos predominantes geram correntes de ar que frequentemente ultrapassam os limites definidos como favoráveis ao seu desenvolvimento ( $< 6$  nós). Então, o conjunto ventos fortes e provável instabilidade atmosférica do período diurno não permitem que a névoa seca se intensifique, mesmo que precedido ou acompanhado de chuva.

Apesar das névoas úmidas serem frequentemente observadas com ventos fracos e alta umidade, poucas vezes a visibilidade é reduzida para menos de 5 km e raramente evoluem para nevoeiros.

O processo de redução de visibilidade é muito complexo e seu desenvolvimento não pode ser definido e nem previsto por meio da distribuição de frequência das variáveis de superfície, pois mesmo que o ambiente se encontre nas condições encontradas acima, a visibilidade pode permanecer máxima e sem oferecer riscos a quaisquer tipos de transporte.

Sendo assim, é importante conhecer os mecanismos pelos quais as névoas úmidas e os nevoeiros ocorrem com baixa frequência, uma vez que a atmosfera apresenta condições favoráveis no momento de suas observações.

Dentro do período de investigação de cinco anos, apenas oito casos de nevoeiro foram identificados, onde sua intensidade variou de fraca a moderada em um intervalo de duração de aproximadamente 20 minutos a 4 horas (Quad. 4.1).

As características de intensidade e duração não possuem ligação, pois em um curto tempo, a visibilidade pode diminuir drasticamente e, em um tempo mais longo, a visibilidade pode se manter inalterada, o que torna sua ocorrência ainda mais perigosa a todos os tipos de transportes.

Com base no quadro 4.1, os eventos de nevoeiro que se formam próximo ou após o nascer do sol, normalmente reduzem pouco a visibilidade. Já aqueles que se formam com um pouco mais de antecedência ao nascer do sol possuem um potencial maior para redução da visibilidade horizontal, implicando em nevoeiros mais densos.

Quadro 4.1 – Características dos eventos de nevoeiro ocorridos entre 2002-2007 (exceto 2006), no Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares, Maceió – AL.

Data	Nascer-Pôr	Hora 1ª Obs.	Duração (h)	Visib. Mín. (m)	Intensidade
12/04/2002	5:30-17:18	6:19	0,68	700	Fraca
11/07/2002	5:44-17:13	5:30	0,50	800	Fraca
12/07/2002	5:44-17:13	6:00	1,00	900	Fraca
01/06/2003	5:36-17:05	1:00	1,00	500	Moderada
02/06/2004	5:36-17:05	4:19	0,68	650	Fraca
21/05/2005	5:33-17:05	0:42	0,30	300	Moderada
14/07/2005	5:44-17:13	1:18	1,91	200	Moderada
26/07/2007	5:43-17:16	4:19	3,68	200	Moderada

É importante relatar que, por padrão, as observações são realizadas a cada hora, utilizando-se de observações especiais em mudanças significativas do tempo. Mesmo assim, a inclusão de observações especiais não garante acompanhar o nevoeiro do começo ao fim. Por isso, sua duração pode ser maior ou menor do que aquelas apresentadas no quadro 4.1.

Nas secções seguintes serão estudadas as condições que contribuem para formação do nevoeiro, por meio da análise de dados observados, produtos numéricos e imagens de satélite.

#### 4.1.1 Nevoeiro Ocorrido em 12 de Abril de 2002

##### 4.1.1.1 Dados Observados

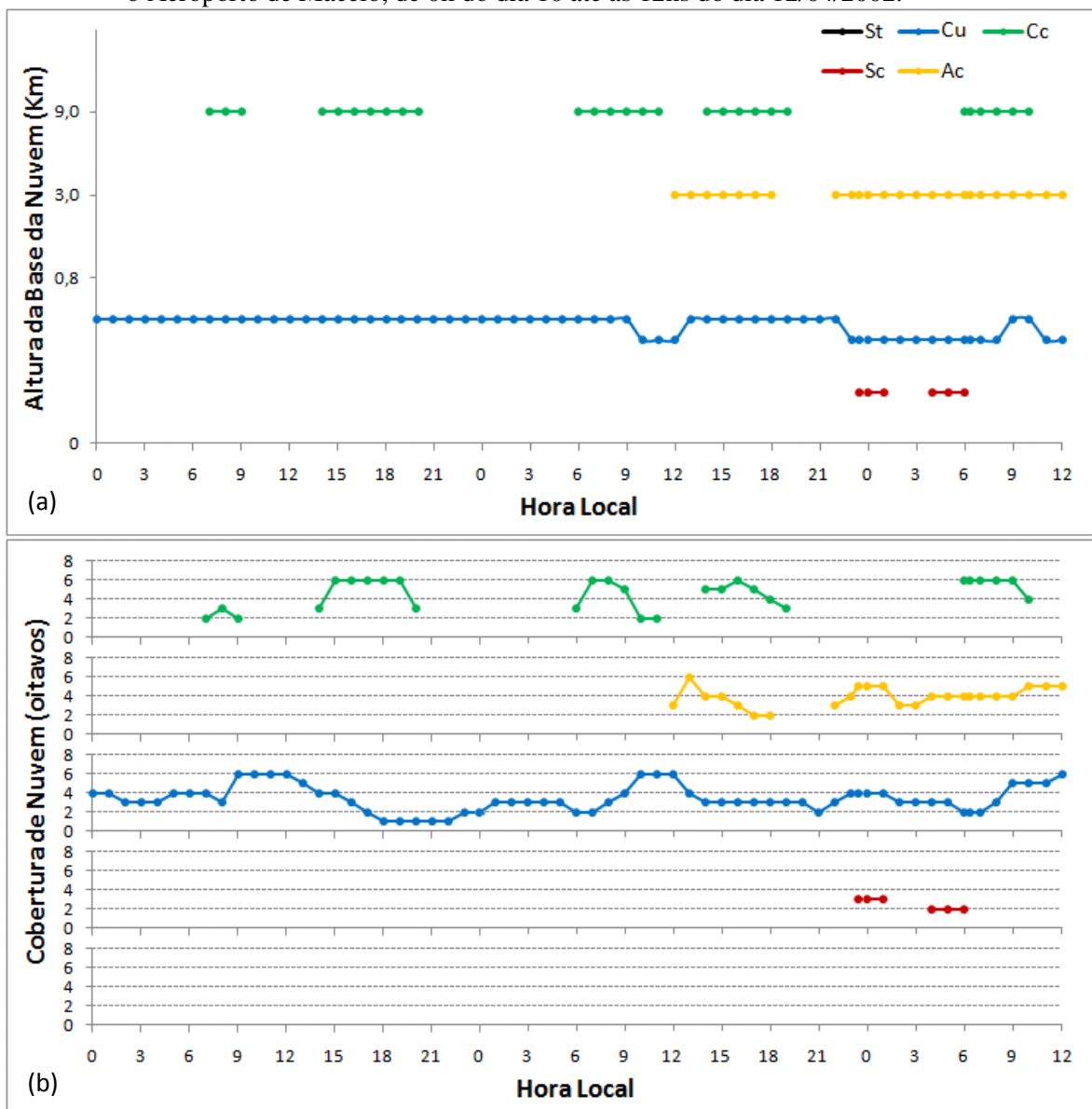
A partir da P1 até P2m, observou-se apenas nuvens altas e baixas, oriundas de sul e de leste, respectivamente. A partir de P2t, nuvens altocumulus foram observadas advindas de sul.



Antecedendo a formação do nevoeiro, três camadas de nuvens foram observadas: stratocumulus, cumulus e altocumulus, com suas bases em 250 m, 500 m e 3 km (Fig. 4.9a).

Quando o nevoeiro atingiu intensidade máxima, foi observado 2/8 de nuvens cumulus, 4/8 de nuvens altocumulus e 6/8 de nuvens cirrocumulus. A cobertura de nuvens total média diária foi de 4, 5 e 5 para P1, P2 e P3, respectivamente. Mesmo antes da ocorrência de nevoeiro o céu já estava de parcialmente nublado a nublado. Curiosamente, nota-se que as nuvens do tipo cumulus possuem sua cobertura máxima entre 9h e 12h da manhã (Fig. 4.9b).

Figura 4.9 – Dados horários de altura da base das nuvens (a) e cobertura de nuvens (oitavos) (b) sobre o Aeroporto de Maceió, de 0h do dia 10 até as 12hs do dia 12/04/2002.



Durante todo período de análise, somente houve precipitação na P2-3, três horas antes da formação do nevoeiro. Utilizando-se dos limites de umidade específica (não apresentado) encontrados para névoa úmida, haveria condições para redução de visibilidade em todos os períodos noturnos da análise (Fig. 4.10a).

Após a ocorrência da chuva, a visibilidade aumentou de 5 km para 15 km (às 6h). Em apenas 19 minutos (6h e 19min), a visibilidade foi drasticamente reduzida de 15 km para 700 m (Fig. 4.10b), dando origem a um nevoeiro de intensidade fraca, com céu visível e duração aproximada de 41 minutos (Quad. 4.1).

Utilizando-se dos limites de temperatura do ar, todos os períodos noturnos estariam passíveis de redução de visibilidade. Notadamente, o nevoeiro somente ocorreria enquanto houvesse resfriamento ou leve aumento de temperatura devido ao nascer do sol.

A análise da taxa de resfriamento foi dividida em duas partes. A primeira se estende das 15 horas (período de maior aquecimento) até as 21 horas, e a segunda se estende das 21 horas até a primeira observação de nevoeiro. O motivo que levou a análise parcial das taxas de resfriamento foi devido ao conhecimento prévio de que a taxa de queda de temperatura é mais acentuada na primeira, tornando-se necessário o conhecimento da taxa de arrefecimento noturno, que antecede a formação do nevoeiro, na segunda. A taxa de resfriamento do ar entre 15-21h foi  $0,85^{\circ}\text{C}/\text{h}$ . E a que antecede a formação do nevoeiro foi  $0,13^{\circ}\text{C}/\text{h}$ .

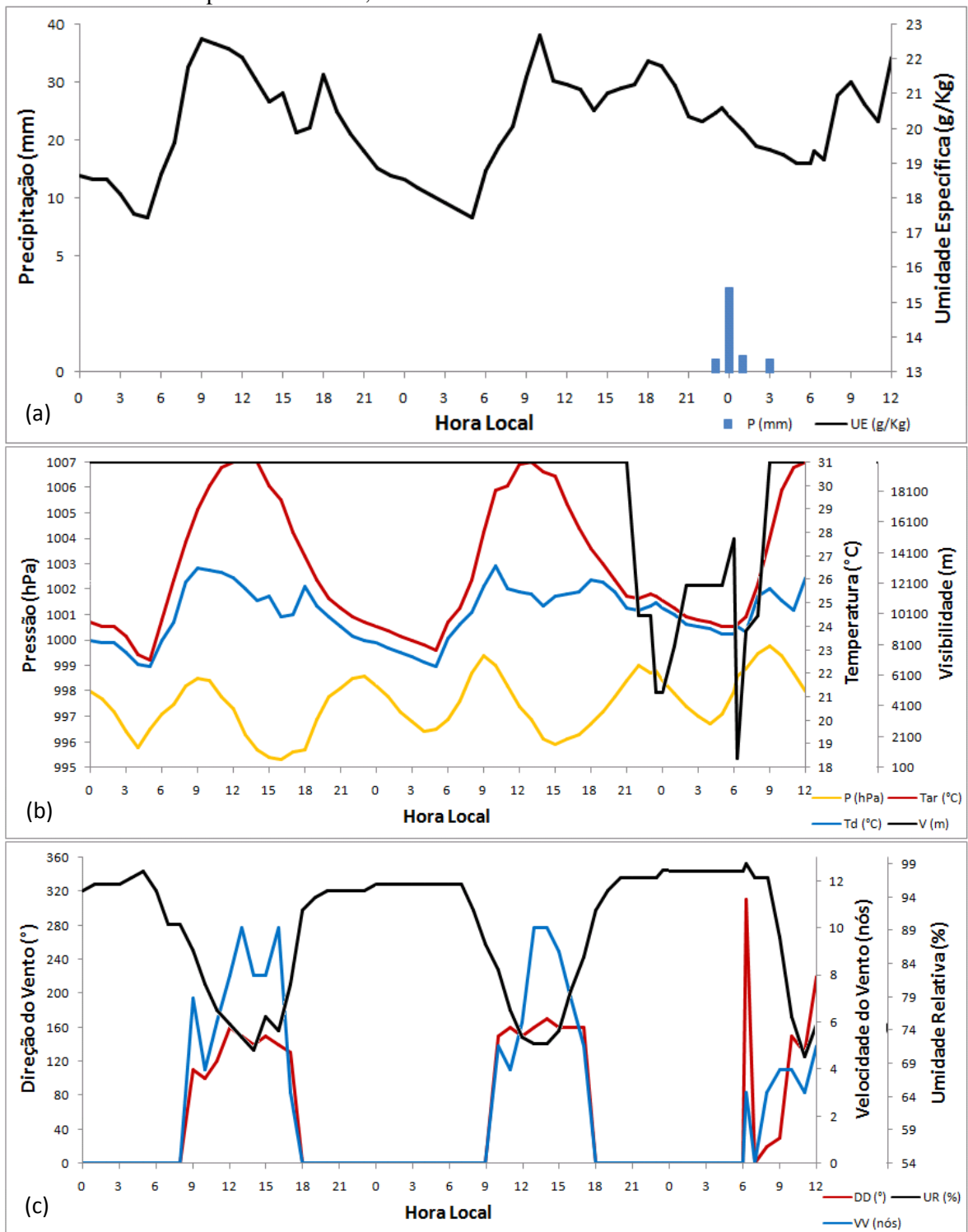
Os limites encontrados para pressão (não apresentado) favoreceriam a redução da visibilidade nos instantes próximos aos seus máximos. Os valores de temperatura do ar e pressão no instante em que o nevoeiro atingiu visibilidade mínima foram  $24,1^{\circ}\text{C}$  e  $998,6\text{hPa}$ .

Umidade acima de 95% somente foi observada na P1A e a partir da noite que antecedeu o nevoeiro. No período de análise, a umidade do ar não atingiu saturação, nem mesmo durante o nevoeiro, onde a umidade relativa máxima foi 99% (Fig. 4.10c).

Calmaria foi observada em todos os períodos noturnos da análise. No momento em que foi observada a visibilidade mínima, a direção e a velocidade do vento foram  $310^{\circ}$  (NO) e 3 nós (Fig. 4.10c).

Os limites encontrados na seção 4.1 somente se interceptaram, ou foram encontrados ao mesmo tempo, instantes antes da formação do nevoeiro. Os limites supracitados se mostraram úteis para identificação de redução de visibilidade neste caso em particular.

Figura 4.10 – Dados horários de precipitação e umidade específica (a), pressão, temperatura do ar, do ponto de orvalho e visibilidade (b), direção e velocidade do vento e umidade relativa (c) do Aeroporto de Maceió, de 0h do dia 10 até as 12hs do dia 12/04/2002.

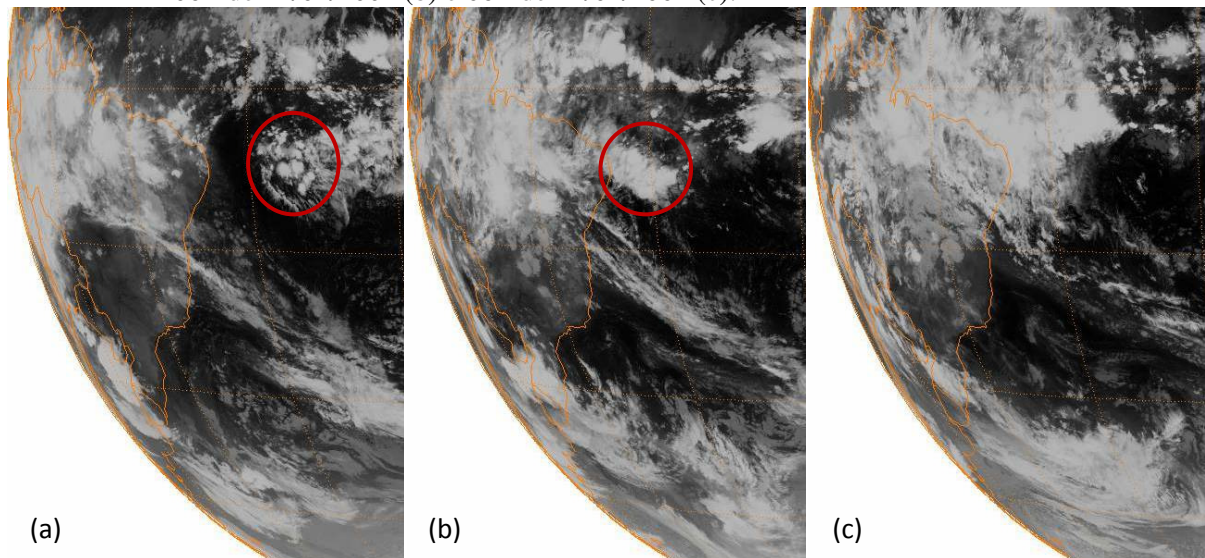


#### 4.1.1.2 Situação Sinótica

Desde a P1 que se estabelecia uma zona frontal com fraco gradiente de temperatura, a sudoeste da América do Sul (Fig. 4.11). A existência de anticiclone mais ao sul da zona frontal provavelmente atrapalhou sua intensificação. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) somente exerceu influência sobre a costa norte do nordeste brasileiro.

Nas imagens abaixo, nota-se uma banda de nebulosidade se deslocando em direção ao setor norte da costa leste do nordeste brasileiro, como indicado pelo círculo vermelho (Fig. 4.11a,b). Ao atingir a costa, primeiramente a nebulosidade entrou em processo dissipativo e, a partir da P2B, voltou a desenvolver nuvens, abrangendo uma grande área (Fig. 4.11c).

Figura 4.11 – Imagem do satélite METEOSAT-7 no canal infravermelho às 06Z de 10/04/2002 (a), 06Z de 11/04/2002 (b) e 06Z de 12/04/2002 (c).



Fonte: GIBBS/NOAA.

Em baixos níveis, foram predominantes ventos alísios com difluência sobre o NEB oriental, durante todo o período de análise (Fig. 4.12), mas com curvatura ciclônica antecedendo o nevoeiro (Fig. 4.12c). Com os dados de TSM média, observa-se que as costas leste e norte do NEB estavam banhadas por águas quentes, com temperatura acima de 28°C.

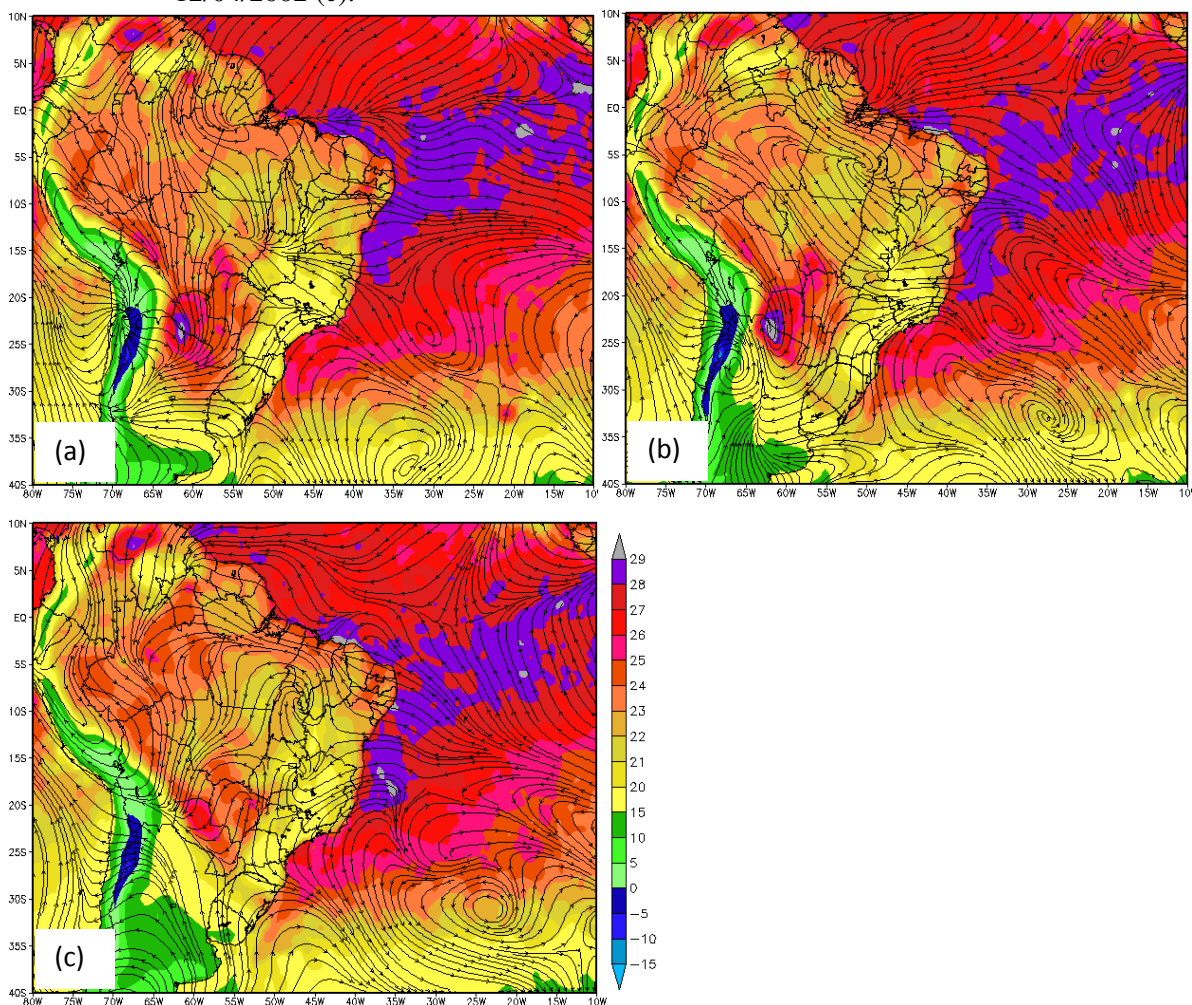
Da P1 para P3, a temperatura média do mar litorâneo, bem como a temperatura mínima registrada no aeroporto, estava aumentando. O contraste noturno máximo de temperatura entre o aeroporto e o litoral maceioense ( $T$  mínima - TSM média), distância de 21,5 km entre os dois pontos, foi para os três dias 6,2, 6,0 e 5,2, respectivamente (Tab. 4.2).

Tabela 4.2 – Temperatura mínima e máxima do ar no aeroporto e temperatura média diária da superfície do mar (-9,62°S e -35,62°W), para 10, 11 e 12/04/2002. Anomalia em parênteses.

Data	10/04/2002		11/04/2002		12/04/2002	
Hora	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
T2m	22,6	31,0	23,0	31,0	24,0	31,0
TSM	28,8 (+0,58)		29,0 (+0,74)		29,2 (+0,97)	

Fonte: TSM média diária (NESDIS) e T2m (dados observacionais do aeroporto).

Figura 4.12 – Linhas de corrente em 925hPa, temperatura da superfície terrestre em 2m e temperatura média diária do mar às 06Z de 10/04/2002 (a), 06Z de 11/04/2002 (b) e 06Z de 12/04/2002 (c).

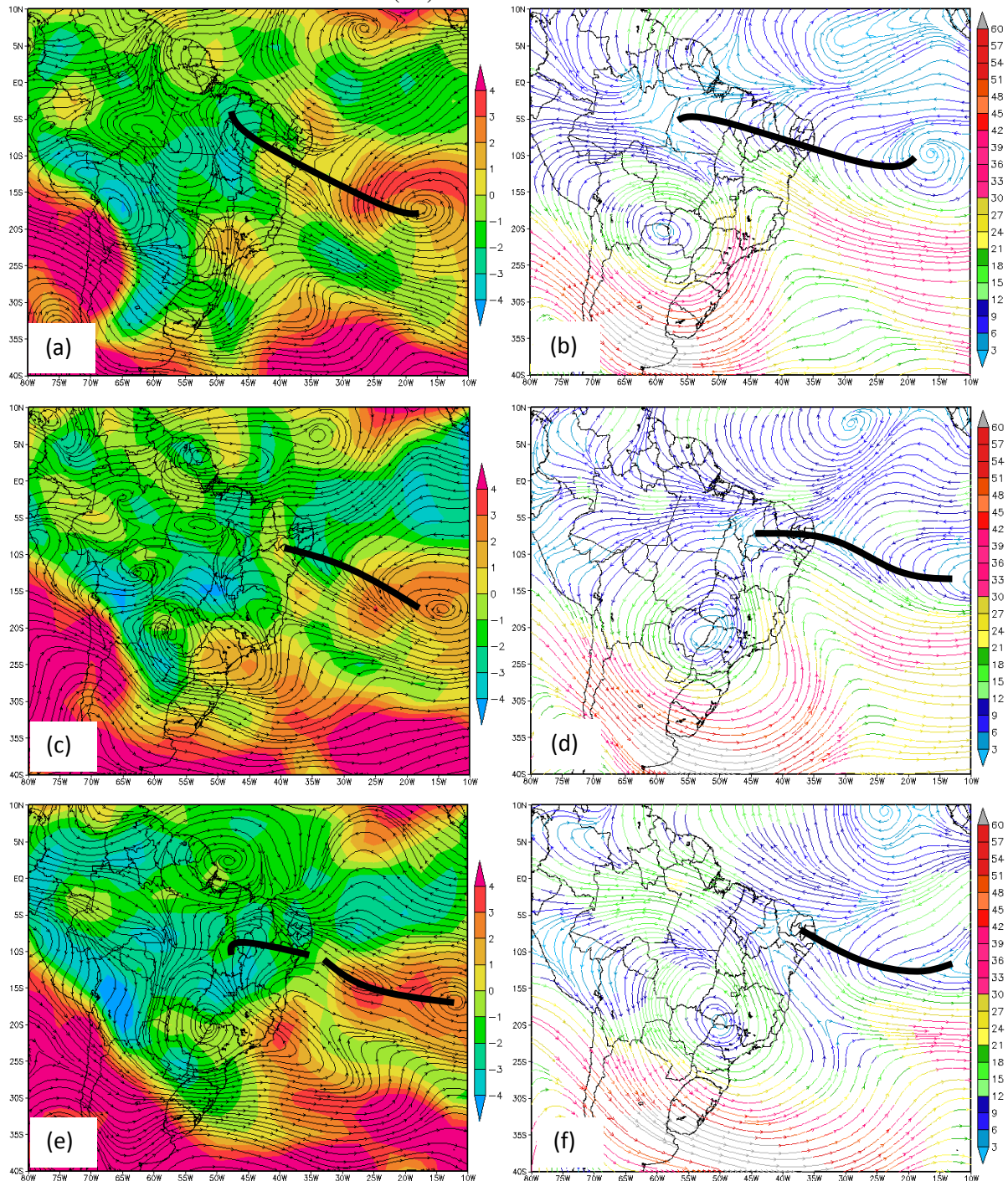


Fonte: LC (NCEP/DOE II); T2m (ECMWF); TSM média diária (NESDIS).

Durante todo período de análise, Alagoas esteve principalmente sob influência da crista do anticiclone situado sobre o oceano atlântico sul em médios (Fig. 4.13a,c,e) e altos níveis (Fig. 4.13b,d,f), como indicado pela curva preta.

Nas três cartas, no nível de 500hPa (Figs. 4.13a,c,e), nota-se que as extremidades das cristas estiveram associadas com os menores valores de instabilidade, dados por LI. Da P1 para P3, conforme a crista estava se posicionando sobre Alagoas, foi observado um aumento no grau de instabilidade, que foram de convecção rasa a profunda (0,6, -2,6 e -1,4).

Figura 4.13 – Linhas de corrente em 500hPa e índice LI (Lifted Index) (esquerda) e linhas de corrente e magnitude do vento em 200hPa (direita) para o dia 10 (a-b), dia 11 (c-d) e dia 12 de Abril de 2002 às 06UTC (e-f).

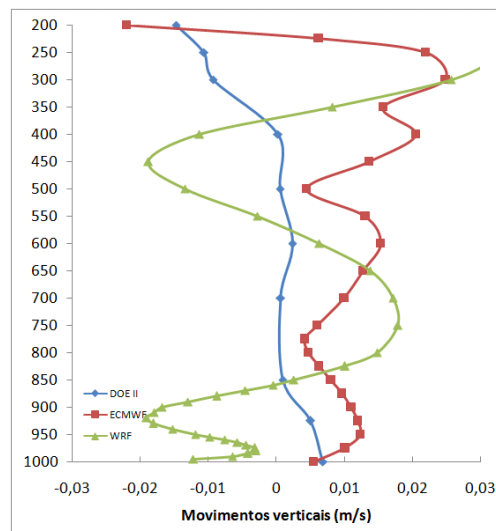


Fonte: NCEP/DOE II.

Dentre todos os perfis de movimentos verticais, os que mais se assemelharam foram os modelos NCEP/DOE II e ECMWF (Fig. 4.14). Ambos apresentaram fracos movimentos ascendentes em níveis baixos e médios. A diferença pode ser vista em altos níveis, onde NCEP/DOE II apresentou movimentos descendentes em 300-200hPa e ECMWF somente em 200hPa. O modelo WRF apresentou quatro momentos de movimentos verticais. Em baixos níveis foi descendente (entre 1000-870hPa), em médios níveis pode ser vista uma combinação entre ascendente (entre 850-600hPa) e descendente (entre 550-400hPa) e em altos níveis foi observado ascendência.

Estima-se que a curvatura ciclônica em baixos e a influência anticiclônica em médios níveis possam estar associadas com movimentos ascendentes e a anticiclônica em altos níveis pode estar associada com movimentos descendentes, com base semelhança entre os modelos.

Figura 4.14 – Perfil dos movimentos verticais (m/s) às 06UTC de 12/04/2002 elaborado para o Aeroporto de Maceió pelos modelos NCEP/DOE II (azul), ECMWF (vermelho) e WRF (verde).



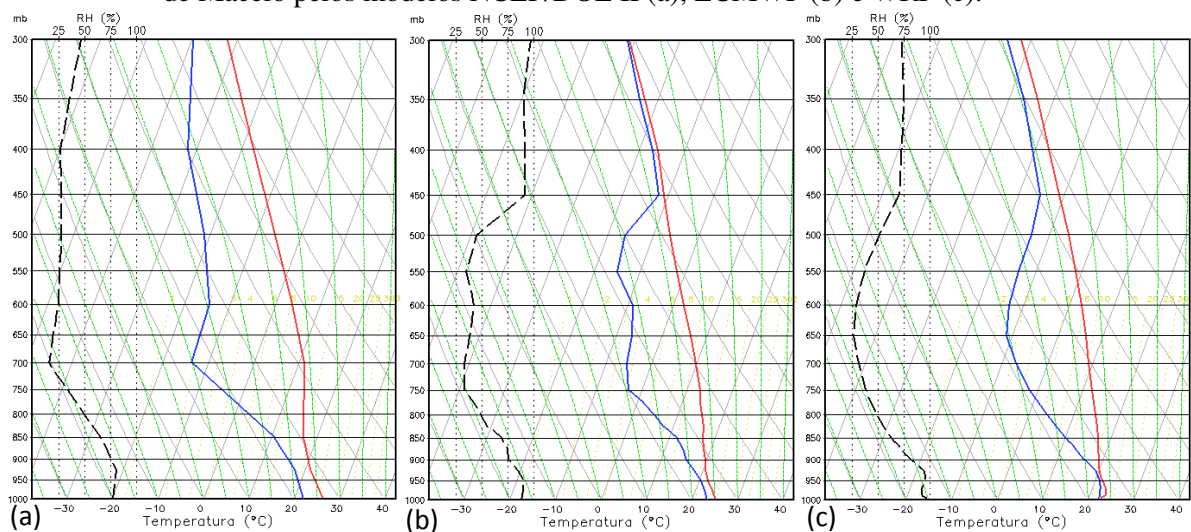
O perfil de temperatura e umidade que antecedeu a formação do nevoeiro pode ser visto na figura 4.15. Primeiramente, existe uma grande defasagem com relação à umidade, onde o observado em superfície foi 98% e os modelos apresentaram 77% (NCEP/DOE II) e 91% (ECMWF), como pode ser visualizado nas Figuras 4.15a-b. O modelo WRF (Fig. 4.15c) foi o que mais se aproximou da realidade, apresentando 99% de umidade em superfície.

Dentre os três modelos utilizados, somente o WRF apresentou inversão de temperatura com topo em 132 metros (985hPa), seguido por instabilidade condicional acima da inversão até 925hPa e camada mais seca e estável acima deste nível. Os modelos NCEP/DOE II e

ECMWF apresentaram instabilidade em baixos níveis, com camada mais seca e estável acima da camada instável. A camada instável se estendeu da superfície até 925hPa, para ECMWF e até 850hPa, para NCEP/DOE II.

Os maiores valores de CAPE+ foram encontrados para os perfis do modelo NCEP/DOE II (819 J/Kg) e ECMWF (1051 J/Kg). Provavelmente, ECMWF apresentou maior CAPE+, por causa da maior concentração de umidade em baixos níveis. O valor de CAPE+ calculado pelo WRF foi 390 J/Kg.

Figura 4.15 – Perfil de temperatura e umidade às 06UTC de 12/04/2002 elaborado para o Aeroporto de Maceió pelos modelos NCEP/DOE II (a), ECMWF (b) e WRF (c).



#### 4.1.2 Nevoeiro Ocorrido em 11 e 12 de Julho de 2002

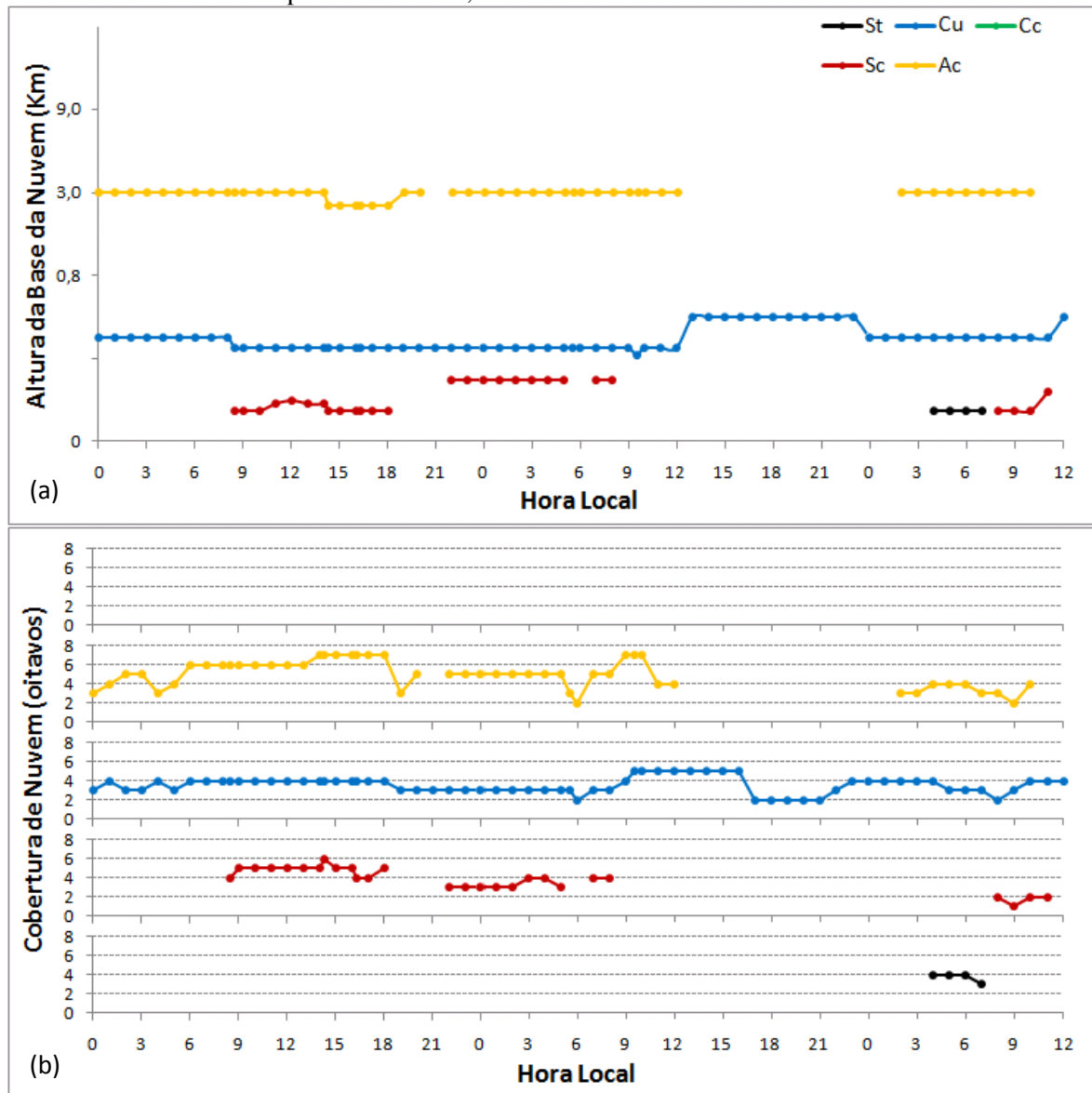
##### 4.1.2.1 Dados Observados

Durante todo período de análise foram registradas três camadas de nuvens: duas baixas (stratocumulus e cumulus) e uma média (altocumulus) (Fig. 4.16a). Nuvens do tipo stratocumulus, com base abaixo de 200m e cobertura de 5/8, já haviam sido observadas na P1 (Fig. 4.16b). Na P2A, Sua base foi elevada para 300 metros e sua cobertura reduzida para 3/8, antecedendo o nevoeiro. No momento que o nevoeiro foi observado (P2A), 3/8 do céu estava coberto por nuvens do tipo cumulus e 3/8 por altocumulus. Logo após o nascer do sol, nuvens stratocumulus foram novamente observadas a 300m, isso possivelmente indica que o nevoeiro não teve condições favoráveis para se manter em solo e se elevou rapidamente para níveis mais altos.



Antecedendo a formação do nevoeiro em P3m, além de nuvens cumulus e altocumulus, também foram registradas nuvens stratus, com base a 150 m de altura. Suas coberturas no momento da observação do nevoeiro foram 4/8 (St), 3/8 (Cu) e 4/8 (Ac). A cobertura total média diária para P1, P2 e P3 foram 6, 5 e 4, respectivamente.

Figura 4.16 – Dados horários de altura da base das nuvens (a) e cobertura de nuvens (oitavos) (b) sobre o Aeroporto de Maceió, de 0h do dia 10 até as 12hs do dia 12/07/2002.



A precipitação acumulada na P1 foi de 17,4 mm, onde a máxima foi de 5 mm às 10 horas (Fig. 4.17a). No período de chuva, a visibilidade variou entre 2-4 km.

O nevoeiro ocorrido na P2A se desenvolveu em meio a chuvas, ou seja, o nevoeiro foi precedido e sucedido pela precipitação. Embora isso ocorra, não há precipitação no momento

em que o nevoeiro foi observado. Precedendo o nevoeiro foi observado chuva leve de 0,2mm em 10 minutos, reduzindo a visibilidade para 8 km às 5h de P2A. Com a recessão da chuva, a visibilidade caiu de 8 km para 800 m, em apenas 30 minutos (5h e 30min).

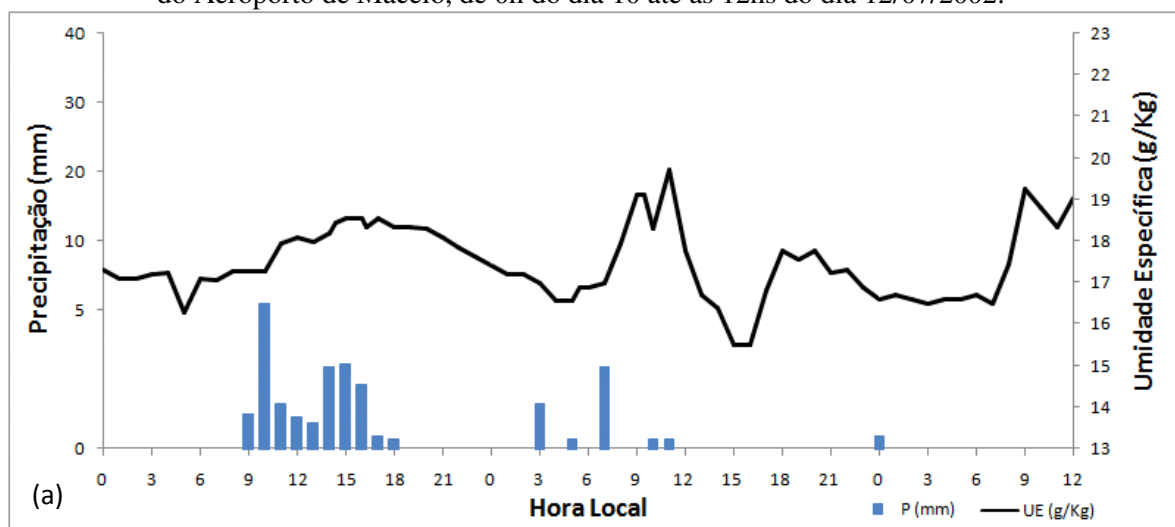
O nevoeiro ocorrido na P3m foi antecedido pela névoa úmida, que reduziu a visibilidade para 5 km, inicialmente a 0 hora, e para 3 km as 5 h. Em um intervalo de uma hora (às 6h), a visibilidade caiu de 3 km para 900 m (Fig. 4.17b). Em ambos os eventos foi possível observar o céu, indicando um nevoeiro raso.

Utilizando-se das condições de superfície que favorecem a névoa úmida, todos os períodos noturnos estariam passíveis de redução de visibilidade. Umidade acima de 95% foi observada desde P1. No período de análise, a umidade do ar não atingiu saturação, nem mesmo durante o nevoeiro. A umidade máxima, quando ambos os nevoeiros atingiram visibilidade mínima, foi 99% (P2A) e 98% (P3m) (Fig. 4.17c).

Ambos os nevoeiros ocorreram sob condições de calma e próximo do horário onde a temperatura do ar foi mínima. Os valores de temperatura e pressão associados à intensidade máxima do nevoeiro foram 22°C e 1003,6 hPa (P2A); 22°C e 1001,9 hPa (P3m).

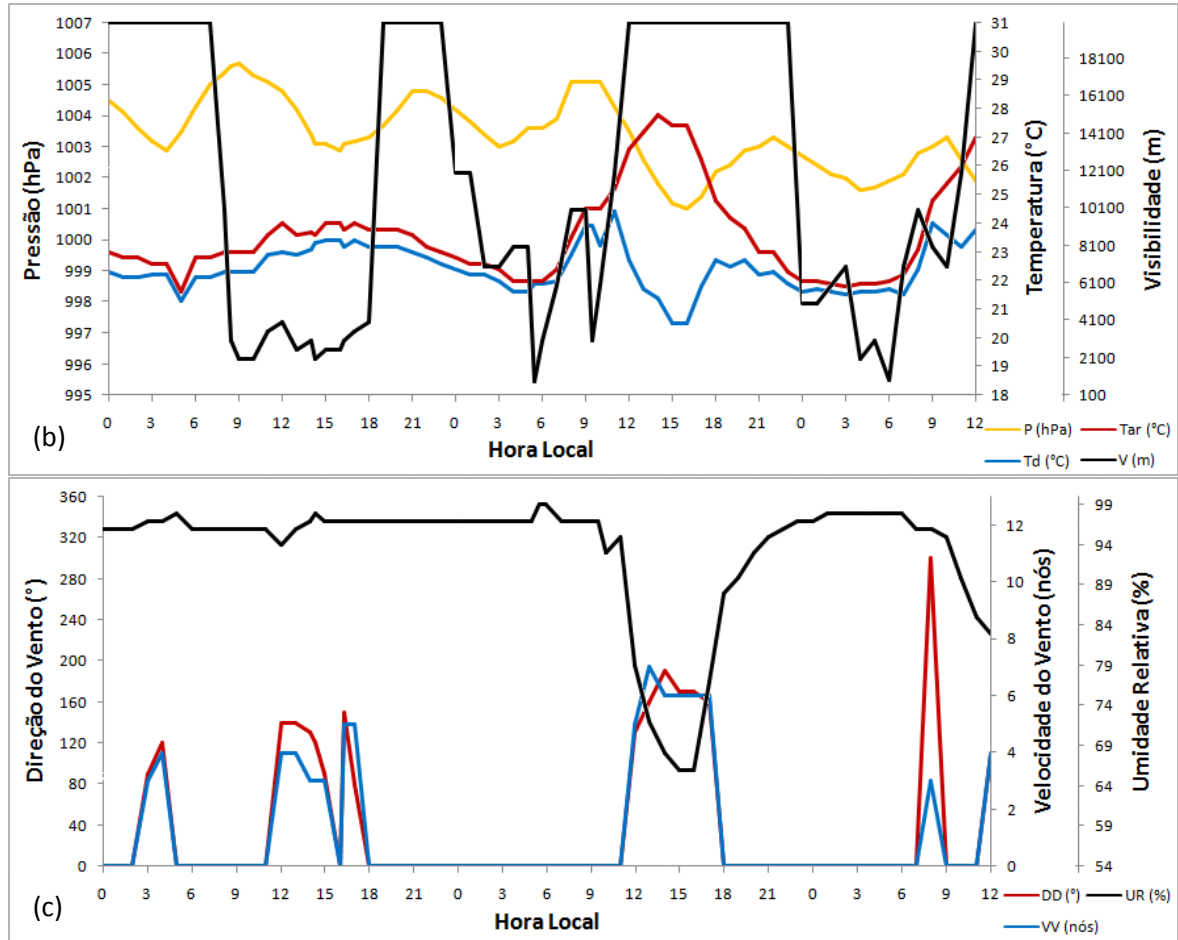
A taxa de resfriamento noturno antecedido o nevoeiro ocorrido na P2A foi de 0,06°C/h entre 15-21h e 0,2°C/h entre 21 e o início do nevoeiro. Já para o nevoeiro ocorrido na P3m as taxas que o antecedeu foram 0,73°C/h e 0,11°C/h.

Figura 4.17 – Dados horários de precipitação e umidade específica (a), pressão, temperatura do ar, do ponto de orvalho e visibilidade (b), direção e velocidade do vento e umidade relativa (c) do Aeroporto de Maceió, de 0h do dia 10 até as 12hs do dia 12/07/2002.



Continua Figura 4.17

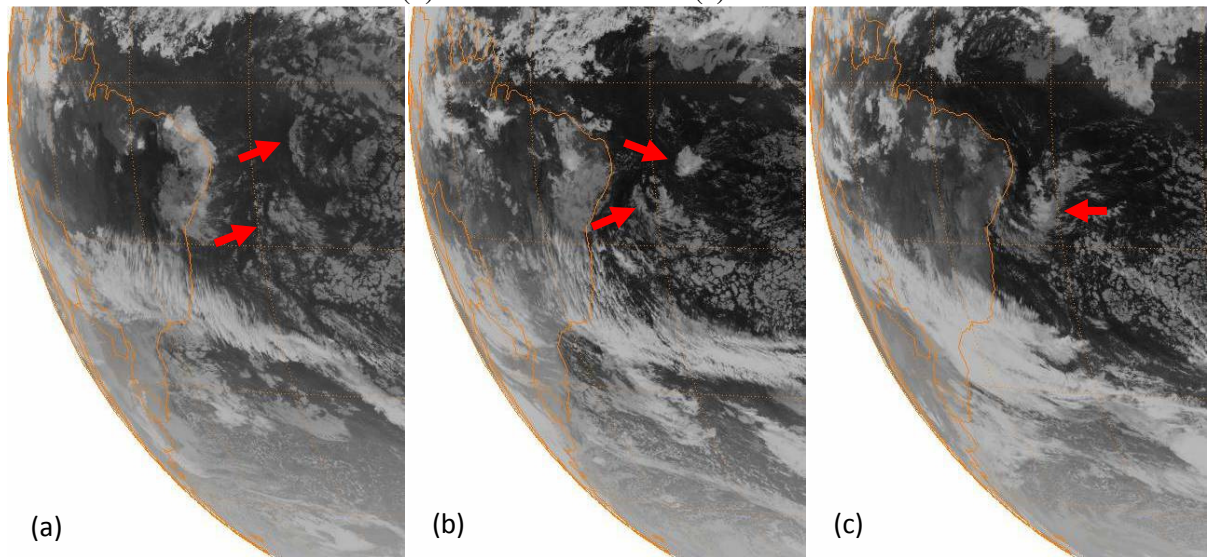
Conclusão Figura 4.17



#### 4.1.2.2 Situação Sinótica

Nas imagens de satélite da Figura 4.18, verifica-se que tanto a ZCIT, quanto a zona frontal não influenciaram o tempo no Estado de Alagoas. Nota-se uma aproximação frequente de nebulosidade advinda de Leste-Sudeste (conforme indicam as setas vermelhas), desde P1.

Figura 4.18 – Imagem do satélite METEOSAT-7 no canal infravermelho às 12Z de 10/07/2002 (a), 06Z de 11/07/2002 (b) e 06Z de 12/07/2002 (c).



Fonte: GIBBS/NOAA.

Em baixos níveis, verificam-se ventos alísios, com uma leve curvatura ciclônica em todo o período de análise (Fig. 4.19). A existência de curvatura ciclônica advinda de Sudeste remete ao sistema sinótico denominado Perturbação Ondulatória no campo dos ventos Alísios (POA), que normalmente está associado com precipitações no Estado de Alagoas.

A atuação deste sistema produziu uma precipitação acumulada de 17,4 mm na P1 (Fig. 4.19a) e 4,8 mm na P2 (Fig. 4.19b). Devido à permanência deste sistema, percebe-se que a POA também pode estar associada à ocorrência de nevoeiros (Fig. 4.19c).

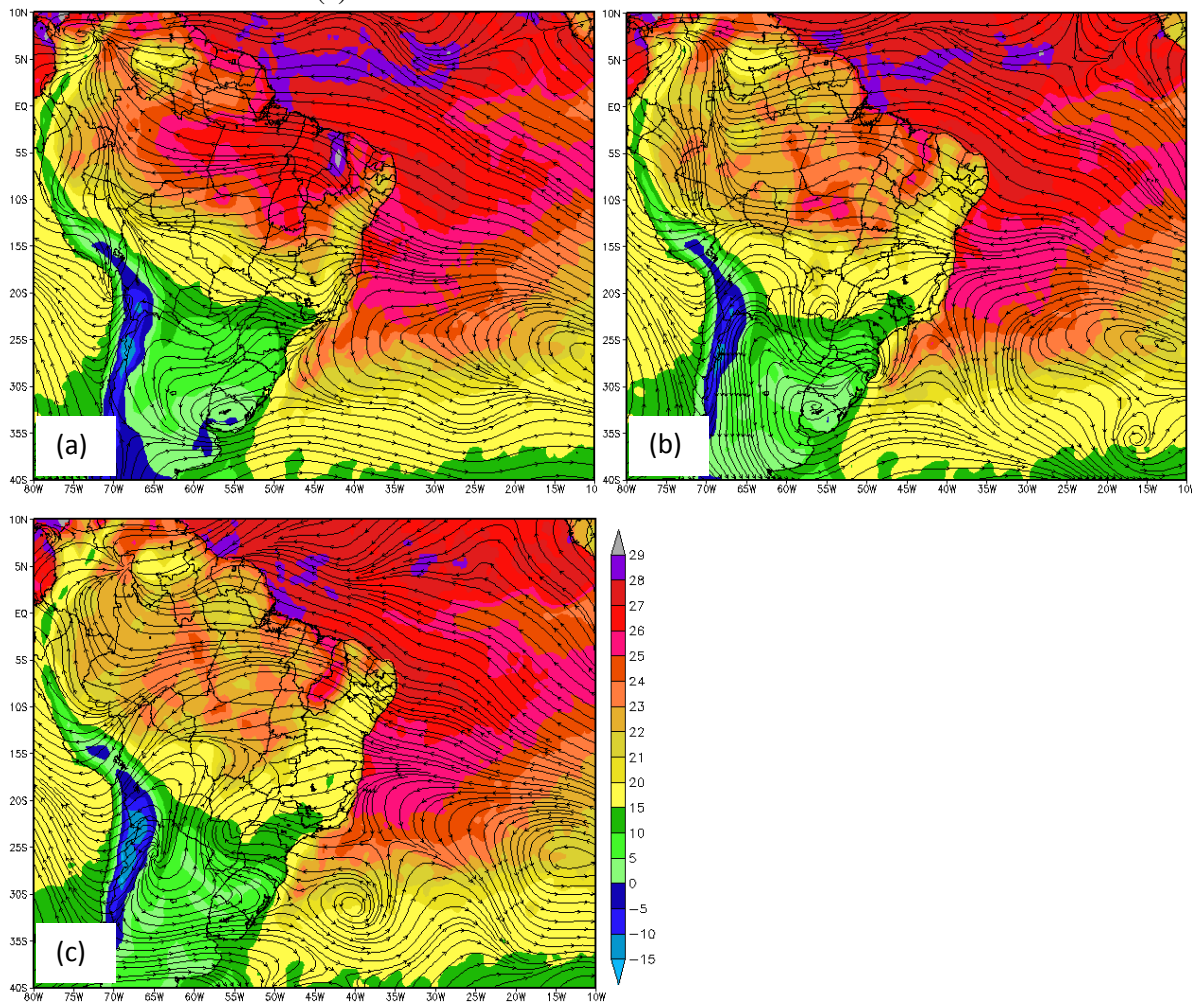
Com base nos dados de TSM média, observa-se que a costa alagoana esteve banhada por águas quentes, com temperatura acima de 26°C. Da P1 para P3, a temperatura média do mar litorâneo estava aumentando. O contraste noturno máximo de temperatura entre o aeroporto e o litoral maceioense ( $T$  mínima - TSM média), foi para os três dias 3,8, 4,4, 4,4 e 5,4, respectivamente (Tab. 4.3).

Tabela 4.3 – Temperatura mínima e máxima do ar no aeroporto e temperatura média diária da superfície do mar ( $-9,62^{\circ}\text{S}$  e  $-35,62^{\circ}\text{W}$ ), para 9, 10, 11 e 12/07/2002. Anomalia em parênteses.

Data	09/07/2002		10/07/2002		11/07/2002		12/07/2002	
Hora	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
T2m	21,9	29,4	21,6	24,0	22,0	27,8	21,4	27,5
TSM	25,7 (-0,92)		26,0 (-0,63)		26,4 (-0,20)		26,8 (+0,28)	

Fonte: TSM média diária (NESDIS) e T2m (dados observacionais do aeroporto).

Figura 4.19 – Linhas de corrente em 925hPa, temperatura da superfície terrestre em 2m e temperatura média diária do mar às 12Z de 10/07/2002 (a), 06Z de 11/07/2002 (b) e 06Z de 12/07/2002 (c).



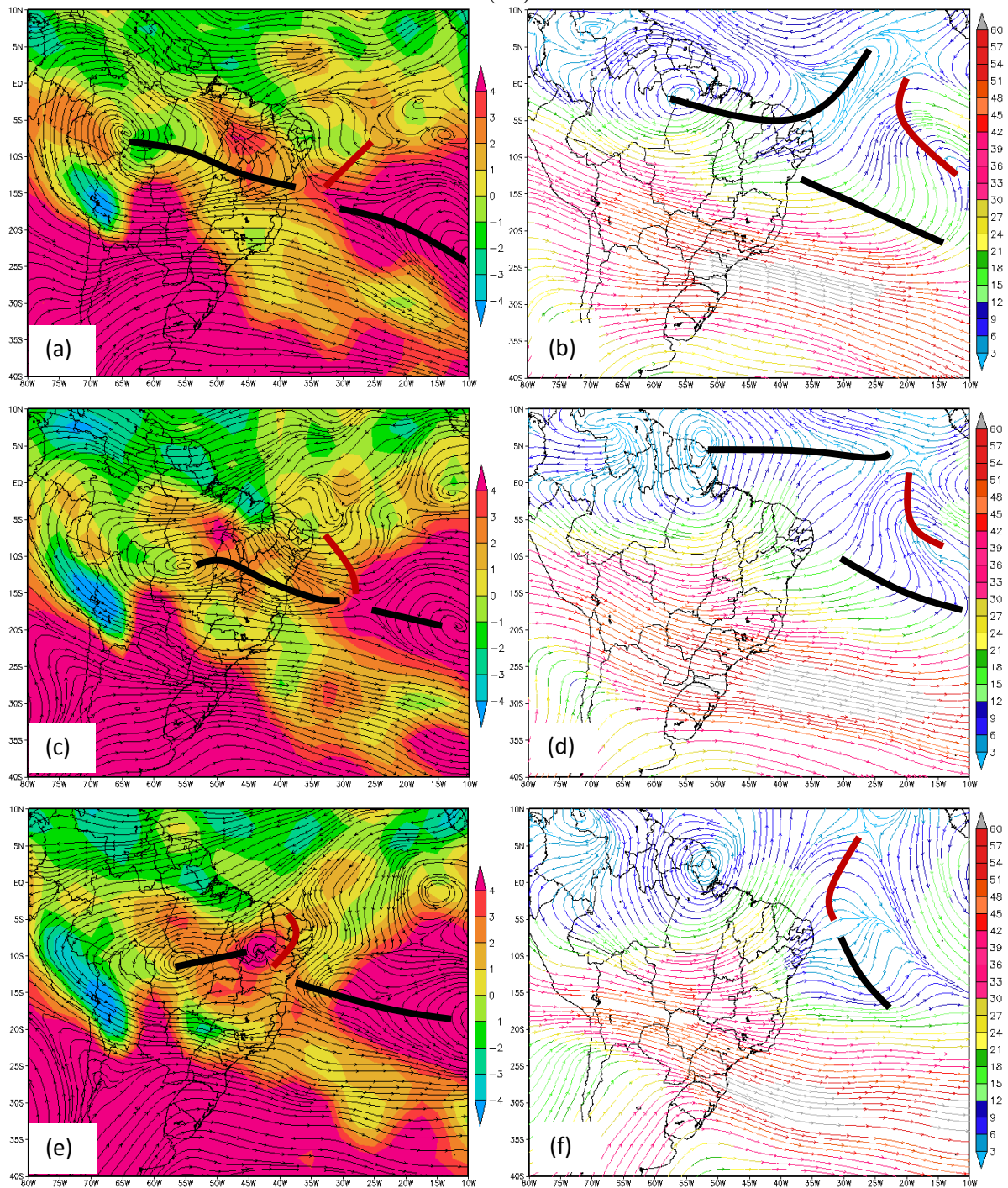
Fonte: LC (NCEP/DOE II); T2m (ECMWF); TSM média diária (NESDIS).

Entre P1 e P2 (Figs. 4.20a,c), havia confluência dos ventos sobre Alagoas, em 500hPa. Essa região de confluência se desenvolveu devido à presença de um cavado a leste do NEB (curva vermelha) e uma crista do anticiclone situado sobre o continente (curva preta). Somente na P3 (Fig. 4.20e), o cavado se posicionou sobre o setor norte da costa leste do NEB.

Por meio do índice de instabilidade LI, nota-se que tanto a extremidade da crista, quanto o cavado e a região de confluência dos ventos estiveram ligados a possibilidade de convecção rasa (Fig. 4.20a,c,e). Os valores calculados para P1, P2 e P3 foram 0,7, 1,7 e 0,1, respectivamente.

Em altos níveis, foi identificada circulação anticiclônica, com difluência dos ventos na costa leste do NEB durante todo o período de análise (Figs. 4.20b,d,f).

Figura 4.20 – Linhas de corrente em 500hPa e índice LI (Lifted Index) (esquerda) e linhas de corrente e magnitude do vento em 200hPa (direita) para o dia 10 às 12UTC (a-b), dia 11 (c-d) e dia 12 de Julho de 2002 às 06UTC (e-f).



Fonte: NCEP/DOE II.

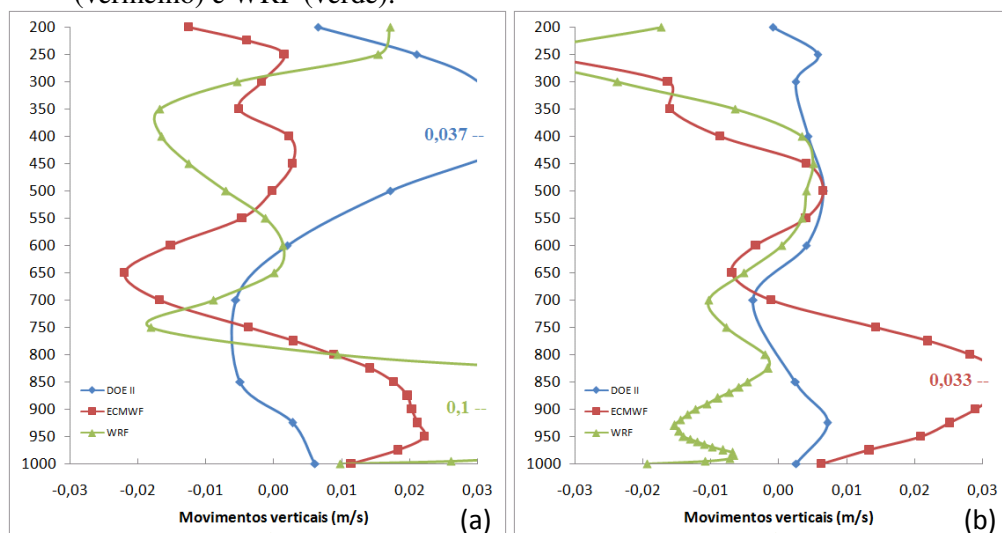
Os movimentos verticais associados ao nevoeiro ocorrido na P2A foram coincidentes com os modelos ECMWF e WRF (Fig. 4.21a). Ambos apresentaram movimentos ascendentes em baixos (entre 1000-800 hPa) e descendentes em médios e altos níveis (entre 750-300 hPa).

O modelo NCEP/DOE II (Fig. 4.21a) somente apresentou movimentos descendentes na camada entre 850-700 hPa.

Os movimentos verticais indicam que a ascendência em baixos níveis foi devido à curvatura ciclônica, o que também coincidiu com índice de instabilidade LI, que apresentou possibilidade de convecção rasa. A descendência teria sido causada pela confluência dos ventos em médios, mas, em altos níveis (200hPa), a influência anticiclônica com difluência dos ventos teria causado ascendência, com base nos modelos NCEP/DOE II e WRF (Figs. 4.21a).

Cada modelo apresenta uma configuração particular com relação aos movimentos verticais associados ao nevoeiro ocorrido na P3m. Com base nos modelos NCEP/DOE II e ECMWF, estima-se que a permanência do cavado em baixos níveis tenha provocado movimentos ascendentes na camada entre 1000-800hPa (Figs. 4.21b), seguido por descendência do ar até 600hPa. Com base nos três modelos (Fig. 4.21b), estima-se que posicionamento do cavado em médios níveis tenha provocado ascendência do ar na camada entre 600-400hPa. Em oposto aos movimentos verticais associados à difluência dos ventos em altos no dia anterior (Figs. 4.21a), na P3A a difluência provocou descendência do ar.

Figura 4.21 – Perfil dos movimentos verticais (m/s) às 06UTC de 11/07/2002 (a) e 12/07/2002 (b) elaborado para o Aeroporto de Maceió pelos modelos NCEP/DOE II (azul), ECMWF (vermelho) e WRF (verde).



Em todos os perfis verticais, é possível observar uma camada de instabilidade atmosférica em baixos níveis, com uma camada estável e relativamente mais seca acima. A camada de instabilidade para o modelo NCEP/DOE II (Figs. 4.22a,d) se estende da superfície

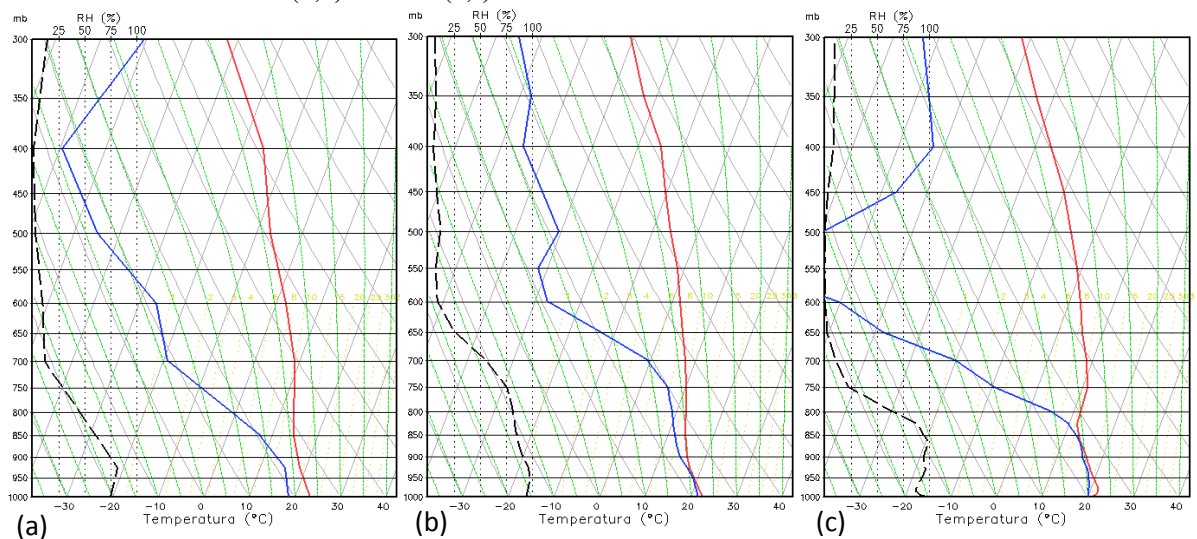
até 850 hPa e para ECMWF (Figs. 4.22b,e), da superfície até 900 hPa, para ambos eventos de nevoeiro. A camada de instabilidade para o modelo WRF se encontra acima do topo da inversão térmica e se estende até 850 hPa, nos dois casos. Na P2A (Fig. 4.22c), o topo da inversão esteve em 184 m, e na P3m (Fig. 4.22f), o topo da inversão esteve em 125 m.

A grande diferença entre os perfis está na umidade. Os valores de umidade próxima a superfície pelos dados do NCEP/DOE II, ECMWF e WRF foram 75%, 94% e 97%, para o nevoeiro ocorrido em P2A, respectivamente figuras 4.22a,b,c. O observado para esse caso foi 97%. Para o nevoeiro ocorrido em P3m, os valores de umidade apresentados pelos modelos foram 86%, 98% e 98%, respectivamente figuras 4.24d,e,f. O observado para o caso foi 98%.

Os valores de CAPE+ calculado para o horário próximo aos eventos nevoeiros pelos modelos ECMWF e WRF reduziram da P2 para P3. Onde ECMWF reduziu de 349 J/Kg para 185 J/Kg e WRF reduziu de 39 J/Kg para 0 J/Kg. Somente NCEP/DOE II aumentou de 0 J/Kg para 304 J/Kg.

Os modelos ECMWF e WRF apresentaram bons valores de umidade, mas os valores de CAPE+ geram incertezas. Os valores de CAPE+ têm grande importância neste estudo de nevoeiro, pois, como foi visto até agora, os nevoeiros se desenvolveram sob condições de instabilidade em baixos níveis (perfil temperatura) e possibilidade de convecção rasa (LI).

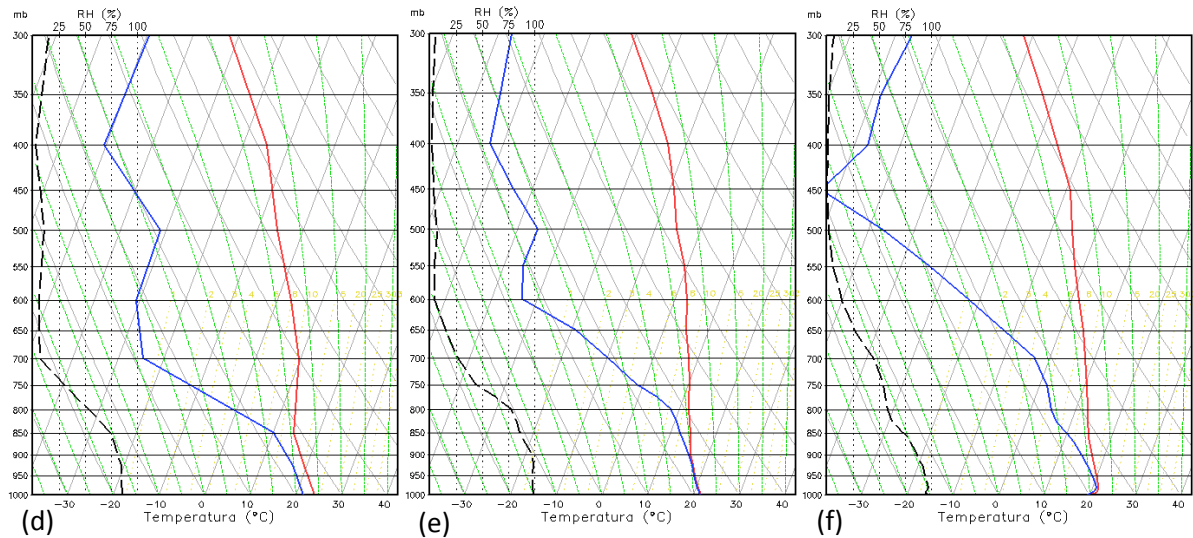
Figura 4.22 – Perfil de temperatura e umidade às 06UTC de 11/07/2002 (superior) e 12/07/2002 (inferior) elaborado para o Aeroporto de Maceió pelos modelos NCEP/DOE II (a,d), ECMWF (b,e) e WRF (c,f).



Continua Figura 4.22



### Conclusão Figura 4.22



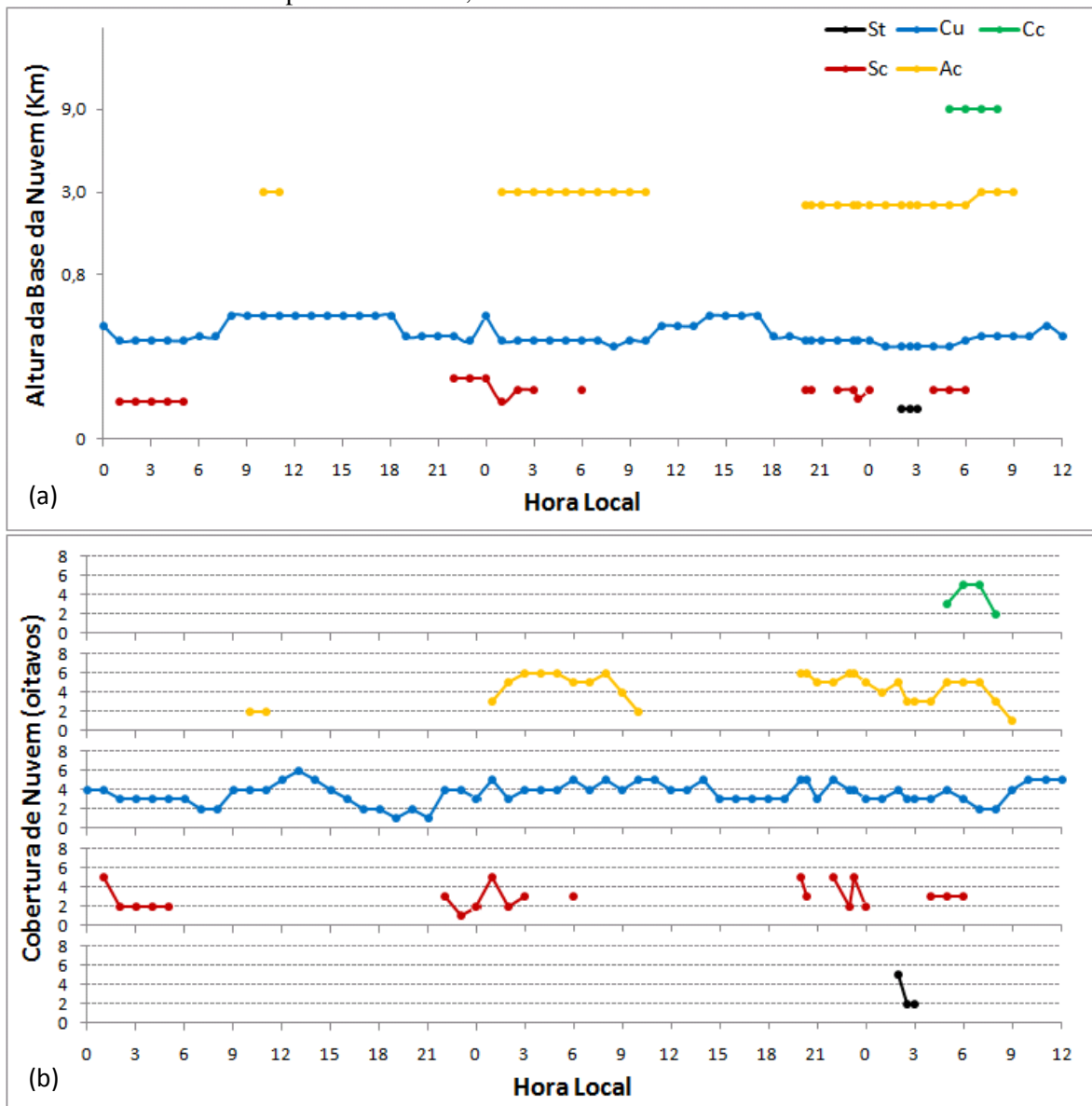
#### 4.1.3 Nevoeiro Ocorrido em 01 de Junho de 2003

##### 4.1.3.1 Dados Observados

Durante todo período de análise foram observadas nuvens baixas, médias e altas. Sendo que as nuvens do tipo stratus e cirrocumulus somente foram observadas na P3. Nuvens do tipo stratocumulus estavam sendo observadas desde P1, sempre no período noturno. Sua base, na maior parte do tempo, esteve abaixo de 250 m. Antecedendo a formação do nevoeiro, três camadas de nuvens foram observadas: stratocumulus, cumulus e altocumulus, com suas bases em 240 m, 480 m e 2700 m (Fig. 4.23a).

Quando o nevoeiro atingiu visibilidade mínima, 3/8 do céu estava coberto por nuvens cumulus e 4/8 por altocumulus (Fig. 4.23b). Com a dissipação do nevoeiro, foi observado nuvens stratus a 150m de altura, com indicação de elevação do nevoeiro. A cobertura total média diária para P1, P2 e P3 foram 4, 5 e 6, respectivamente.

Figura 4.23 – Dados horários de altura da base das nuvens (a) e cobertura de nuvens (oitavos) (b) sobre o Aeroporto de Maceió, de 0h do dia 30/05/2003 até as 12hs do dia 01/06/2003.



Na Figura. 4.24a, nota-se que as chuvas ocorreram preferencialmente durante o período noturno. Na P2A-m, o acumulado registrado foi 9,1 mm, oscilando a visibilidade entre 2 km e 15 km.

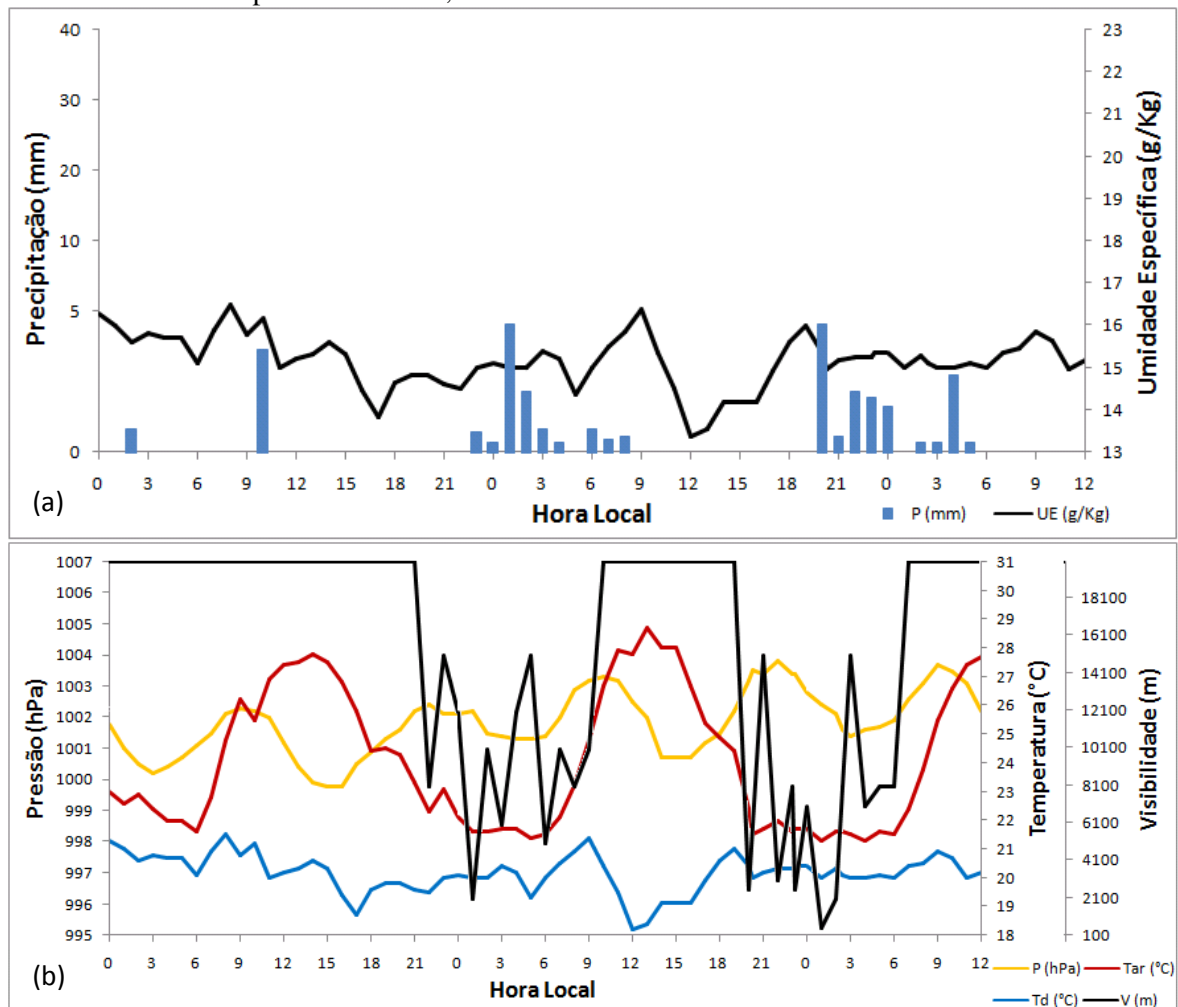
O nevoeiro ocorrido na P3A se desenvolveu em meio a chuvas; precedido e sucedido por precipitação. Embora isso ocorra, não há precipitação no momento em que o nevoeiro foi observado.

O acumulado registrado foi 8,1 mm entre a P2B até antes do início do nevoeiro, reduzindo a visibilidade para até 2500 m. A observação que antecedeu o nevoeiro registrou chuva moderada de 1,4mm em 10 minutos.

Após o término das chuvas, a visibilidade caiu de 7 km para 500 m, em um intervalo de uma hora, dando origem a um nevoeiro de intensidade moderada e céu visível (Fig. 4.24b).

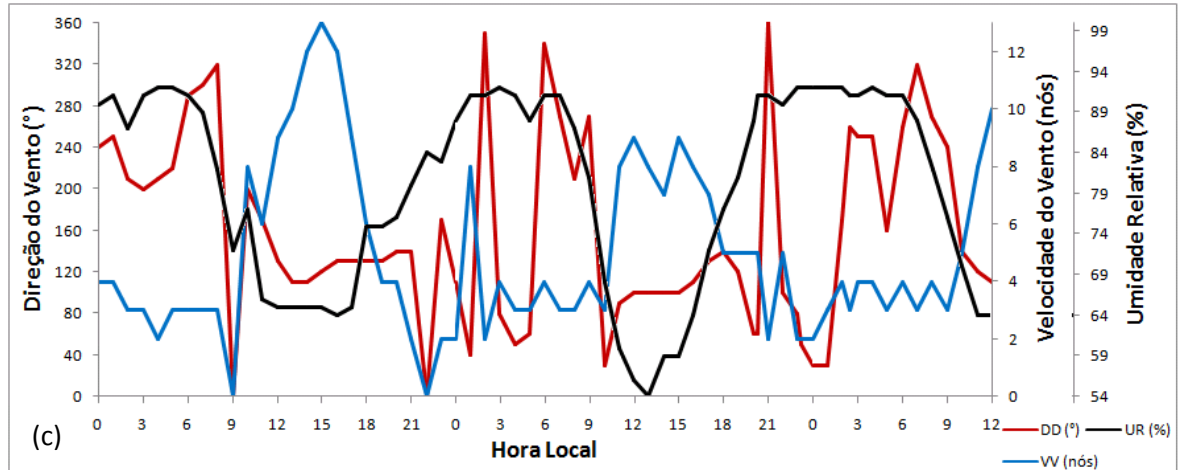
Mesmo durante a ocorrência de nevoeiro, a umidade relativa não ultrapassou 92%. A direção e a velocidade do vento variaram continuamente durante todo o período da análise, mas, no momento em que o nevoeiro atingiu visibilidade mínima, a direção e a velocidade do vento foram 30° (NE) e 3nós (Fig. 4.24c). Os valores de temperatura do ar e pressão, quando o nevoeiro atingiu intensidade máxima, foram 21,3°C e 1002,4 hPa. A taxa de resfriamento do ar entre 15-21h foi 1,0°C/h. E aquela antecedente a formação do nevoeiro foi 0,1°C/h.

Figura 4.24 – Dados horários de precipitação e umidade específica (a), pressão, temperatura do ar, do ponto de orvalho e visibilidade (b), direção e velocidade do vento e umidade relativa (c) do Aeroporto de Maceió, de 0h do dia 30/05/2003 até as 12hs do dia 01/06/2003.



Continua Figura 4.24

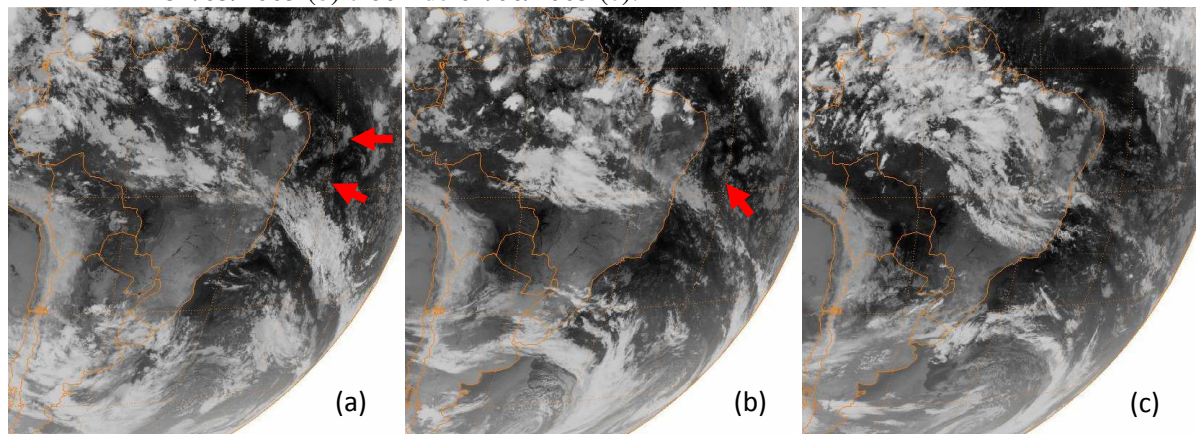
## Conclusão Figura 4.24



## 4.1.3.2 Situação Sinótica

P1 foi um dia com pouca nebulosidade, predominando cumulus de bom tempo (Fig. 4.23), conforme também pode ser visto na imagem de satélite (Fig. 4.25a). Da P1 para P3, a zona frontal já estava em processo de dissipação devido à entrada de outro sistema frontal no sul do Brasil. Nota-se um aglomerado de nuvens se deslocando em direção ao setor norte da costa leste do NEB, advindas de Leste-Sudeste (setas vermelhas).

Figura 4.25 – Imagem do satélite GOES-12 no canal infravermelho às 06Z de 30/05/2003 (a), 06Z de 31/05/2003 (b) e 00Z de 01/06/2003 (c).



Fonte: GIBBS/NOAA.

A nebulosidade que se desloca em direção a costa do NEB, vista nas imagens de satélite, esteve associada aos ventos alísios com leve curvatura ciclônica e escoamento difluente, em todo o período de análise (Fig. 4.26). A existência de curvatura ciclônica advinda de Sudeste remete ao sistema sinótico denominado POA.

Ao se aproximar da costa, a nebulosidade encontrou condições favoráveis para sua manutenção como águas mais quentes e alta umidade. A atuação deste sistema provocou uma precipitação acumulada de 9,1 mm na P1-2 e 12,9 mm na P2-3.

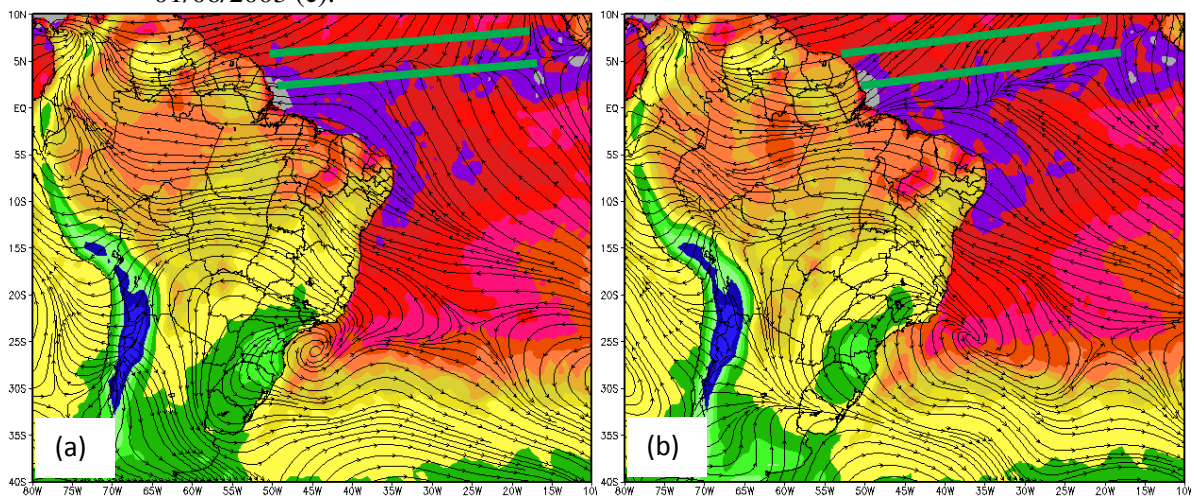
Com base nos dados de TSM média, observa-se que a costa alagoana esteve banhada por águas quentes, com temperatura próximo de 28°C. A temperatura média do mar litorâneo se reduziu nas vinte e quatro horas que antecede o nevoeiro (P2 para P3). O contraste noturno máximo de temperatura entre o aeroporto e o litoral maceioense foi para os três dias 6,3, 7,0 e 6,8, respectivamente (Tab. 4.4).

Tabela 4.4 – Temperatura mínima e máxima do ar no aeroporto e temperatura média diária da superfície do mar (-9,62°S e -35,62°W), para 30-31/05 e 1/06/2003. Anomalia em parênteses.

Data	30/05/2003		31/05/2003		01/06/2003	
Hora	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
T2m	21,6	27,8	21,4	28,7	21,3	27,7
TSM	27,9 (+0,36)		28,4 (+0,85)		28,1 (+0,62)	

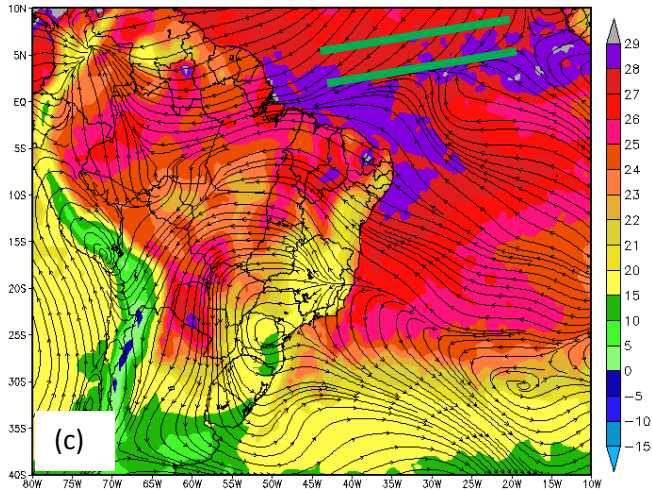
Fonte: TSM média diária (NESDIS) e T2m (dados observacionais do aeroporto).

Figura 4.26 Linhas de corrente em 925hPa, temperatura da superfície terrestre em 2m e temperatura média diária do mar às 06Z de 30/05/2003 (a), 06Z de 31/05/2003 (b) e 00Z de 01/06/2003 (c).



Continua Figura 4.26

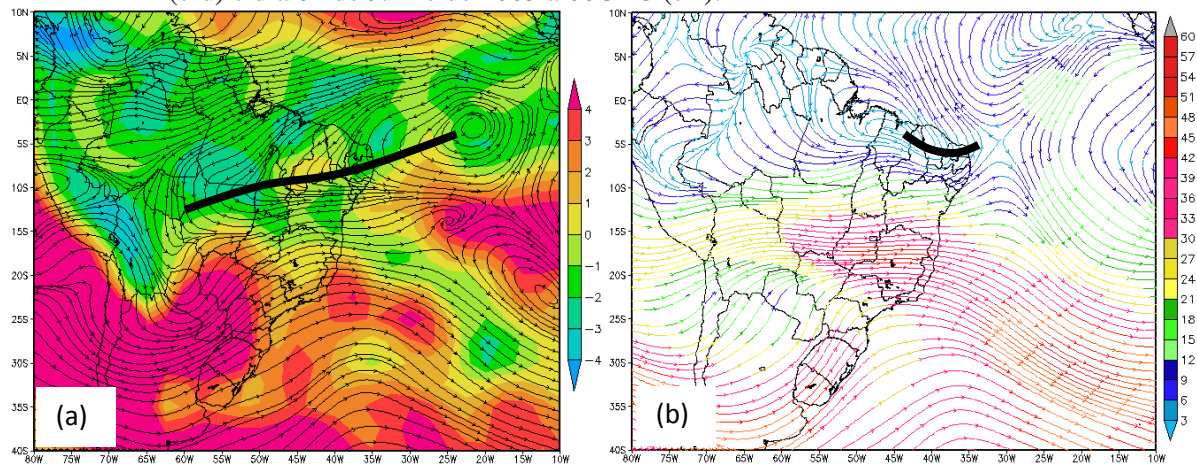
## Conclusão Figura 4.26



Fonte: LC (NCEP/DOE II); T2m (ECMWF); TSM média diária (NESDIS).

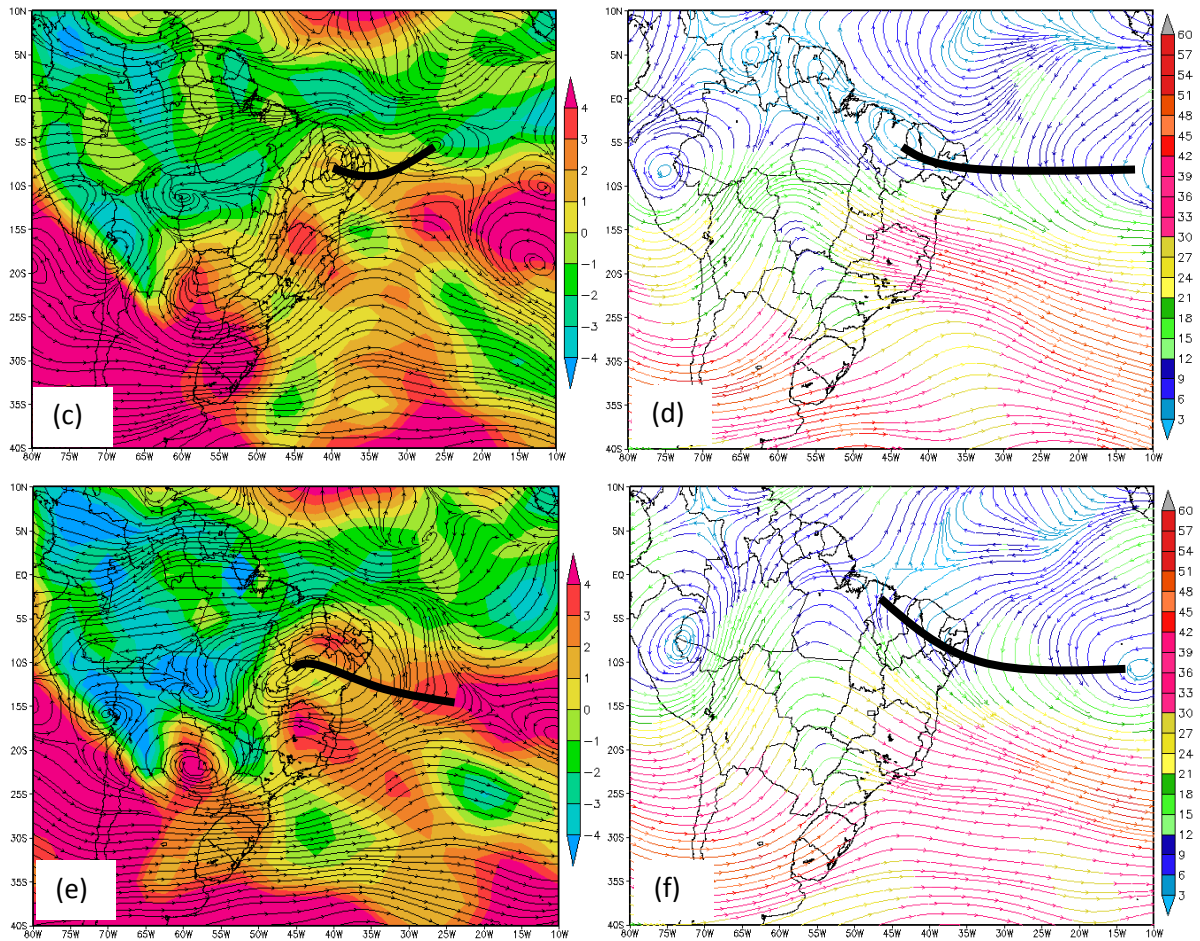
Em todo o período de análise, Alagoas esteve sob influência do anticiclone (curva preta) em médios e altos níveis (Fig. 4.27). A região próxima a costa leste do NEB, onde a nebulosidade se desenvolvia e se deslocava para a costa, o índice LI apresentou possibilidade de convecção rasa, cujos valores para P1, P2 e P3 foram 0,2, 1,5 e 1,8, respectivamente. Sobre Alagoas, o índice variou de possibilidade de convecção profunda (LI= -0,8 para P1) para sem atividade convectiva significativa (LI= 2,5), antecedendo o nevoeiro.

Figura 4.27 – Linhas de corrente em 500hPa e índice LI (Lifted Index) (esquerda) e linhas de corrente e magnitude do vento em 200hPa (direita) para o dia 30 (a-b), dia 31 de Maio às 06UTC (c-d) e dia 01 de Junho de 2003 à 00UTC (e-f).



Continua Figura 4.27

Conclusão Figura 4.27

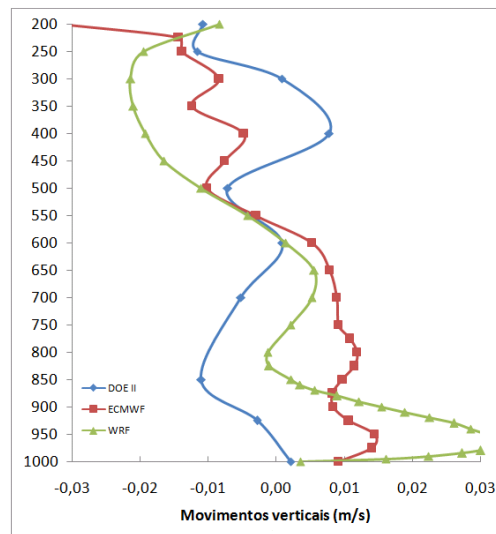


Fonte: NCEP/DOE II.

Dentre todos os perfis de movimentos verticais, os que mais se assemelharam foram os modelos ECMWF e WRF (Fig. 4.28). Em geral, ambos apresentaram fracos movimentos ascendentes na camada entre 1000-600 hPa e descendentes entre 550-200 hPa. O modelo NCEP/DOE II apresentou movimentos verticais distintos dos outros dois modelos, apenas mostrando semelhanças pontuais, como ascendência no nível 1000 hPa e descendência nos níveis 500 hPa e 200hPa.

Estima-se que o padrão de movimentos verticais, que melhor representou as condições sinóticas foi apresentado pelos modelos ECMWF e WRF. Os ventos alísios com curvatura ciclônica em baixos podem estar associados com movimentos ascendentes, enquanto que a influência anticiclônica em médios e altos níveis pode estar associada à descendência do ar.

Figura 4.28 – Perfil dos movimentos verticais (m/s) à 00UTC de 01/06/2003 elaborado para o Aeroporto de Maceió pelos modelos NCEP/DOE II (azul), ECMWF (vermelho) e WRF (verde).



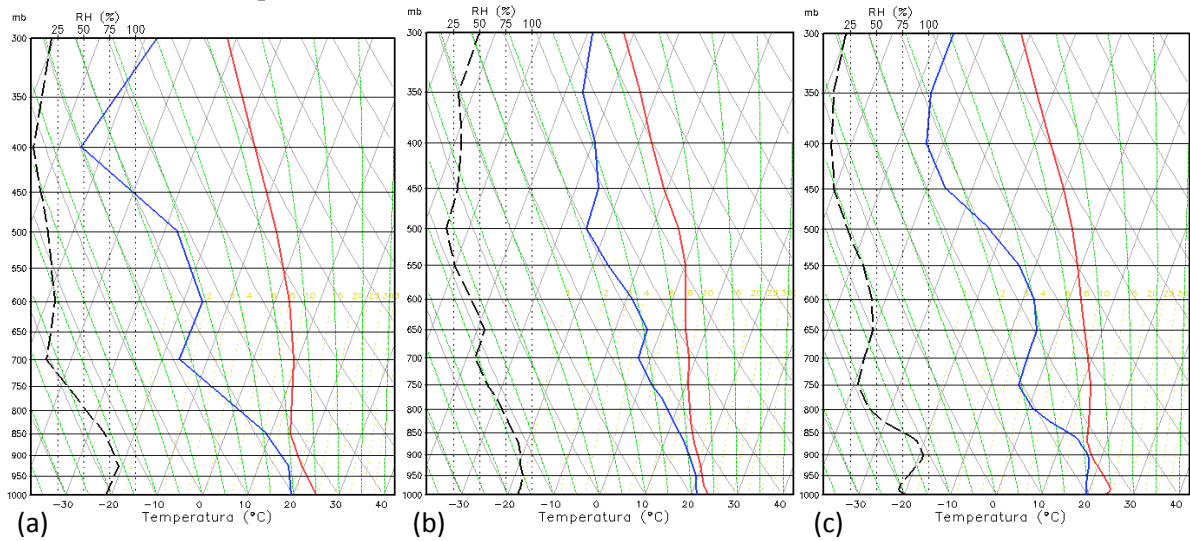
No geral, todos os perfis apresentam as mesmas condições de instabilidade atmosférica, que é instabilidade condicional da superfície até 850 hPa, seguido por uma camada mais seca e estável logo acima. A exceção pode ser vista no modelo WRF, pois a camada de instabilidade se encontra acima do topo da inversão térmica, que está a aproximadamente 135 m (990 hPa) (Fig. 4.29c).

No entanto, a umidade apresentada no primeiro nível do modelo NCEP/DOE II (Fig. 4.29a) não condiz com realidade (73%), onde o observado em superfície foi 91%. Os modelos ECMWF e WRF também apresentaram baixa umidade no primeiro nível do perfil vertical (respectivamente 86% e 79%), mas em superfície os valores coincidiram com a realidade, onde WRF apresentou 91% de umidade e ECMWF apresentou 90%.

O maior valor de CAPE+ foi encontrado para o perfil do modelo ECMWF (219 J/kg). Os valores de CAPE+ calculados pelos modelos NCEP/DOE II e WRF foram 66 J/kg e 29 J/kg, respectivamente. Como os perfis de temperatura são semelhantes, o baixo valor de CAPE+ do NCEP/DOE II foi devido à baixa umidade no primeiro nível do modelo. Apesar de haver maior umidade no WRF, a existência de inversão gerou baixo valor de CAPE+. Para ECMWF a ausência de inversão térmica promoveu o maior valor de CAPE+ entre os modelos.



Figura 4.29 – Perfil de temperatura e umidade à 00UTC de 01/06/2003 elaborado para o Aeroporto de Maceió pelos modelos NCEP/DOE II (a), ECMWF (b) e WRF (c).



#### 4.1.4 Nevoeiro Ocorrido em 02 de Junho de 2004

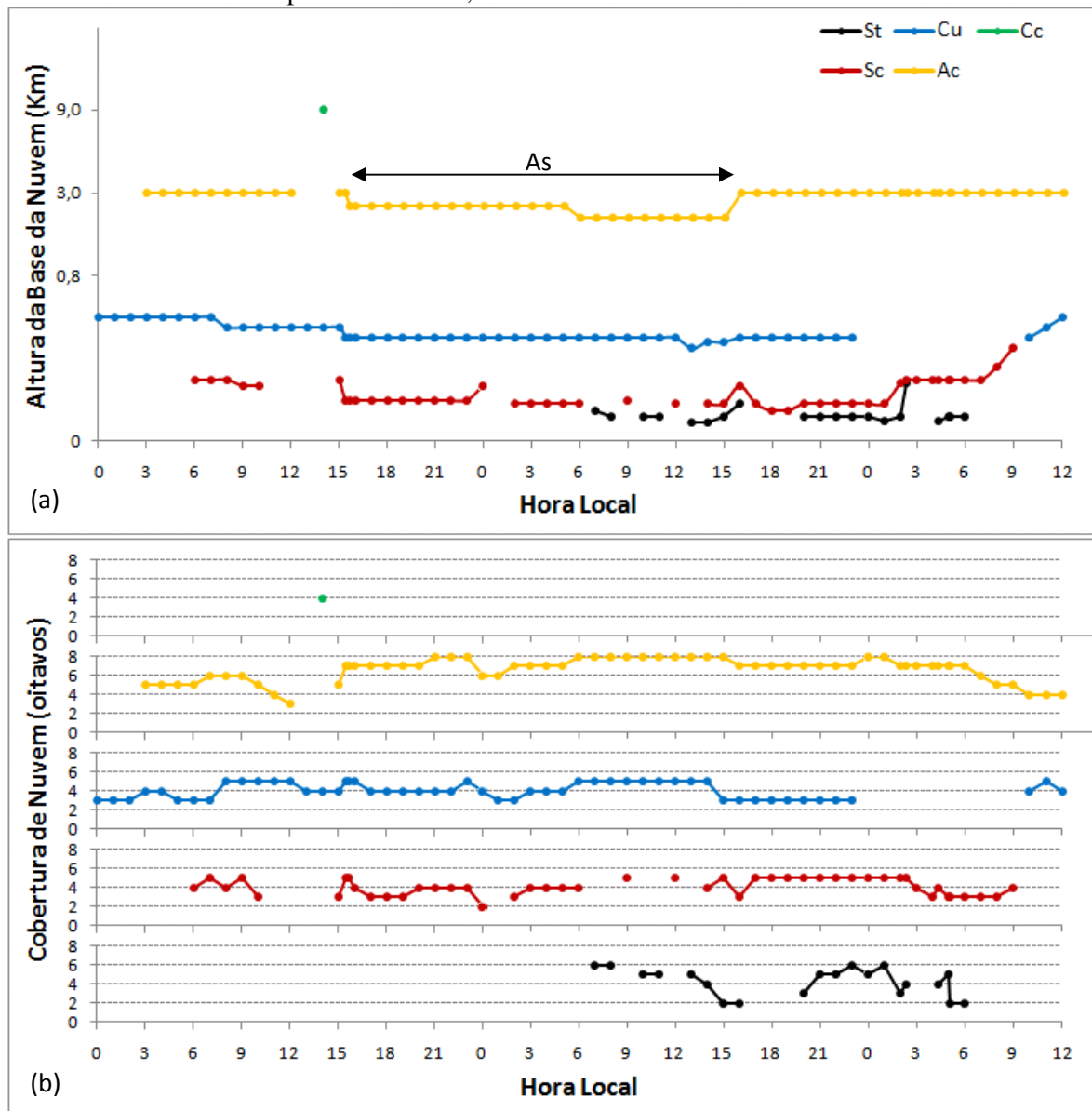
##### 4.1.4.1 Dados Observados

Nos dias que antecedem esse evento, foram observadas até quatro camadas de nuvens. As nuvens médias alternaram entre altocumulus e altostratus, cobrindo 7 ou 8/8 do céu. As nuvens altostratus foram observadas por um período de 24 horas, entre P1t e P2t.

Ao longo deste período de análise, as nuvens stratocumulus foram frequentemente observadas cobrindo 4/8 do céu e com altura da base abaixo 200m. Nuvens do tipo stratus foram observadas desde P2m, com base a 120m e cobrindo 4/8 da abóboda celestial, na maior parte do tempo (Figs. 4.30a,b).

Quando o nevoeiro atingiu intensidade máxima, foi observado 4/8 de nuvens stratus, 4/8 de nuvens stratocumulus e 7/8 de nuvens altocumulus. A cobertura total média diária para P1, P2 e P3 foram 6, 7 e 6, respectivamente.

Figura 4.30 – Dados horários de altura da base das nuvens (a) e cobertura de nuvens (oitavos) (b) sobre o Aeroporto de Maceió, de 0h do dia 31/05/2004 até as 12hs do dia 02/06/2004.



Chuvvas ocorreram em boa parte do período de análise, com redução da visibilidade. Somente na P2, a precipitação acumulada foi 183,4 mm. Esse evento de nevoeiro foi antecedido por chuva leve, a qual reduziu a visibilidade para até 2500 m. Sendo que as chuvvas cessaram duas horas antes da formação do nevoeiro (Fig. 4.31a).

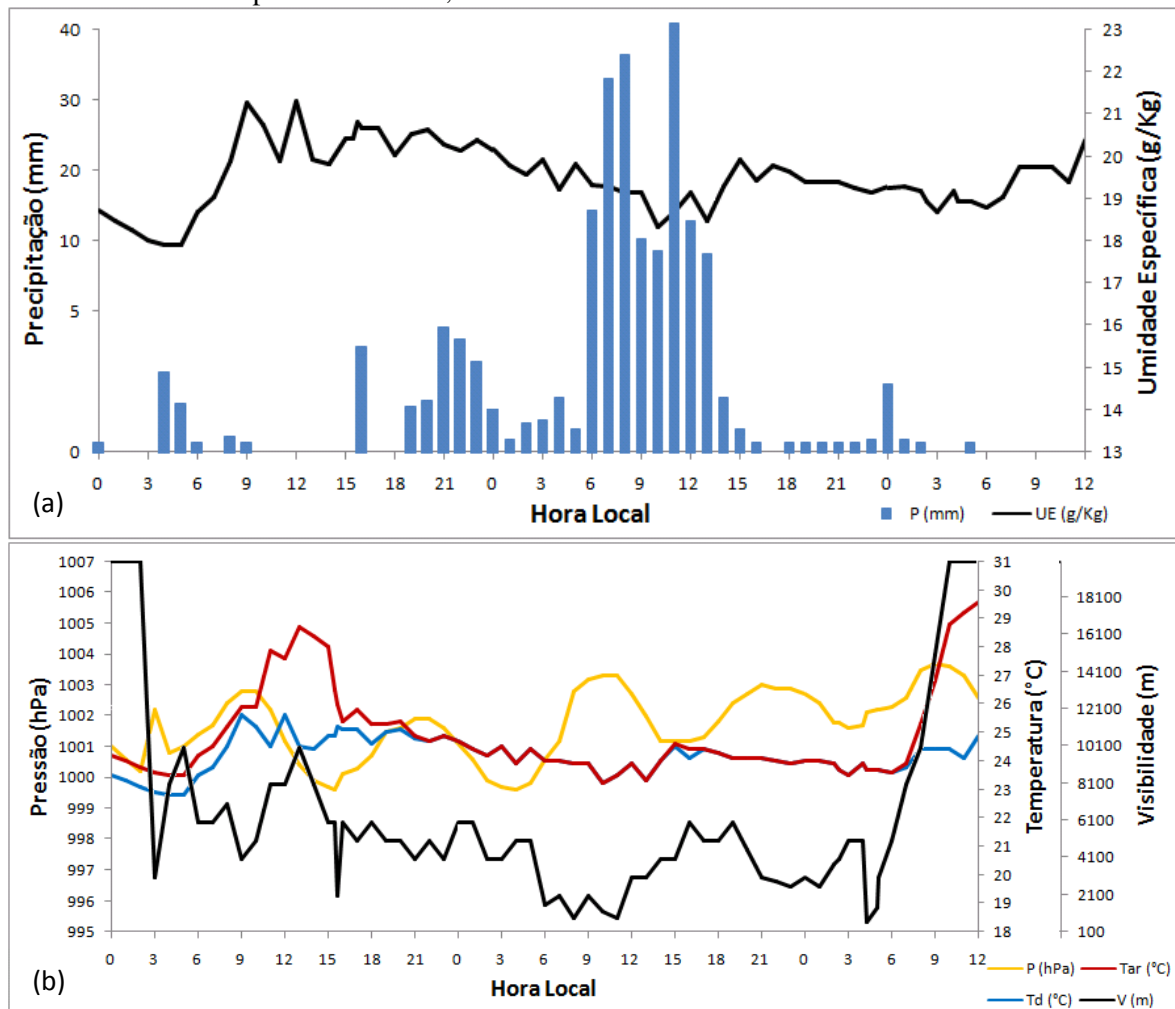
Na observação anterior ao evento de nevoeiro foi registrada névoa úmida, com visibilidade de 5 km, às 4h. Em apenas 19 minutos (4h e 19min), a visibilidade caiu para 650 m, dando origem a um nevoeiro de intensidade fraca e céu visível (Fig. 4.31b).

Os valores de temperatura do ar e pressão, no momento em que o nevoeiro atingiu visibilidade mínima, foram 23,7°C e 1002,1 hPa.

A taxa de resfriamento do ar entre 15-21h foi  $0,08^{\circ}\text{C}/\text{h}$ . E aquela antecedente a formação do nevoeiro foi  $0,05^{\circ}\text{C}/\text{h}$ .

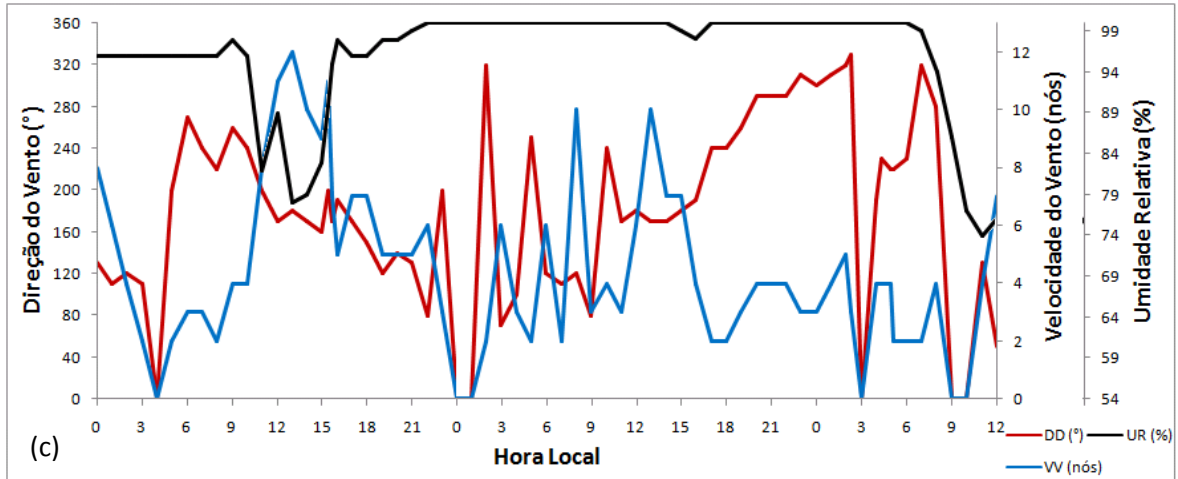
A umidade se manteve acima de 95%, no período noturno de P1. A partir de P2, o ambiente ficou saturado, favorecendo a formação do nevoeiro. Nos dois dias que antecedeu o evento de nevoeiro (P1 e P2), os ventos foram de origem oceânica. Na noite que antecedeu o evento de nevoeiro, os ventos estiveram fracos (2-4 nós), variando gradativamente sua direção de oeste para noroeste, até as 2h de P3. Quando o nevoeiro atingiu visibilidade mínima, a direção e a velocidade do vento foram  $230^{\circ}$  (SO) e 4 nós (Fig. 4.31c).

Figura 4.31 – Dados horários de precipitação e umidade específica (a), pressão, temperatura do ar, do ponto de orvalho e visibilidade (b), direção e velocidade do vento e umidade relativa (c) do Aeroporto de Maceió, de 0h do dia 31/05/2004 até as 12hs do dia 02/06/2004.



Continua Figura 4.31

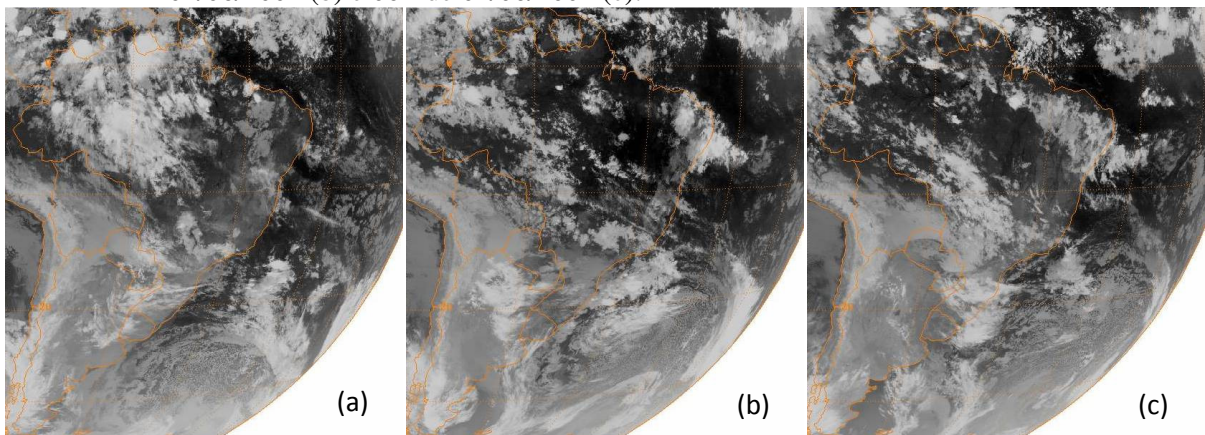
## Conclusão Figura 4.31



## 4.1.4.2 Situação Sinótica

Nas imagens de satélite, percebe-se um aglomerado de nuvens se desenvolvendo próximo ao setor norte costa leste do NEB e se deslocando nesta direção (Fig. 4.32a). Essas nuvens passaram a tomar maiores proporções a partir de P1t, atingindo atividade máxima em P2d (Fig. 4.32b). A partir de P2B, as nuvens entraram em processo dissipativo (Fig. 4.32c) e produziram chuvisco leve até poucas horas antes da formação do nevoeiro. Também é possível identificar a ausência de outros sistemas de escala sinótica que possam afetar as condições do tempo em Alagoas, tais como: ZCIT, VCAN e Zonas Frontais ou suas extremidades.

Figura 4.32 – Imagem do satélite GOES-12 no canal infravermelho às 06Z de 31/05/2004 (a), 12Z de 01/06/2004 (b) e 06Z de 02/06/2004 (c).



Fonte: GIBBS/NOAA.

Percebe-se que o início do desenvolvimento das nuvens, visto na figura 4.32a, esteve associado com os ventos alísios com leve curvatura ciclônica, na P1 (Fig. 4.33a). O cavado supracitado esteve posicionado sobre as águas mais quentes da costa do NEB. Associada a atividade máxima de desenvolvimento das nuvens, com maior volume de chuva observado, está a intensificação do cavado (Fig. 4.33b). A mudança de circulação para anticiclônica pode ser observada antecedendo a formação do nevoeiro (Fig. 4.33c).

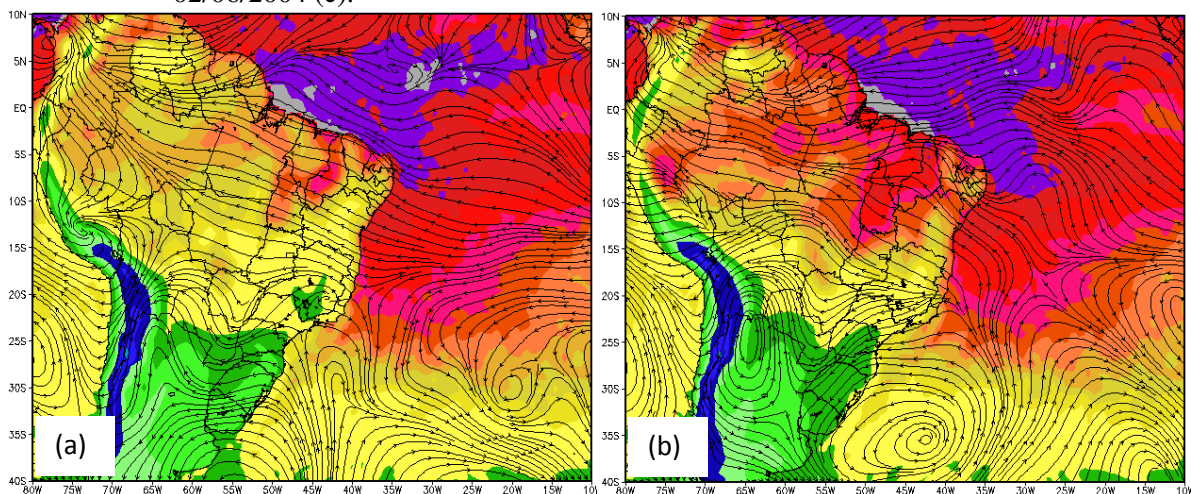
Com base nos dados de TSM média, observa-se que a costa alagoana esteve banhada por águas quentes, com temperatura acima de 27°C. A temperatura média diária do mar litorâneo permaneceu praticamente constante, mas por meio da anomalia de TSM, percebe-se que o mar esteve aumentando sua temperatura nas vinte e quatro horas que antecede o nevoeiro (P2 para P3). O contraste noturno máximo de temperatura entre o aeroporto e o litoral maceioense foi para os três dias 3,9, 4,1 e 3,9, respectivamente (Tab. 4.5).

Tabela 4.5 – Temperatura mínima e máxima do ar no aeroporto e temperatura média diária da superfície do mar (-9,62°S e -35,62°W), para 31/05 e 1-2/06/2004. Anomalia em parênteses.

Data	31/05/2004		01/06/2004		02/06/2004	
Hora	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
T2m	23,5	28,7	23,2	24,7	23,5	30,9
TSM	27,4 (-0,18)		27,3 (-0,20)		27,4 (-0,07)	

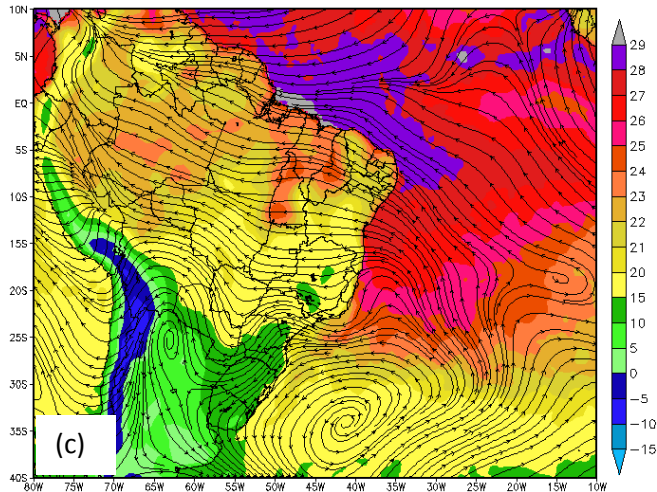
Fonte: TSM média diária (NESDIS) e T2m (dados observacionais do aeroporto).

Figura 4.33 – Linhas de corrente em 925hPa, temperatura da superfície terrestre em 2m e temperatura média diária do mar às 06Z de 31/05/2004 (a), 12Z de 01/06/2004 (b) e 06Z de 02/06/2004 (c).



Continua Figura 4.33

### Conclusão Figura 4.33



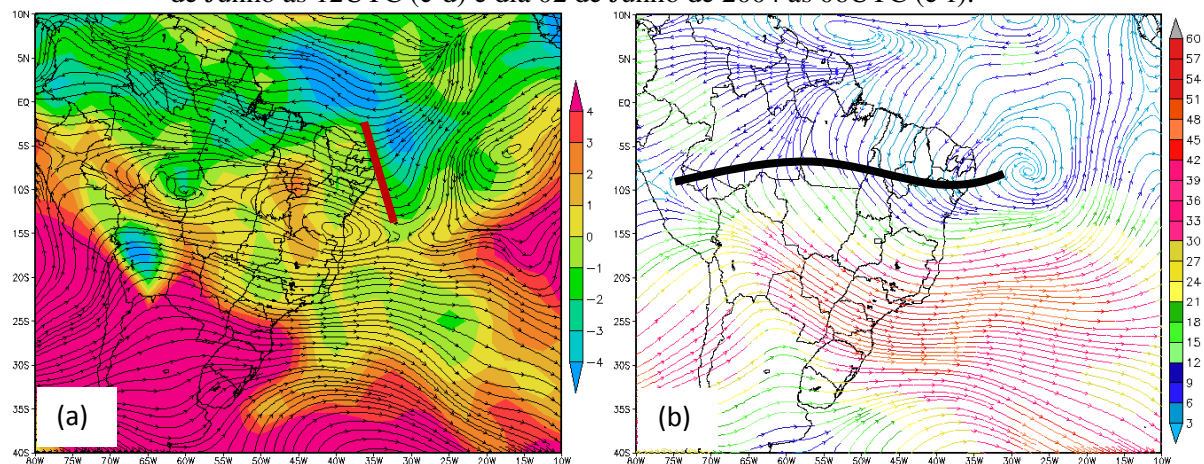
Fonte: LC (NCEP/DOE II); T2m (ECMWF); TSM média diária (NESDIS).

Em médios níveis, um cavado esteve posicionado sobre a costa leste do NEB (curva vermelha). De modo geral, sua retaguarda esteve associada com maior instabilidade e sua vanguarda com menor, por meio do índice LI (Fig. 4.34a). No momento em que foi registrado o maior volume de chuvas, o cavado estava ainda mais inclinado, cruzando a setor norte da costa leste do NEB (Fig. 4.34c). Antecedendo o nevoeiro, o cavado permaneceu sobre a costa do NEB, sendo que menos inclinado e com leve curvatura (Fig. 4.34e).

Em altos níveis, o NEB esteve sob influência do anticiclone durante todo o período de análise, conforme indicado pela curva preta (Fig. 4.34b,d,f).

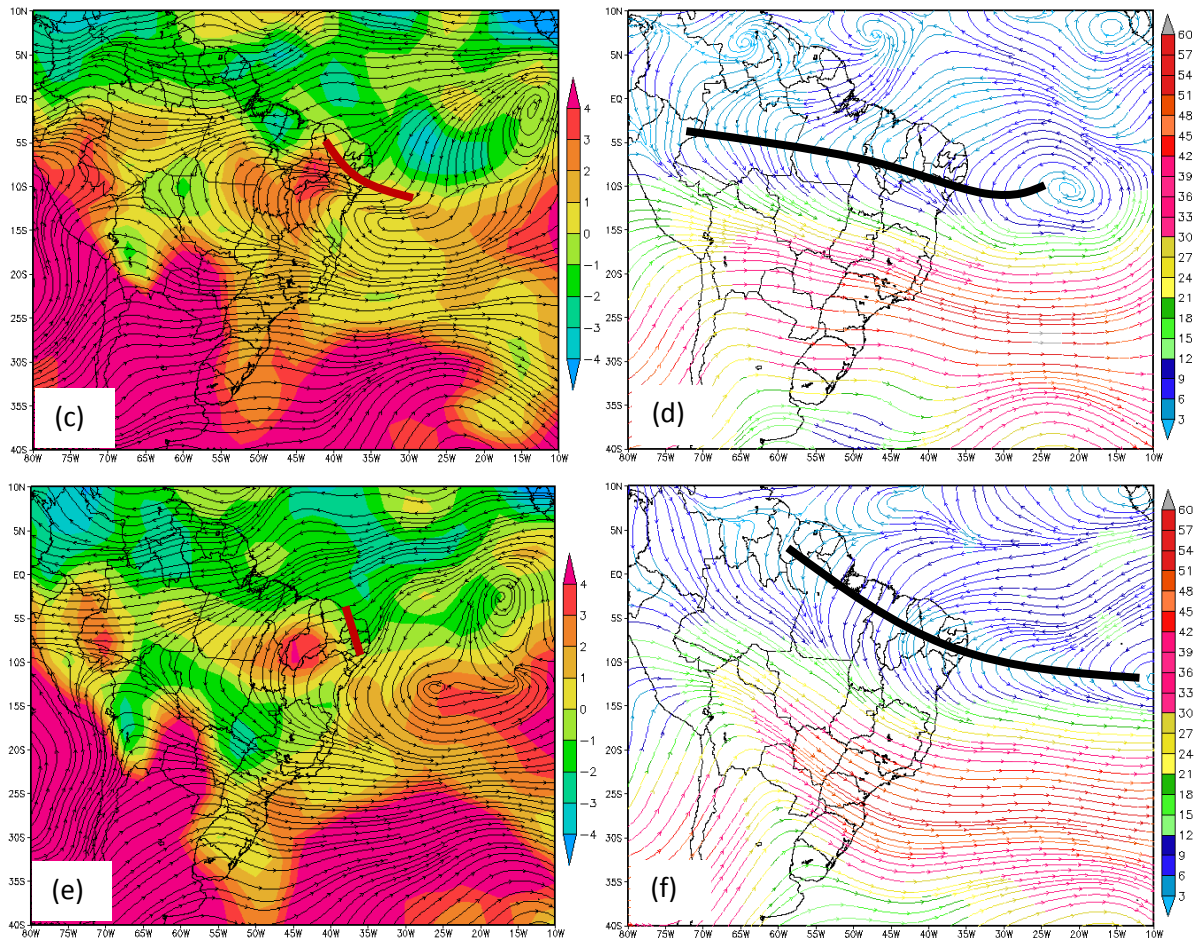
Sobre Alagoas, o índice variou de possibilidade de convecção profunda (LI= -0,7 para P1) para possibilidade de convecção rasa (LI= 0,4), antecedendo o nevoeiro.

Figura 4.34 – Linhas de corrente em 500hPa e índice LI (Lifted Index) (esquerda) e linhas de corrente e magnitude do vento em 200hPa (direita) para o dia 31 de Maio às 06UTC (a-b), dia 01 de Junho às 12UTC (c-d) e dia 02 de Junho de 2004 às 06UTC (e-f).



Continua Figura 4.34

## Conclusão Figura 4.34



Fonte: NCEP/DOE II.

Devido à ausência de dados do modelo WRF para evento ocorrido em 2004, somente os modelos NCEP/DOE II e ECMWF (Fig. 4.35) serão utilizados. Em geral, ambos os modelos apresentaram movimentos verticais semelhantes, fracos movimentos ascendentes na camada entre 1000-800 hPa e descendentes em médios e altos níveis (750-200 hPa), a exceção pode ser vista no ECMWF, onde há ascendência nos níveis 450-400 hPa.

Estima-se que os ventos alísios com curvatura anticiclônica em baixos também possam estar associados com movimentos ascendentes, apesar de também estarem associados à dissipação das nuvens, enquanto que o cavado em médios e a influência anticiclônica em altos níveis possam estar associados à descendência do ar.

A maior diferença entre os modelos está na intensidade da instabilidade em baixos níveis e no perfil de umidade. Mas, no geral, é possível identificar instabilidade condicional da superfície até 850 hPa, seguido por uma camada mais estável acima. A umidade apresentada no primeiro nível do modelo NCEP/DOE II (76%) (Fig. 4.36a) está muito abaixo do que foi observado em superfície (100%). O ECMWF possivelmente melhor representa a

umidade do perfil vertical no primeiro nível do modelo (90%) (Fig. 4.36b). Em superfície, o modelo ECMWF apresentou umidade muito próxima da observada (98%).

O maior valor de CAPE+ foi encontrado para o perfil do modelo ECMWF (488 J/kg). O valor de CAPE+ calculado pelo modelo NCEP/DOE II foi 172 J/kg. O baixo valor de CAPE+ do NCEP/DOE II foi devido à baixa umidade no primeiro nível do modelo.

Figura 4.35 – Perfil dos movimentos verticais (m/s) às 06UTC de 02/06/2004 elaborado para o Aeroporto de Maceió pelos modelos NCEP/DOE II (azul) e ECMWF (vermelho).

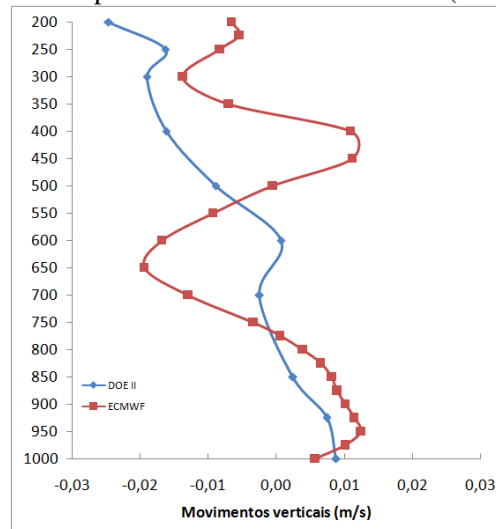
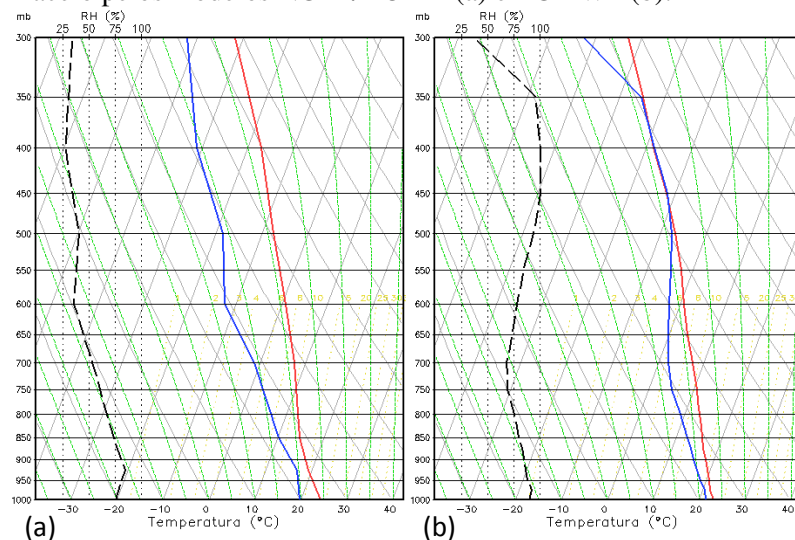


Figura 4.36 – Perfil de temperatura e umidade às 06UTC de 02/06/2004 elaborado para o Aeroporto de Maceió pelos modelos NCEP/DOE II (a) e ECMWF (b).





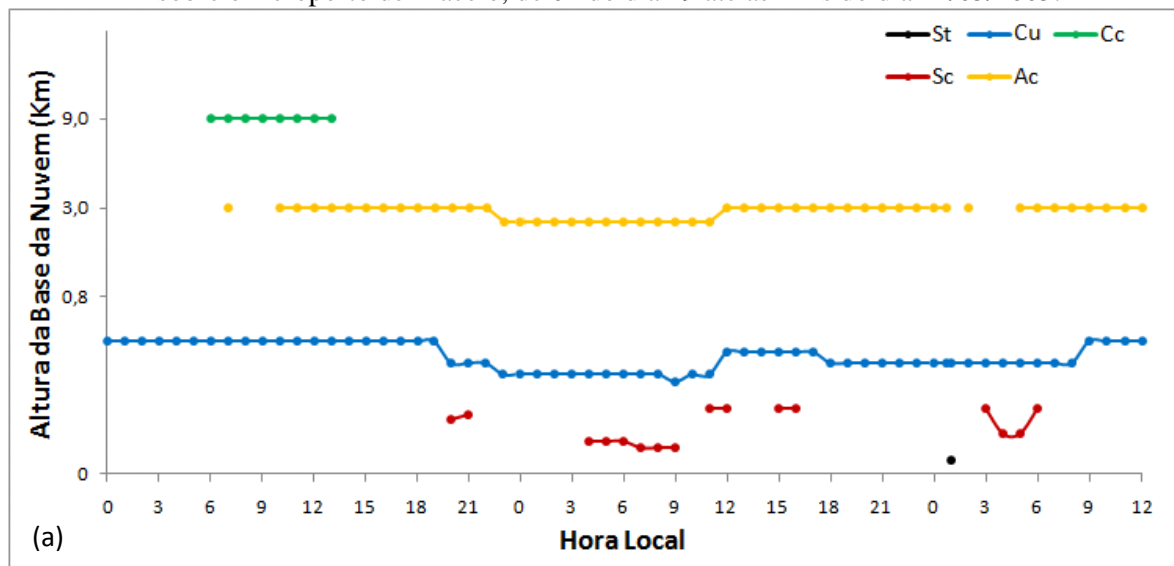
#### 4.1.5 Nevoeiro Ocorrido em 21 de Maio de 2005

##### 4.1.5.1 Dados Observados

Nesse período de análise, foi possível observar quatro camadas de nuvens. As nuvens cirrocumulus foram observadas somente na P1, advindas de sul. As nuvens stratocumulus passaram a ser observadas com maior frequência na P2, com base variando entre 120-300 m e cobrindo 2/8 do céu. A partir de P2B até a formação do nevoeiro foram observadas apenas nuvens cumulus e altocumulus, cobrindo em média 3 e 4/8 do céu, respectivamente.

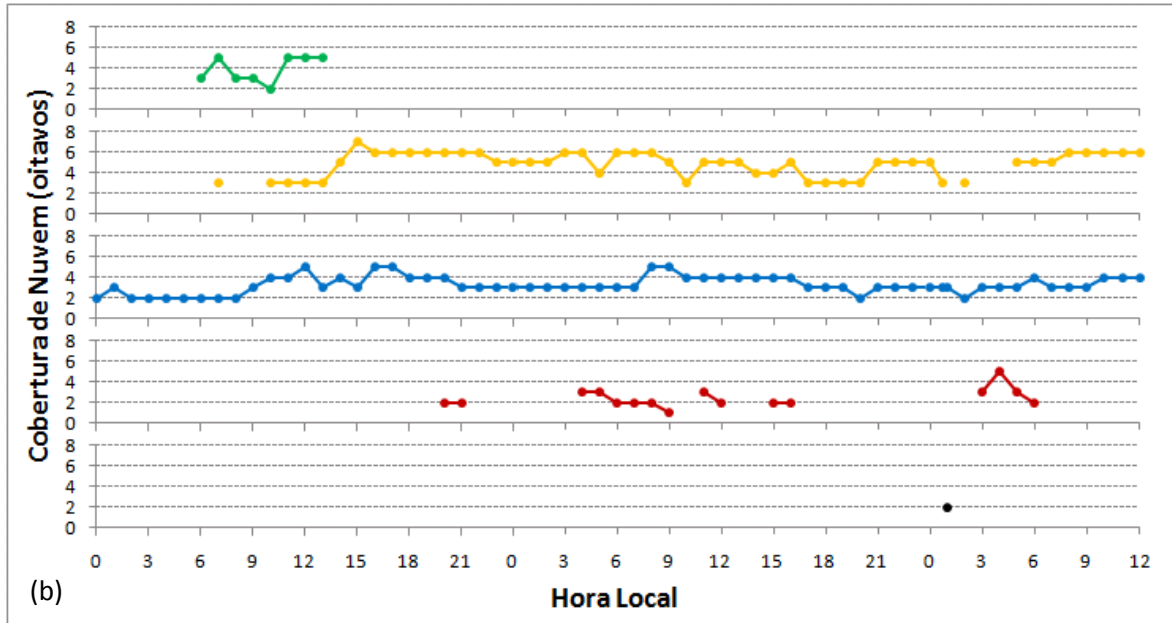
Quando o nevoeiro atingiu intensidade máxima, foi observado 3/8 de nuvens cumulus e 3/8 de nuvens altocumulus. A cobertura total média diária para P1, P2 e P3 foram 5, 6 e 6, respectivamente. Após a dissipação do nevoeiro em solo, observaram-se nuvens stratus com base em 60 metros e cobrindo 2/8 do céu, dando a impressão de elevação do nevoeiro para níveis mais altos (Figs. 4.37a,b).

Figura 4.37 – Dados horários de altura da base das nuvens (a) e cobertura de nuvens (oitavos) (b) sobre o Aeroporto de Maceió, de 0h do dia 19 até as 12hs do dia 21/05/2005.



Continua Figura 4.37

Conclusão Figura 4.37



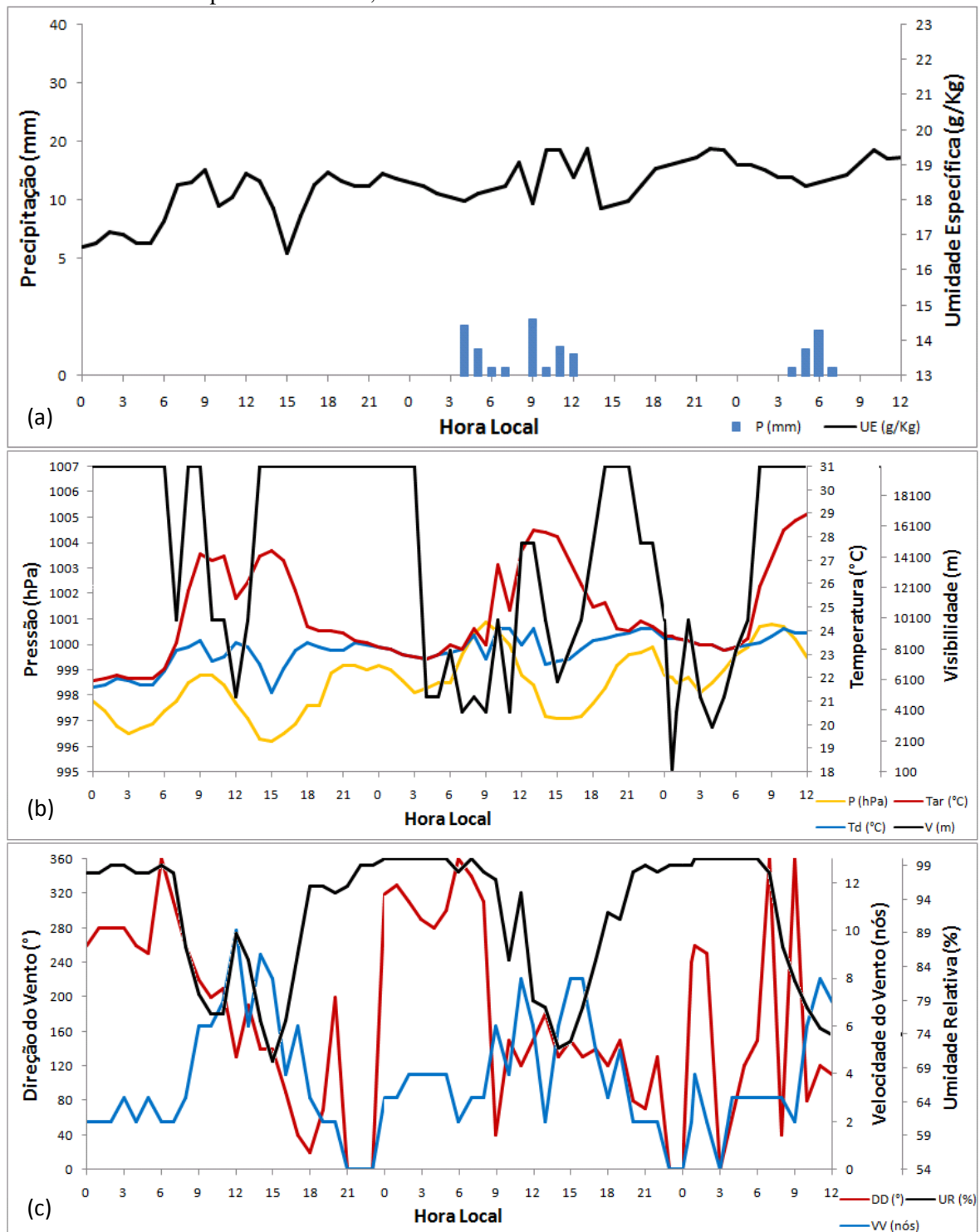
Apesar de não ter ocorrido precipitação na P1, a visibilidade foi prejudicada. Essa redução de visibilidade foi resultado da ocorrência de chuva longe da estação, provavelmente na distância da visibilidade registrada. Na P2, a visibilidade novamente foi restringida (entre 4-15 km), também devido à ocorrência de chuva, onde o total registrado foi 7,3 mm (Fig. 4.38a).

Na observação anterior ao evento de nevoeiro foi registrado névoa úmida, com visibilidade de 10 km, à 0h. Em aproximadamente 42 minutos (0h e 42min), a visibilidade caiu para 300 m, dando origem a um nevoeiro de intensidade moderada e céu visível. Esse nevoeiro teve o menor tempo de duração, aproximadamente 18 minutos (entre 0:42 e 1:00h). Mesmo com um curto tempo de duração, o nevoeiro reduziu a visibilidade para 300 m (Fig. 4.38b).

Os valores de temperatura do ar e pressão, no momento em que o nevoeiro atingiu visibilidade mínima, foram 23,8°C e 998,7 hPa. A umidade máxima observada durante o nevoeiro foi 99%. A taxa de resfriamento do ar entre 15-21h foi 0,66°C/h. E aquela antecedente a formação do nevoeiro foi 0,06°C/h.

Na madrugada dos dois dias que antecedeu o evento de nevoeiro (P1A e P2A), foi observada brisa terrestre (O-NO) ou calmaria. Em todo o período noturno, os ventos não ultrapassaram 4 nós. Quando o nevoeiro atingiu visibilidade mínima, a direção e a velocidade do vento foram 240° (SO) e 2 nós (Fig. 4.38c).

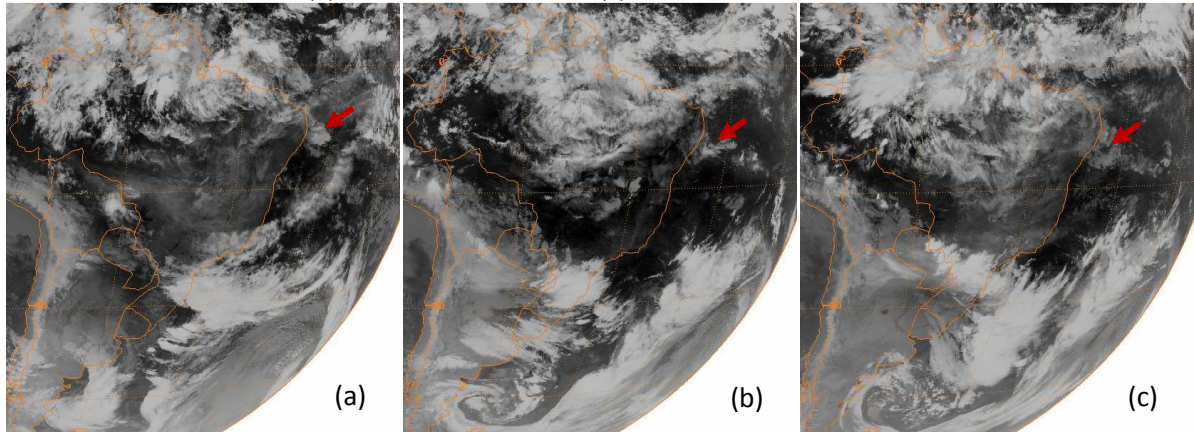
Figura 4.38 – Dados horários de precipitação e umidade específica (a), pressão, temperatura do ar, do ponto de orvalho e visibilidade (b), direção e velocidade do vento e umidade relativa (c) do Aeroporto de Maceió, de 0h do dia 19 até as 12hs do dia 21/05/2005.



#### 4.1.5.2 Situação Sinótica

Dois dias antes da formação do nevoeiro já foi possível observar uma banda de nebulosidade se desenvolvendo próximo a Alagoas (Fig. 4.39a). Essas nuvens passaram a tomar maiores proporções a partir de P1t, resultando em chuva leve na P2 (Fig. 4.39b). Mais tarde, a partir de P2B, o desenvolvimento da nebulosidade cessou, dando origem ao nevoeiro (Fig. 4.39c), conforme indicado pelas setas vermelhas. Também é possível identificar a ausência de outros sistemas de escala sinótica que podem afetar as condições do tempo em Alagoas, tais como: ZCIT, VCAN e Zonas Frontais ou suas extremidades.

Figura 4.39 – Imagem do satélite GOES-12 no canal infravermelho às 06Z de 19/05/2005 (a), 12Z de 20/05/2005 (b) e 00Z de 21/05/2005 (c).



Fonte: GIBBS/NOAA.

O desenvolvimento das nuvens visto na figura 4.39a, esteve associado com os ventos alísios com curvatura ciclônica, na P1 (Fig. 4.40a). O cavado supracitado esteve posicionado sobre as águas mais quentes da costa do NEB.

Devido à existência de curvatura ciclônica a Leste de Alagoas, associa-se a ocorrência de chuva na P2 à passagem do sistema sinótico POA, o qual produziu um acumulado de 7,3 mm (Fig. 4.40b). A mudança de circulação para anticiclônica ser observada antecedendo a formação do nevoeiro (Fig. 4.40c).

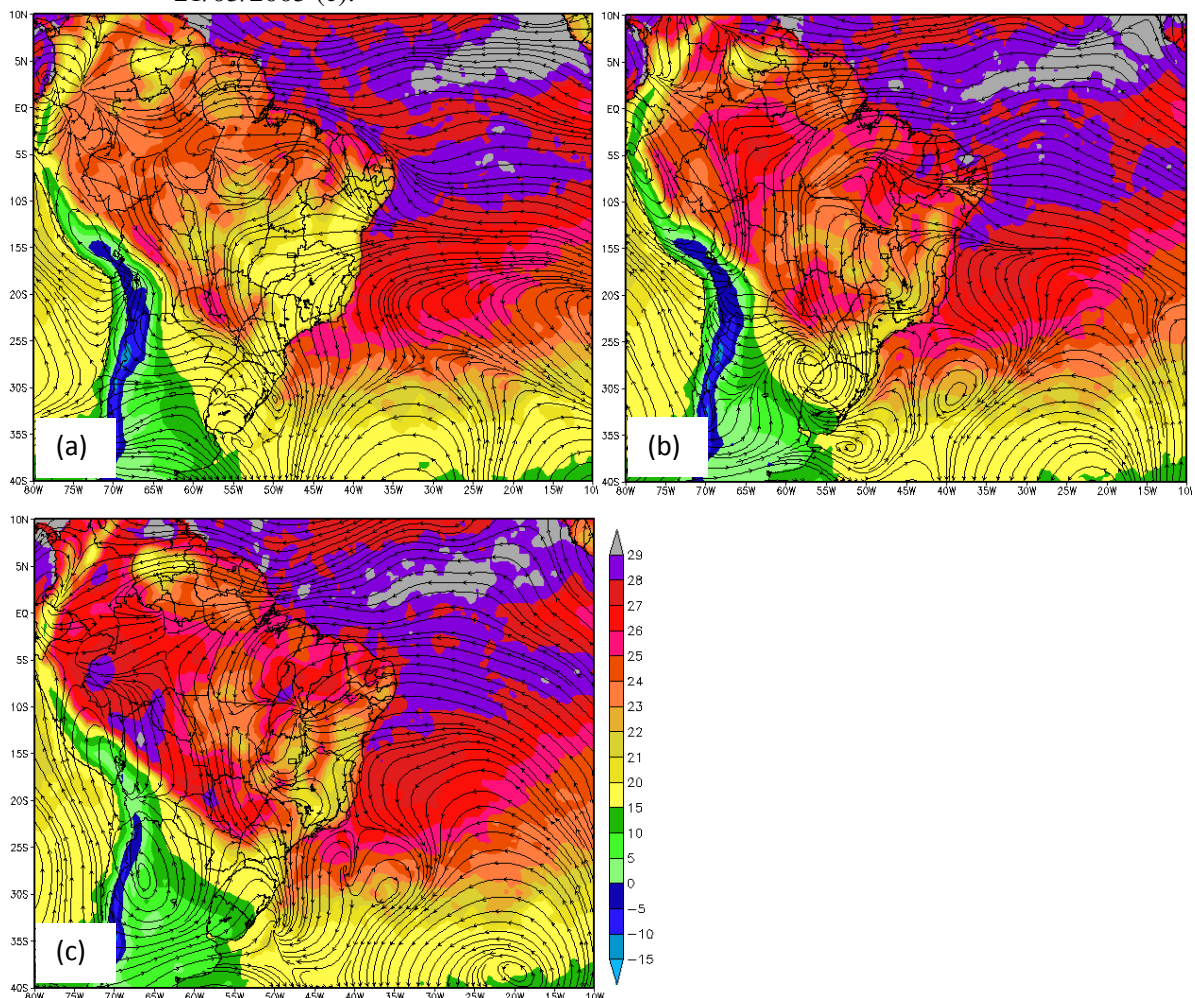
Com base nos dados de TSM média, observa-se que a costa alagoana esteve banhada por águas quentes, com temperatura próxima de 28°C. A temperatura média diária do mar litorâneo estava se resfriando desde P1. O contraste noturno máximo de temperatura entre o aeroporto e o litoral maceioense foi para os três dias 6,2, 5,2 e 4,7, respectivamente (Tab. 4.6).

Tabela 4.6 – Temperatura mínima e máxima do ar no aeroporto e temperatura média diária da superfície do mar (-9,62°S e -35,62°W), para 19, 20 e 21/05/2005. Anomalia em parênteses.

Data	19/05/2005		20/05/2005		21/05/2005	
Hora	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
T2m	21,9	27,4	22,8	28,3	23,2	29,8
TSM	28,1 (+0,34)		28,0 (+0,20)		27,9 (+0,10)	

Fonte: TSM média diária (NESDIS) e T2m (dados observacionais do aeroporto).

Figura 4.40 – Linhas de corrente em 925hPa, temperatura da superfície terrestre em 2m e temperatura média diária do mar às 06Z de 19/05/2005 (a), 12Z de 20/05/2005 (b) e 00Z de 21/05/2005 (c).



Fonte: LC (NCEP/DOE II); T2m (ECMWF); TSM média diária (NESDIS).

Na P1, período em que poucas nuvens foram observadas, havia uma região de confluência à vanguarda do cavado (curva vermelha) em médios níveis. Com base no índice LI, observa-se que essa região esteve associada com fraca instabilidade (LI=0,83) sobre o

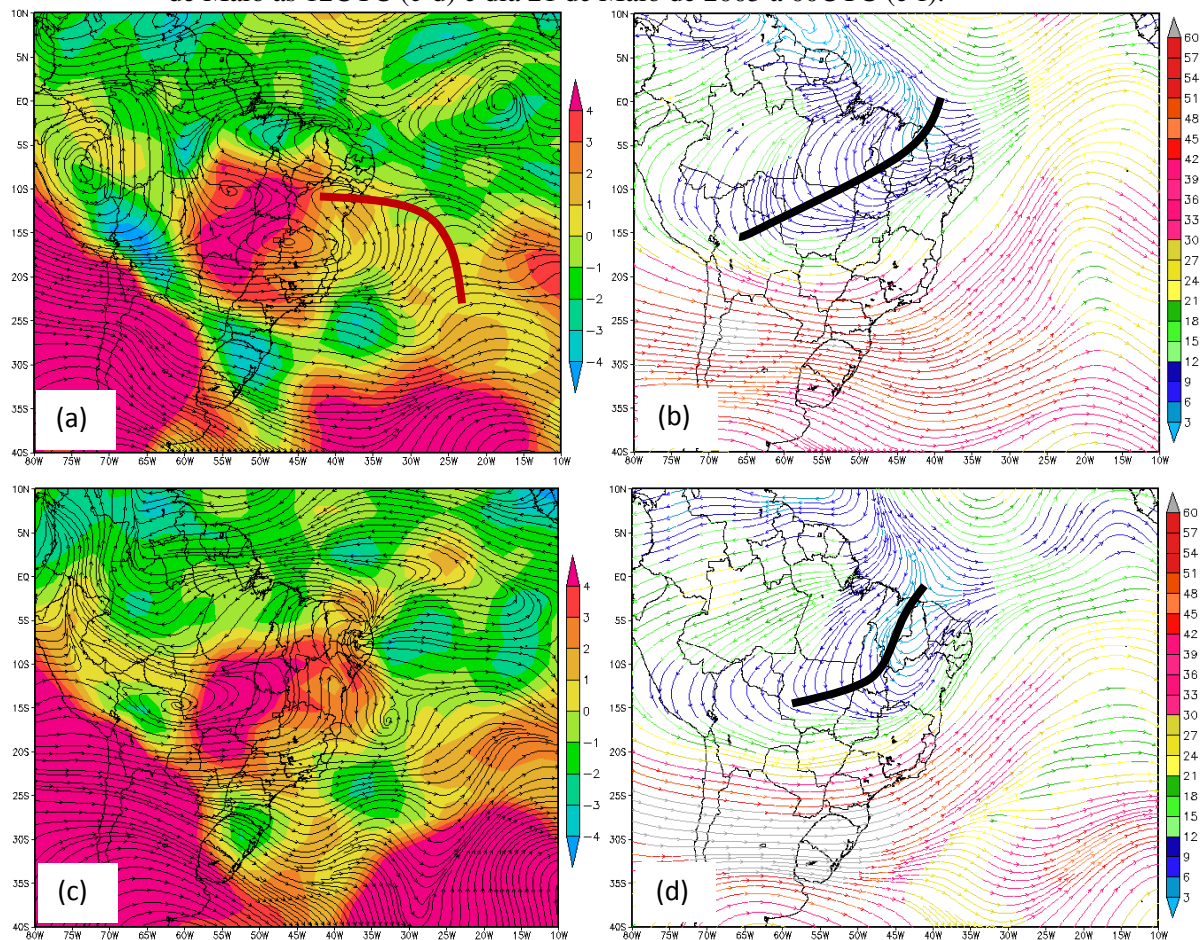
continente e nos primeiros quilômetros sobre o oceano. Instabilidade mais forte pode ser observada na vanguarda do cavado, possibilitando convecção profunda (LI=-1,2) (Fig. 4.41a).

A figura 4.41c mostra a circulação em médios níveis para a chuva observada na P2. Nela, nota-se uma circulação anticiclônica sobre o setor norte da costa leste do NEB e zonal sobre o oceano. O índice LI indicou forte instabilidade na região onde os ventos estavam no sentido zonal (LI= -2,6) e fraca instabilidade sobre o continente (LI= 1,5).

Antecedendo a formação do nevoeiro (Fig. 4.43e), havia um anticiclone posicionado no norte do NEB e um cavado estável cruzando o Estado da Bahia. Na vanguarda desse cavado, o índice LI indicava forte instabilidade, possibilitando convecção profunda (LI=-2,4).

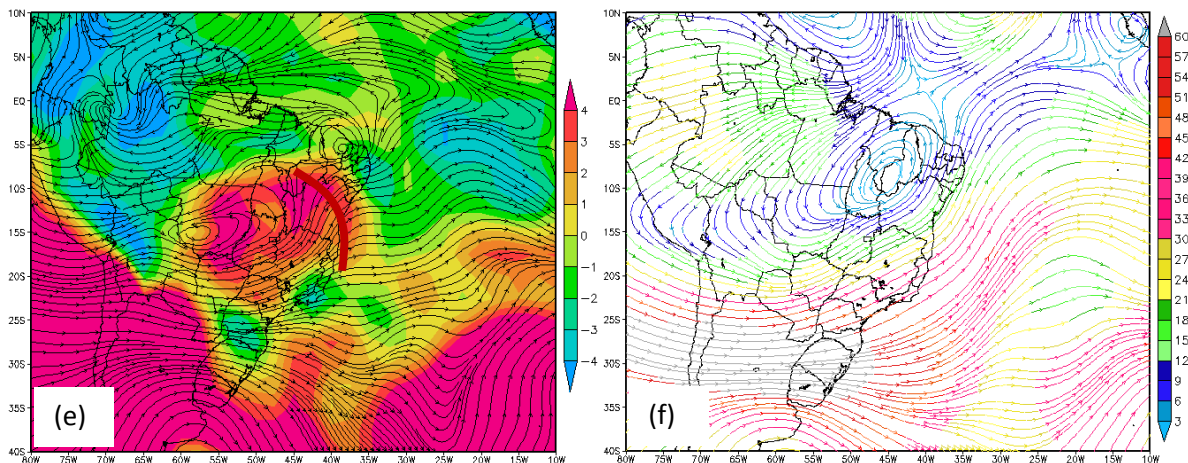
Em altos níveis (Fig. 4.43b,d,f), observa-se a evolução do desenvolvimento do anticiclone (curva preta) no setor norte do NEB.

Figura 4.41 – Linhas de corrente em 500hPa e índice LI (Lifted Index) (esquerda) e linhas de corrente e magnitude do vento em 200hPa (direita) para o dia 19 de Maio às 06UTC (a-b), dia 20 de Maio às 12UTC (c-d) e dia 21 de Maio de 2005 à 00UTC (e-f).



Continua Figura 4.41

Conclusão Figura 4.41

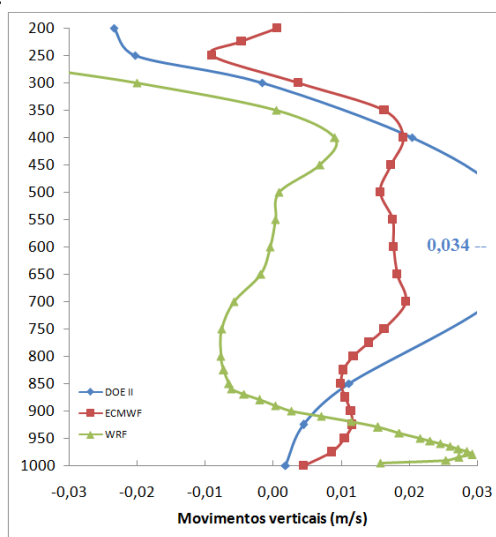


Fonte: NCEP/DOE II.

Dentre todos os modelos, os movimentos verticais mais semelhantes foram apresentados pelo NCEP/DOE II e ECMWF (Fig. 4.42). Ambos os modelos apresentaram movimentos ascendentes desde baixos até médios níveis (camada entre 1000-400 hPa) e descendentes em altos níveis. O modelo WRF apresentou semelhança apenas na camada entre 1000-900 hPa (ar ascendente) e em altos níveis (ar descendente).

Estima-se que os ventos alísios com curvatura anticiclônica em baixos também possam estar associados com movimentos ascendentes, apesar de também estarem associados à dissipação das nuvens, enquanto que a influência anticiclônica em médios e altos níveis possa estar associada à ascendência e descendência do ar, respectivamente.

Figura 4.42 – Perfil dos movimentos verticais (m/s) à 00UTC de 21/05/2005 elaborado para o Aeroporto de Maceió pelos modelos NCEP/DOE II (azul), ECMWF (vermelho) e WRF (verde).



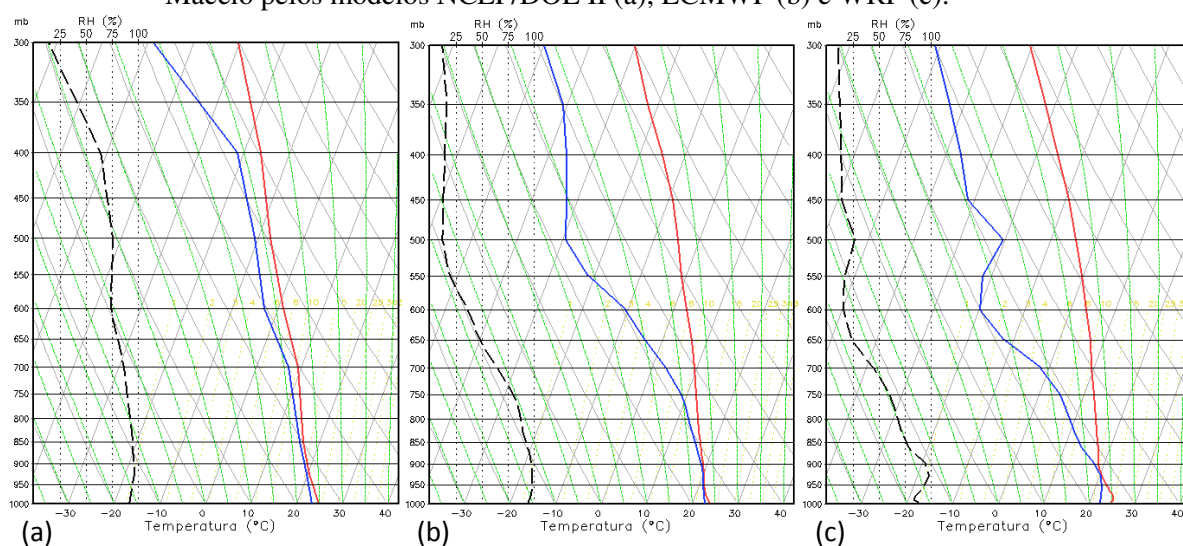
Diferentemente dos modelos ECMWF (Fig. 4.43b) e WRF (Fig. 4.43c), o modelo NCEP/DOE II (Fig. 4.43a) apresentou alta umidade em quase todo o perfil atmosférico. Possivelmente, os modelos ECMWF e WRF melhor representam a umidade do perfil vertical que antecede a formação deste evento de nevoeiro.

A diferença entre os dois últimos modelos está na profundidade da instabilidade, na umidade e na identificação da inversão de temperatura em baixos níveis. O WRF apresenta instabilidade condicional acima do topo da inversão térmica (103 m), na camada entre 990-900 hPa, enquanto que o ECMWF apresenta instabilidade condicional entre 1000-975 hPa.

O ECMWF apresentou maior umidade no primeiro nível do modelo (94%) do que o WRF (90%), no entanto, em superfície ambos apresentam o mesmo valor de umidade (95%), onde o observado foi 99%.

Os valores calculados de CAPE+ foram próximos para ECMWF (461 J/kg) e WRF (428 J/kg), devido à semelhança entre eles.

Figura 4.43 – Perfil de temperatura e umidade à 00UTC de 21/05/2005 elaborado para o Aeroporto de Maceió pelos modelos NCEP/DOE II (a), ECMWF (b) e WRF (c).



#### 4.1.6 Nevoeiro Ocorrido em 14 de Julho de 2005

##### 4.1.6.1 Dados Observados

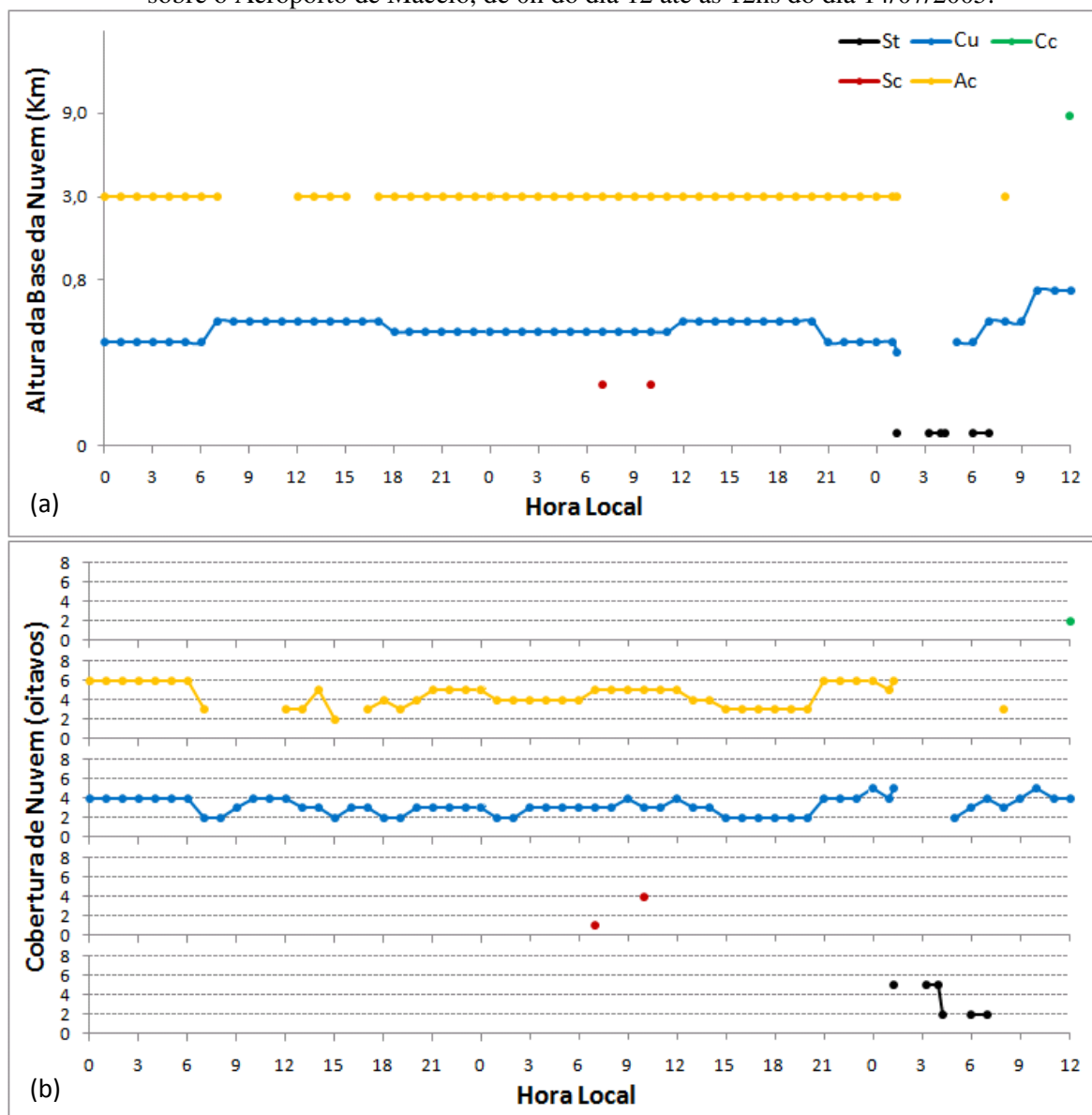
Em todo o período de análise, a cobertura de nuvens cumulus e altocumulus foi dominante. Nota-se que a base das nuvens cumulus variou 100 m do período noturno para o diurno. À noite, sua base esteve em 500 m e durante o dia em 600 m (Fig 4.44a).



Na observação anterior ao evento de nevoeiro foram registradas três camadas de nuvens: cumulus, altocumulus e stratus. Sendo que as nuvens stratus estavam cobrindo 5/8 do céu e com base em 60 m. No momento da ocorrência do nevoeiro, o céu estava obscurecido com visibilidade vertical de 30 m, quando o nevoeiro atingiu intensidade máxima, dando a impressão de que o nevoeiro se desenvolveu de cima para baixo.

Nuvens stratus foram novamente observadas após a dissipação do nevoeiro, cobrindo 5/8 do céu e com base em 60 m (Fig. 4.44a,b), dando a impressão de elevação do nevoeiro para níveis mais altos. A cobertura total média diária para P1, P2 e P3 foram 5, 5 e 4, respectivamente.

Figura 4.44 – Dados horários de altura da base das nuvens (a) e cobertura de nuvens (oitavos) (b) sobre o Aeroporto de Maceió, de 0h do dia 12 até as 12hs do dia 14/07/2005.



As chuvas ocorridas nos dias anteriores ao evento de nevoeiro foram leves e ocasionais (Fig. 4.45a). As constantes quedas de visibilidade foram ocasionadas tanto pelas chuvas leves, quanto pela existência de precipitação longe da estação.

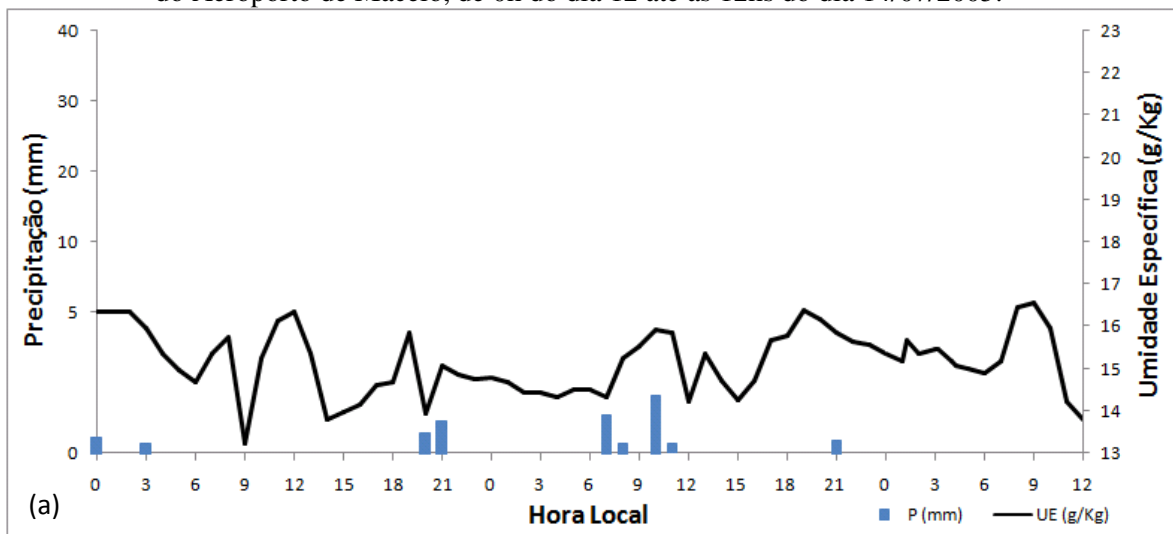
Ao longo deste período de análise, a umidade máxima registrada foi 95% na (P1A) e 99% na P2A. Durante o período noturno, os ventos se comportaram como brisa terrestre (Oeste-Noroeste). Durante o período diurno, os ventos foram de origem oceânica (Sul-Sudeste) (Fig. 4.45c). Os limiares encontrados para névoa úmida coincidiram somente momentos antes da formação do nevoeiro.

Na observação anterior ao evento de nevoeiro foi registrado nevoeiro distante da estação, provavelmente na distância da visibilidade registrada (10 km), à 1:18h. Em aproximadamente 42 min (2:00h), a visibilidade caiu para 200 m, dando origem a um nevoeiro de intensidade moderada e céu obscurecido (visibilidade vertical 30 m) (Fig. 4.45b).

O nevoeiro atingiu seu máximo de intensidade (200 m), quando o ar próximo a superfície subitamente atingiu a saturação. Presume-se que os ventos mais fortes (7 nós) de Oeste (270°) atrapalharam o desenvolvimento do nevoeiro em solo, evaporando e elevando sua base para níveis mais altos novamente.

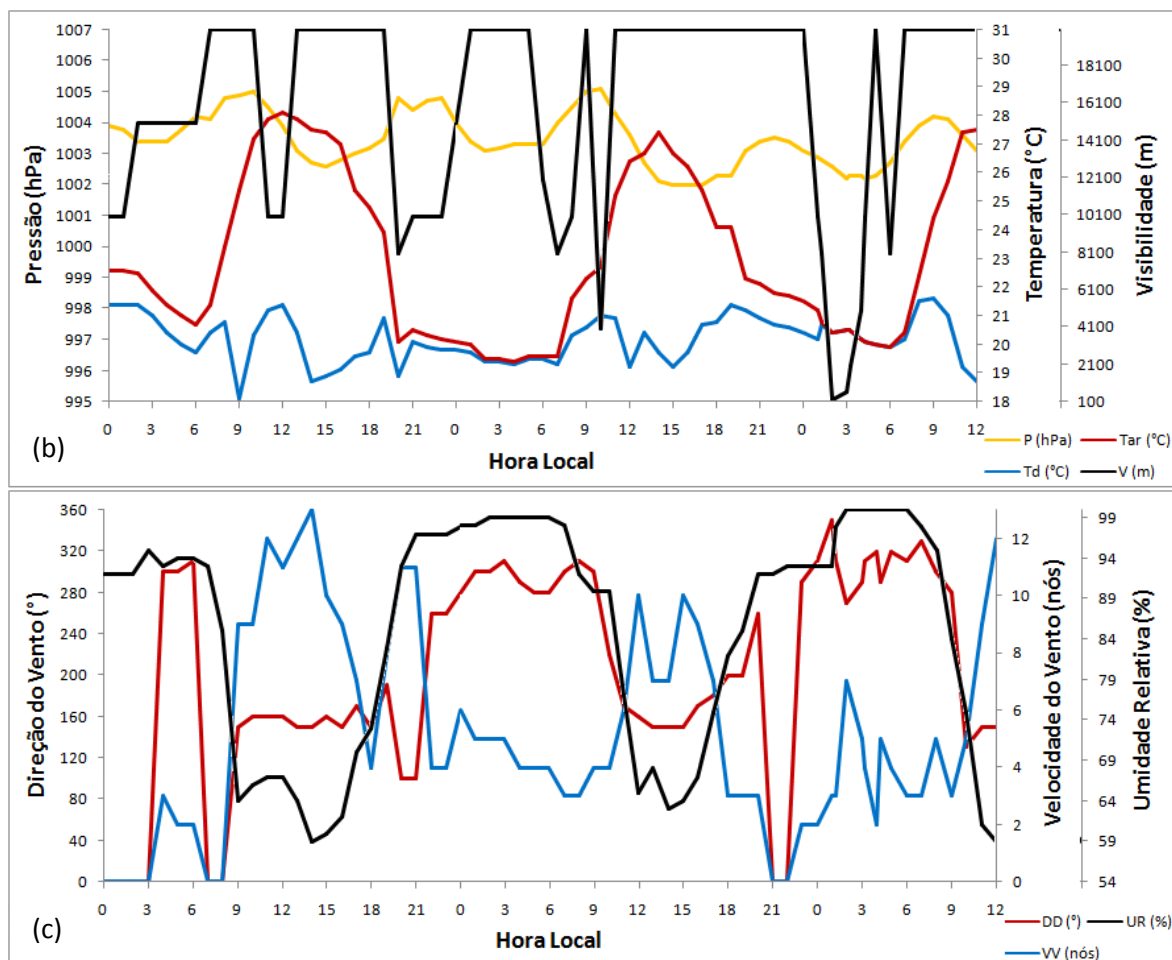
Os valores de temperatura do ar e pressão, no momento em que o nevoeiro atingiu visibilidade mínima, foram 20,4°C e 1002,6 hPa. A taxa de resfriamento do ar entre 15-21h foi 0,76°C/h. E aquela antecedente a formação do nevoeiro foi 0,34°C/h.

Figura 4.45 – Dados horários de precipitação e umidade específica (a), pressão, temperatura do ar, do ponto de orvalho e visibilidade (b), direção e velocidade do vento e umidade relativa (c) do Aeroporto de Maceió, de 0h do dia 12 até as 12hs do dia 14/07/2005.



Continua Figura 4.45

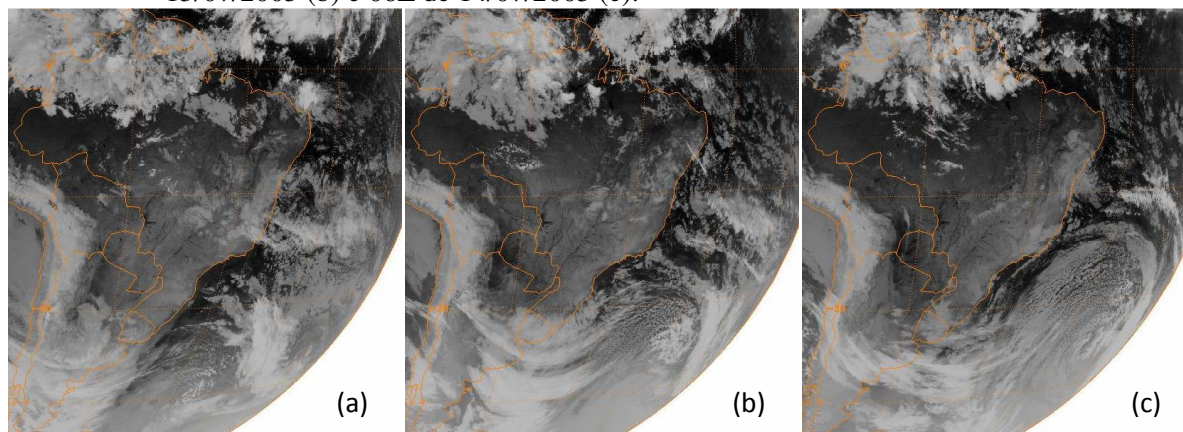
## Conclusão Figura 4.45



## 4.1.6.2 Situação Sinótica

As imagens de satélite abaixo mostram a nebulosidade oriunda de leste e da extremidade frontal sendo transportada através dos ventos alísios em direção a costa do NEB, nos dias que antecede a formação do nevoeiro (Fig. 4.46a,b). A figura 4.46c mostra a nebulosidade, quando o nevoeiro reduziu a visibilidade para 600 metros.

Figura 4.46 – Imagem do satélite GOES-12 no canal infravermelho às 06Z de 12/07/2005 (a), 06Z de 13/07/2005 (b) e 06Z de 14/07/2005 (c).



Fonte: GIBBS/NOAA.

O desenvolvimento das nuvens visto nas figuras 4.46a,b, esteve associado com os ventos alísios com curvatura ciclônica. O cavado (curva preta) supracitado esteve posicionado sobre as águas mais quentes da costa do NEB. Este padrão de circulação se manteve da P1 a P2m (Fig. 4.47a,b).

A precipitação leve ocorrida nos dois dias que antecede a formação do nevoeiro (P1 e P2) pode estar associada à passagem do sistema sinótico POA, sendo também influenciada pela extremidade frontal, o qual produziram um acumulado diário de 2 mm e 3,6 mm, respectivamente para os dois dias (Fig. 4.45a). A mudança de circulação para anticiclônica, com leve curvatura ciclônica sobre Alagoas, pode ser observada para o momento quando o nevoeiro reduziu a visibilidade para 600 m (Fig. 4.47c).

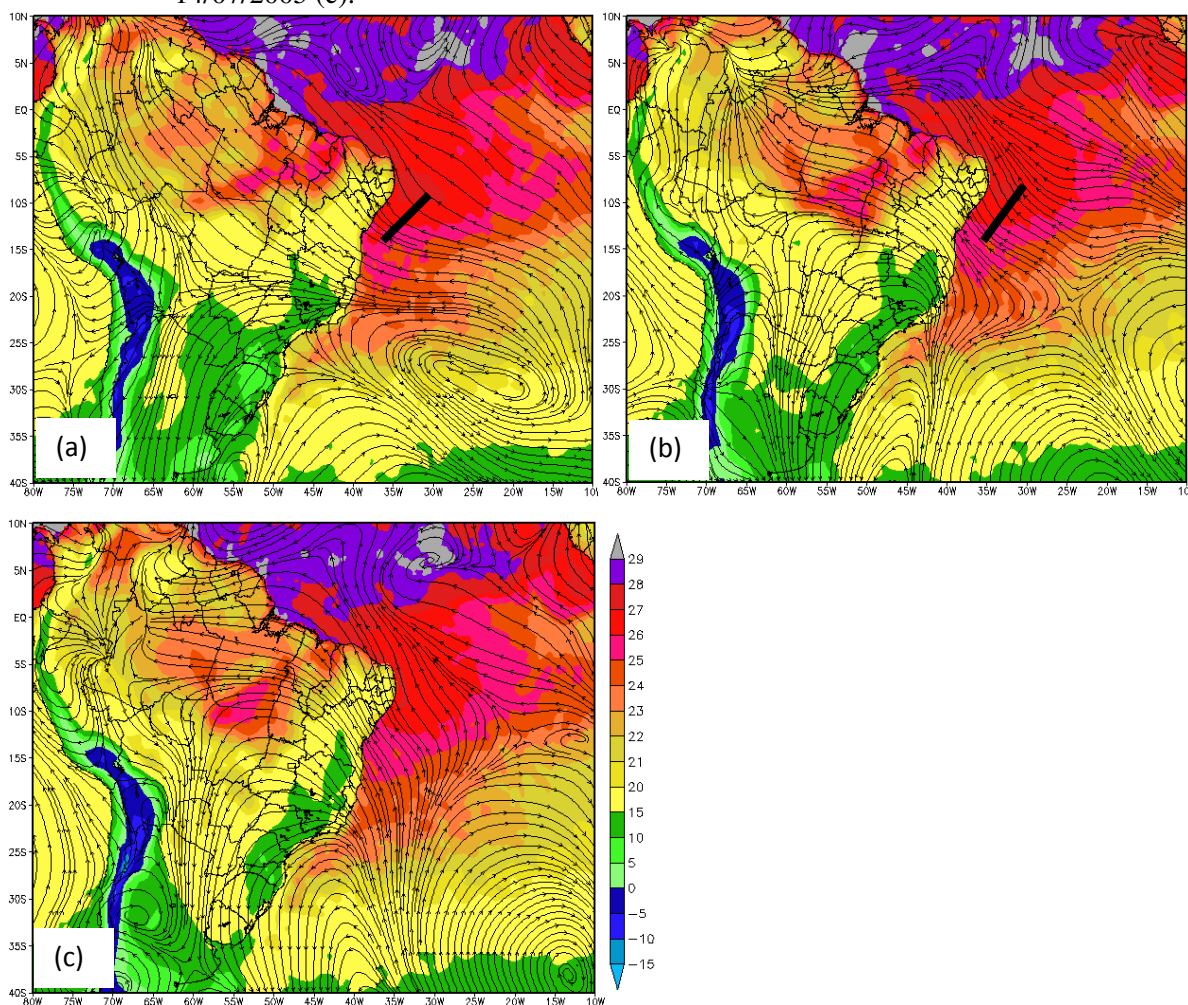
Com base nos dados de TSM média, observa-se que a costa alagoana esteve banhada por águas quentes, com temperatura acima de 26°C. A temperatura média diária do mar litorâneo permaneceu praticamente constante durante o período de análise, mas houve aquecimento do mar litorâneo nas 24h que antecede o nevoeiro. O contraste noturno máximo de temperatura entre o aeroporto e o litoral maceioense foi para os três dias 6,2, 6,8 e 6,4, respectivamente (Tab. 4.7).

Tabela 4.7 – Temperatura mínima e máxima do ar no aeroporto e temperatura média diária da superfície do mar (-9,62°S e -35,62°W), para 12, 13 e 14/07/2005. Anomalia em parênteses.

Data	12/07/2005		13/07/2005		14/07/2005	
Hora	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
T2m	20,1	28,1	19,4	27,4	19,9	27,5
TSM	26,3 (-0,27)		26,2 (-0,37)		26,3 (-0,21)	

Fonte: TSM média diária (NESDIS) e T2m (dados observacionais do aeroporto).

Figura 4.47 – Linhas de corrente em 925hPa, temperatura da superfície terrestre em 2m e temperatura média diária do mar às 06Z de 12/07/2005 (a), 06Z de 13/07/2005 (b) e 06Z de 14/07/2005 (c).



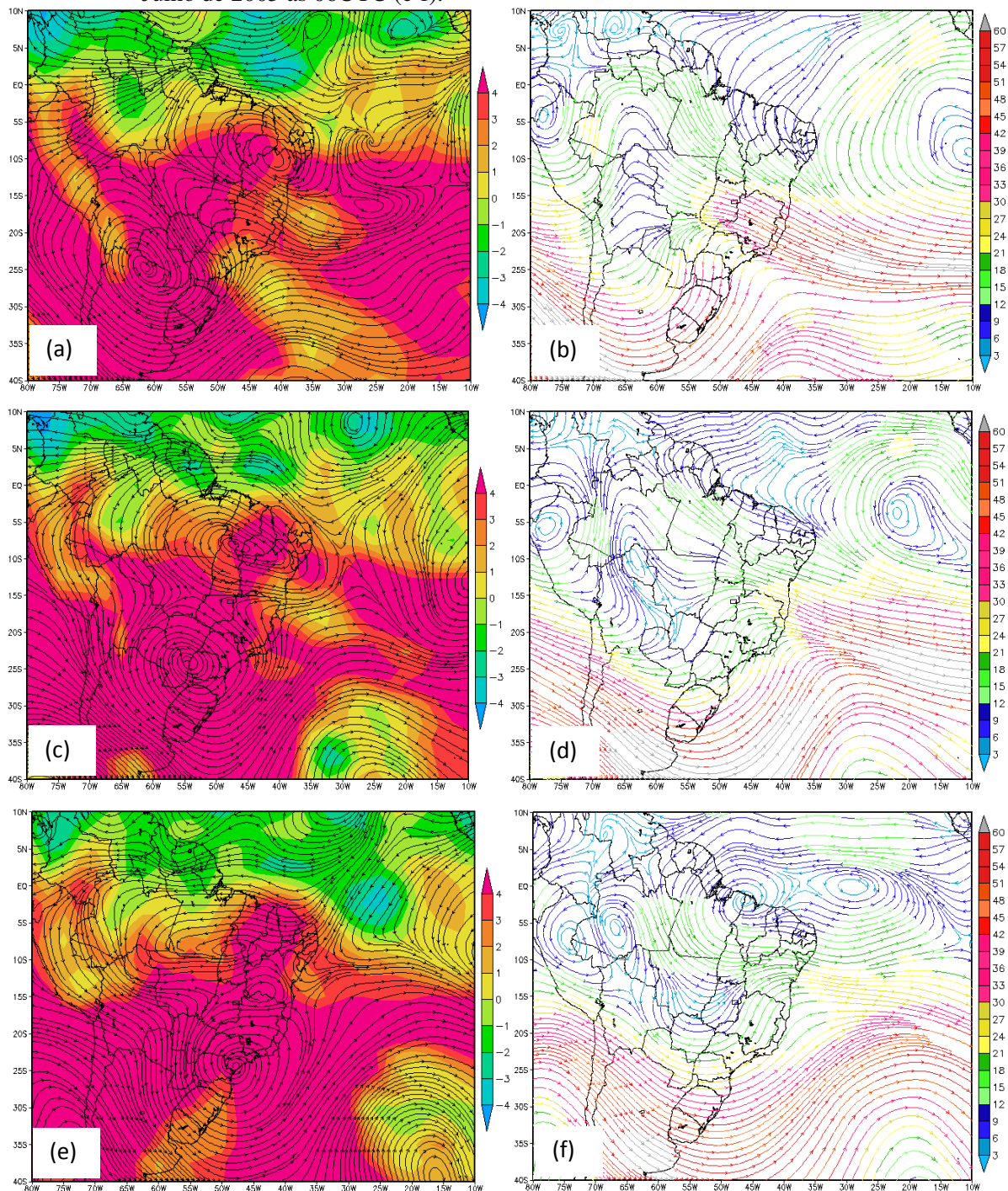
Fonte: LC (NCEP/DOE II); T2m (ECMWF); TSM média diária (NESDIS).

À leste do setor norte da costa do NEB (sobre o oceano), pode ser observado a atuação da circulação ciclônica que se deslocou para próximo da costa na P1 (Fig. 4.48a). Ao se aproximar, a circulação ciclônica se tornou um cavado mais intenso, que se uniu ao cavado proveniente do anticiclone do Hemisfério Norte (Fig. 4.48c).

Durante todo o período de análise, observa-se somente circulação anticiclônica sobre o NE, em médios e altos níveis (Fig. 4.48).

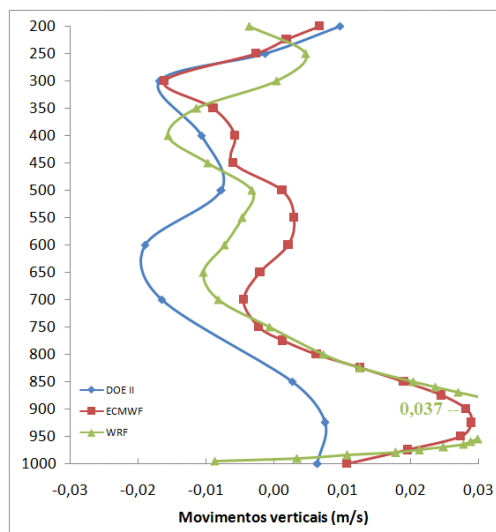
Conforme pode ser identificado no índice LI, boa parte do NEB estava sob condições de estabilidade, impossibilitando o desenvolvimento vertical das nuvens. Essa condição pode ser facilmente confirmada através das imagens de satélite (Figs. 4.46).

Figura 4.48 – Linhas de corrente em 500hPa e índice LI (Lifted Index) (esquerda) e linhas de corrente e magnitude do vento em 200hPa (direita) para o dia 12 (a-b), dia 13 (c-d) e dia 14 de Julho de 2005 às 06UTC (e-f).



Em geral, todos os modelos apresentam a mesma estrutura de movimentos verticais (Fig. 4.49). Estima-se que a presença da curvatura ciclônica, dentro da circulação anticiclônica, em baixos níveis tenha gerado movimentos ascendentes e a influência anticiclônica em médios e altos níveis tenha provocado movimentos descendente e ascendente, respectivamente.

Figura 4.49 – Perfil dos movimentos verticais (m/s) às 06UTC de 14/07/2005 elaborado para o Aeroporto de Maceió pelos modelos NCEP/DOE II (azul), ECMWF (vermelho) e WRF (verde).



Embora os modelos tenham apresentado perfis atmosféricos distintos, em geral todos tentam representar uma camada instável e relativamente mais úmida em níveis mais baixos e uma camada estável e relativamente mais seca acima.

A camada instável se encontra entre 1000-850 hPa para o NCEP/DOE II (Fig. 4.50a) e entre 1000-800 hPa para o ECMWF (Fig. 4.50b). Para o WRF (Fig. 4.50c), a camada instável se encontra acima do topo da inversão de temperatura (110 m), entre 990-900 hPa.

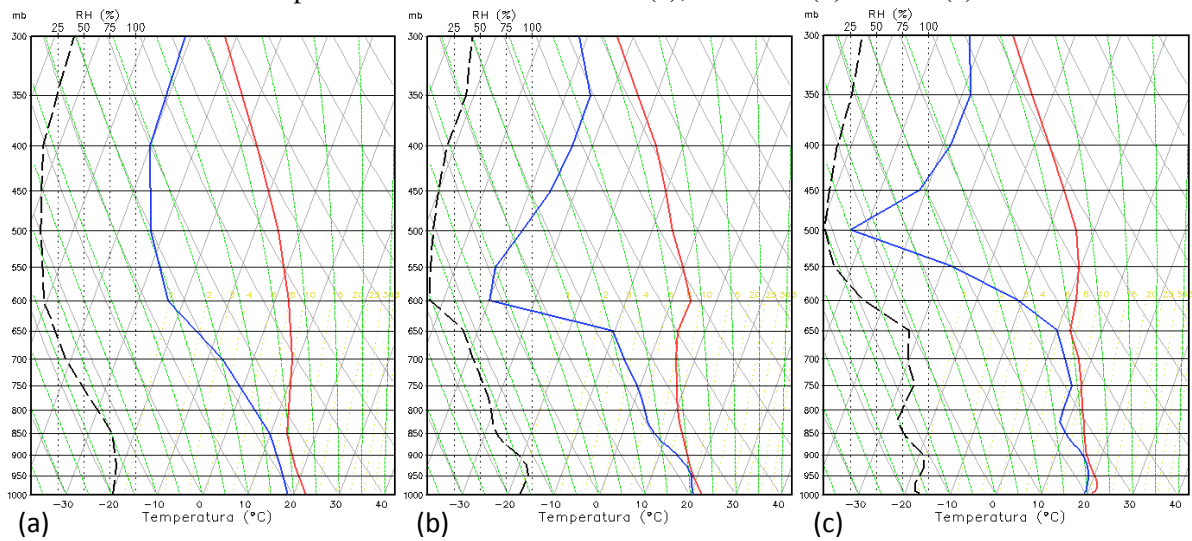
Todos os modelos também apresentaram baixo valor de umidade no primeiro nível do modelo: NCEP/DOE II (79%), ECMWF (88%) e WRF (93%). Em superfície os modelos ECMWF (93%) e WRF (96%) também apresentaram umidade abaixo do observado (100%).

Visualmente, os perfis de umidade dos modelos NCEP/DOE II e ECMWF são um tanto similares. A grande diferença pode ser vista no modelo WRF, onde a camada mais úmida se estende da superfície até 650 hPa.

O maior valor de CAPE+ foi encontrado para o perfil do modelo ECMWF (294 J/kg). Os valores de CAPE+ calculados pelos modelos NCEP/DOE II e WRF foram 18 J/kg e 0 J/kg, respectivamente.

Contudo, baseando-se no índice de instabilidade LI, nas imagens de satélite nos canais infravermelho e vapor d'água (não mostrada), estima-se que o modelo ECMWF (Fig. 4.50b) tenha melhor representado as condições de temperatura e umidade do perfil atmosférico.

Figura 4.50 – Perfil de temperatura e umidade às 06UTC de 14/07/2005 elaborado para o Aeroporto de Maceió pelos modelos NCEP/DOE II (a), ECMWF (b) e WRF (c).



#### 4.1.7 Nevoeiro Ocorrido em 26 de Julho de 2007

##### 4.1.7.1 Dados Observados

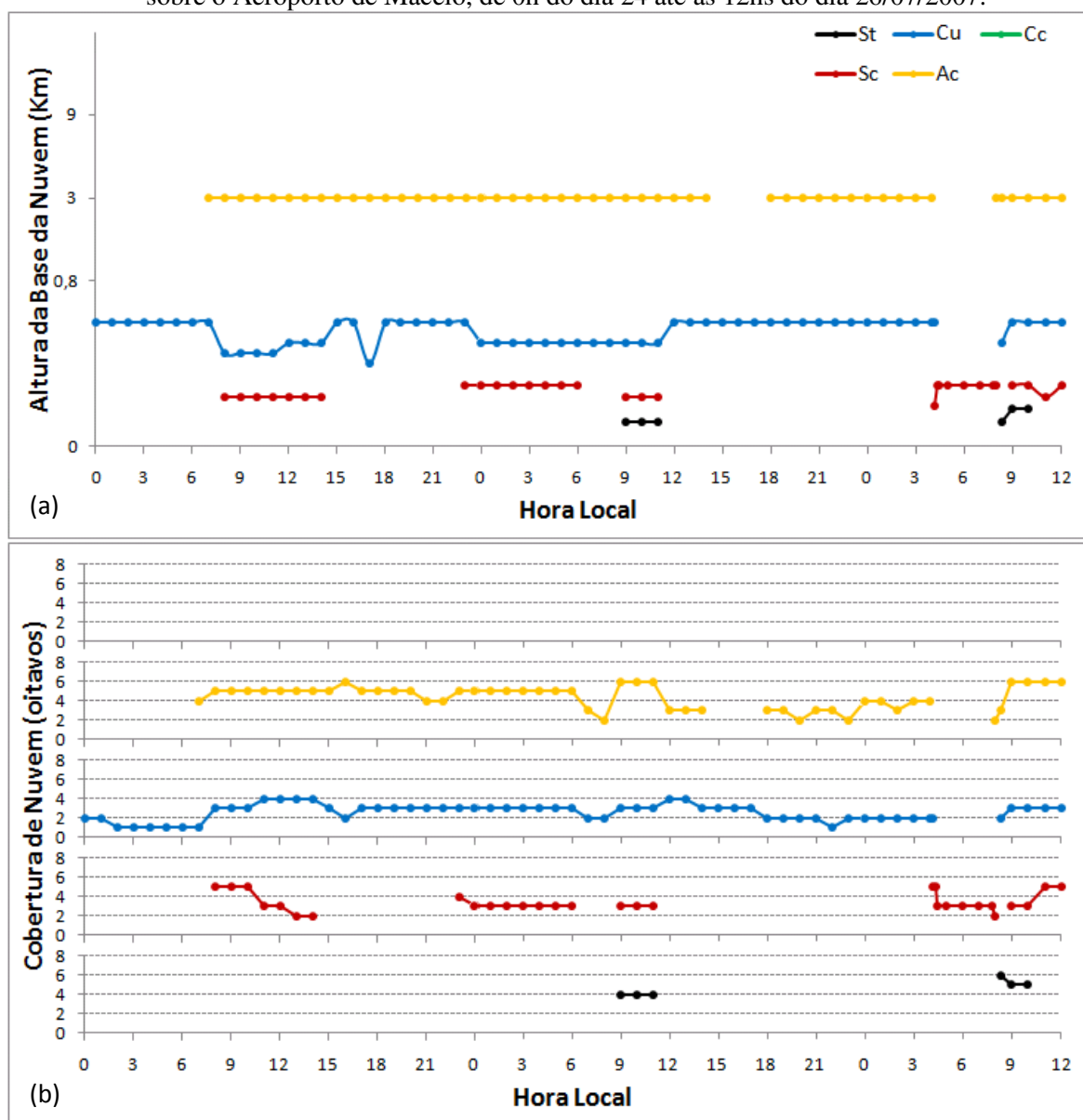
Ao longo dos dois dias que antecedem o evento de nevoeiro (P1 e P2), três camadas de nuvens foram observadas: stratocumulus, cumulus e altocumulus. A base das nuvens cumulus foi reduzida para 450 m (P1d) e 500 m (P2A-m) (Fig. 4.51a). As nuvens altocumulus deixaram o tempo nublado desde P1m, cobrindo em média 5/8 do céu.

Antecedendo a formação do nevoeiro, poucas nuvens baixas (cumulus) e médias (altocumulus), cobrindo 4/8 da abobada celeste. Quando o nevoeiro atingiu intensidade máxima (200 m), foram observadas somente nuvens do tipo stratocumulus (3/8), com base em 300 metros, às 7:00h.



Após a dissipação do nevoeiro, foram novamente observadas nuvens stratus, cobrindo 5/8 do céu e com base em 180 metros (Fig. 4.51b). A cobertura total média diária para P1, P2 e P3 foram 5, 5 e 6, respectivamente.

Figura 4.51 – Dados horários de altura da base das nuvens (a) e cobertura de nuvens (oitavos) (b) sobre o Aeroporto de Maceió, de 0h do dia 24 até as 12hs do dia 26/07/2007.



A grande cobertura de nuvens produziu chuva leve em três momentos (P1m, P1-2 e P2m), cujos acumulados foram 4,1 mm, 0,6 mm e 0,9 mm. As quedas de visibilidade, vistas nestes períodos, ocorreram principalmente por causa das chuvas (Fig. 4.52a).

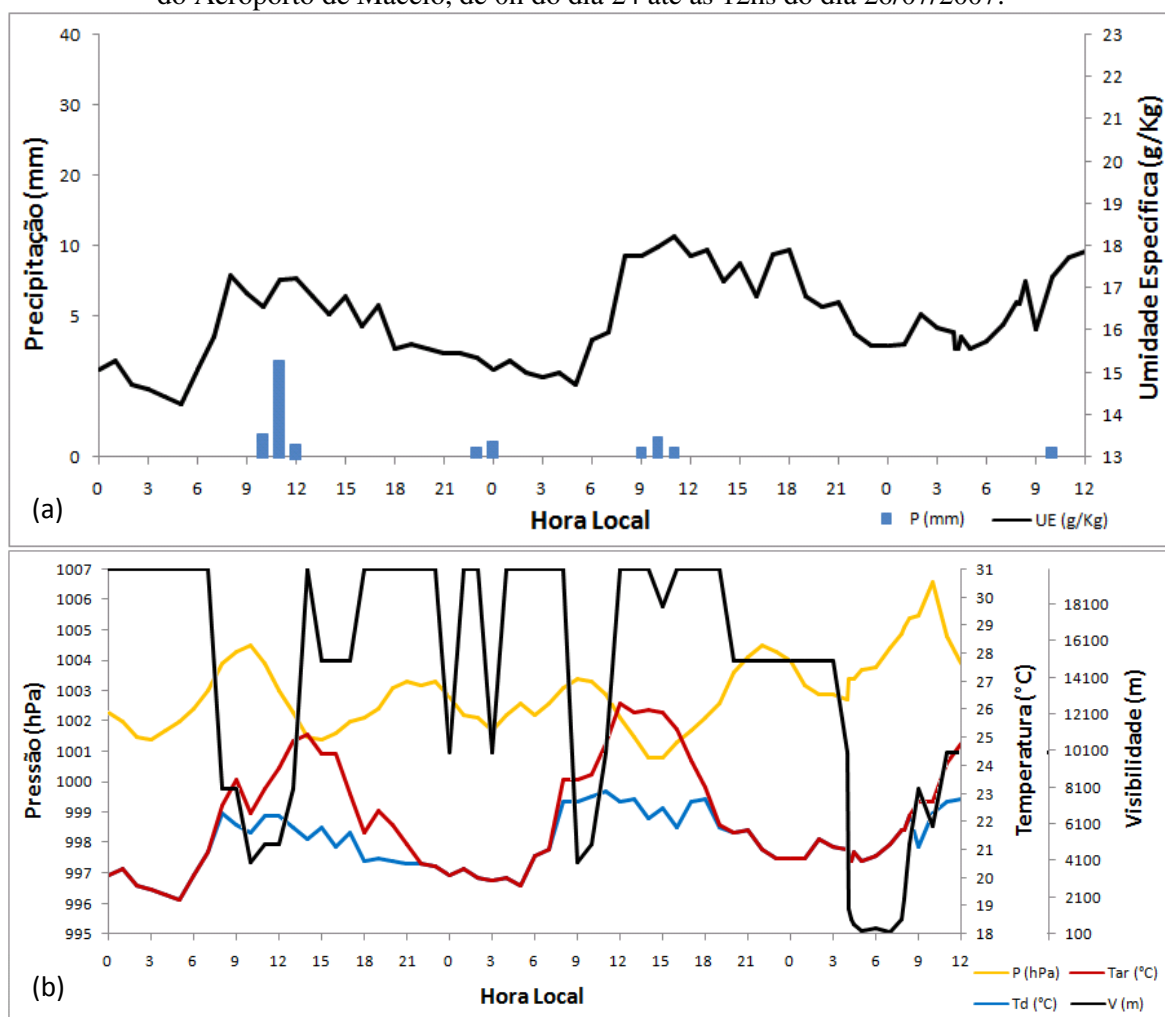
Antecedendo a formação do nevoeiro (P2-3), as condições de superfície eram alta umidade (100%), ventos fracos (<4 nós) de Oeste-Noroeste (250-300°) e, por vezes, calmaria,

resfriamento radiativo, poucas nuvens baixas e médias e precipitação leve no dia anterior. Essas condições produziram o nevoeiro com o maior tempo de duração e menor visibilidade.

A redução de visibilidade observada desde P2B foi ocasionada pela névoa úmida, a qual reduziu a visibilidade para até 10 km, às 4h de P3A. Em apenas 19 minutos (4:19h), a visibilidade caiu de 10 km para 900 m, dando origem ao nevoeiro com duração aproximada de 4 horas (entre 4:19h e 8:00h), alcançando visibilidade mínima de 200 m (intensidade moderada) e céu visível (Fig. 4.52b).

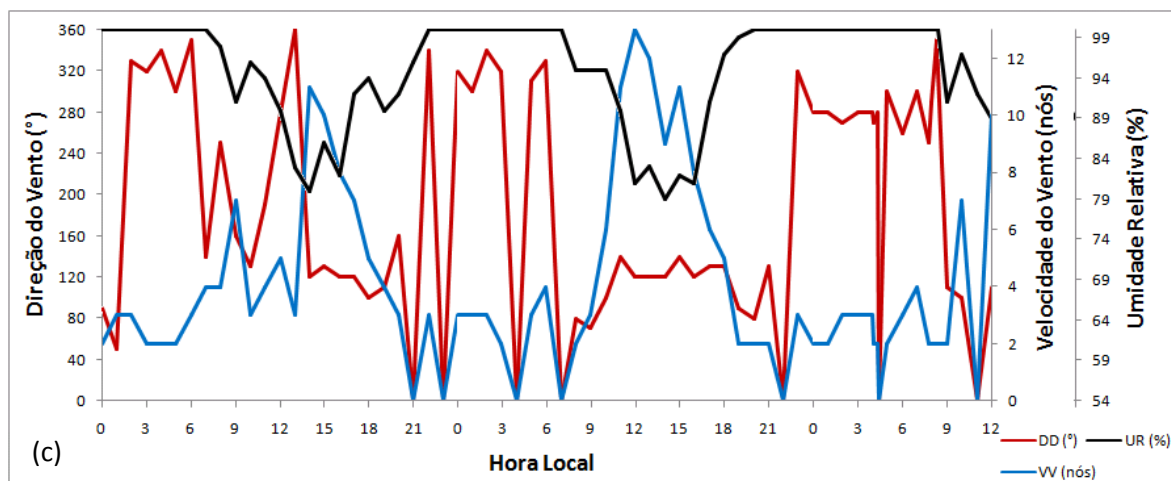
Os valores de temperatura do ar e pressão, no momento em que o nevoeiro atingiu visibilidade mínima, foram 21,2°C e 1004,4 hPa. A taxa de resfriamento do ar entre 15-21h foi 0,70°C/h. E aquela antecedente a formação do nevoeiro foi 0,16°C/h.

Figura 4.52 – Dados horários de precipitação e umidade específica (a), pressão, temperatura do ar, do ponto de orvalho e visibilidade (b), direção e velocidade do vento e umidade relativa (c) do Aeroporto de Maceió, de 0h do dia 24 até as 12hs do dia 26/07/2007.



Continua Figura 4.52

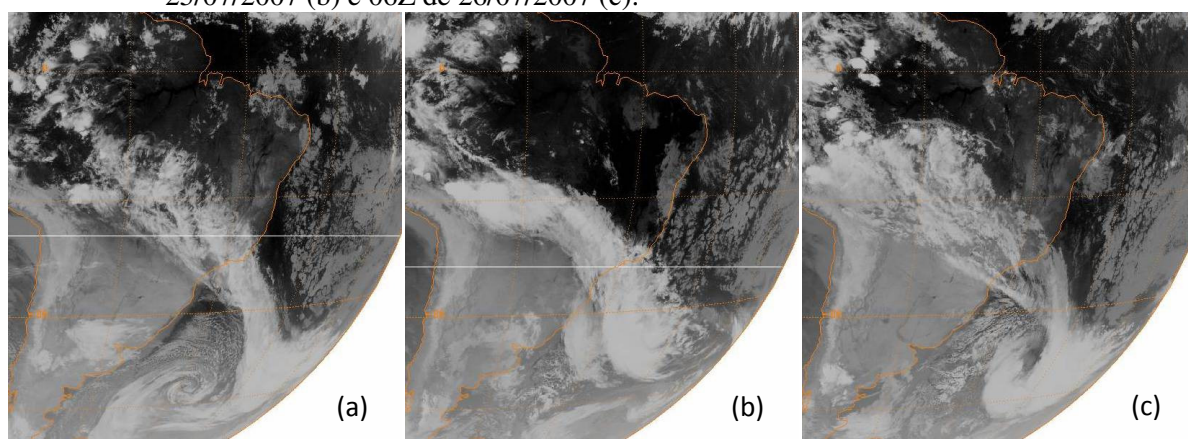
## Conclusão Figura 4.52



## 4.1.7.2 Situação Sinótica

As imagens de satélite abaixo mostram a nebulosidade oriunda de leste, sendo transportada por meio dos ventos alísios em direção a costa do NEB, nos dias que antecede a formação do nevoeiro (Fig. 4.53a,b). Também é possível identificar a ausência de outros sistemas de escala sinótica que podem afetar as condições do tempo em Alagoas, tais como: ZCIT, VCAN e Zonas Frontais ou suas extremidades. A figura 4.53c mostra a nebulosidade momentos antes da formação do nevoeiro.

Figura 4.53 – Imagem do satélite GOES-12 no canal infravermelho às 06Z de 24/07/2007 (a), 12Z de 25/07/2007 (b) e 06Z de 26/07/2007 (c).



Fonte: GIBBS/NOAA.

Desde a P1, já era possível observar a presença de uma leve curvatura ciclônica à leste da costa do NEB (Fig. 4.54a). A existência de curvatura ciclônica advinda de leste remete ao sistema sinótico POA, o qual provoca instabilidade ao se aproximar da costa leste do NEB.

No dia anterior ao evento de nevoeiro (P2), a evolução do sistema remete ao bifurcamento do escoamento de leste, onde Alagoas se encontra na entrada dele (Fig. 4.54b). Este tipo de estrutura permaneceu até mesmo após a dissipação do nevoeiro.

A POA desse caso originou um fraco cavado na costa leste e outro mais intenso na costa oeste do NEB (região central do bifurcamento). A nebulosidade associada ao cavado se tornava mais ativa sobre as águas quentes, que banhavam a costa do NEB (Fig. 4.54c).

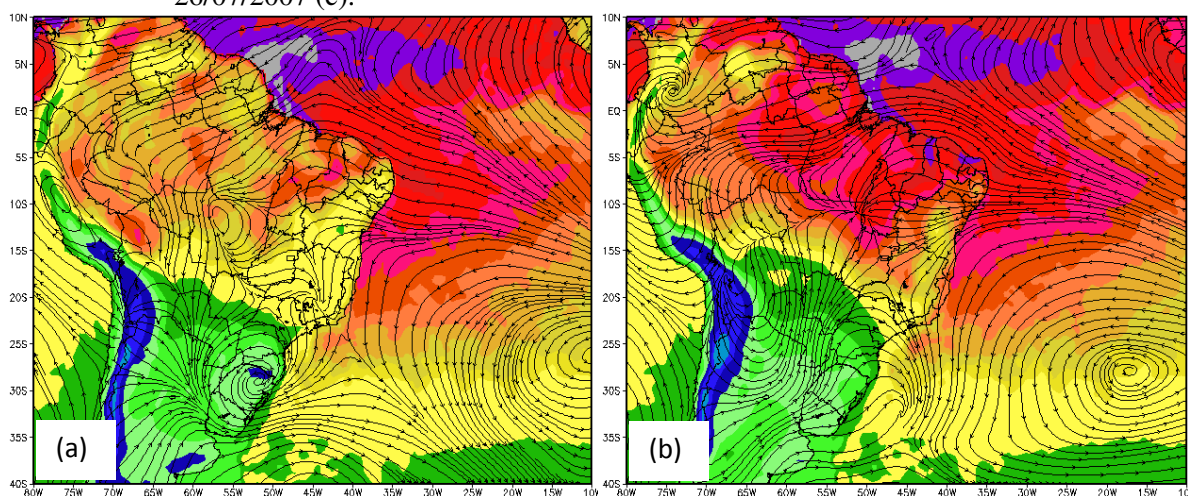
Com base nos dados de TSM média, observa-se que a costa alagoana esteve banhada por águas quentes, com temperatura próximo de 26°C. A temperatura média diária do mar litorâneo esteve se resfriando lentamente durante o período de análise. O contraste noturno máximo de temperatura entre o aeroporto e o litoral maceioense foi para os três dias 6,8, 6,1 e 5,1, respectivamente (Tab. 4.8).

Tabela 4.8 – Temperatura mínima e máxima do ar no aeroporto e temperatura média diária da superfície do mar (-9,62°S e -35,62°W), para 24, 25 e 26/07/2007. Anomalia em parênteses.

Data	24/07/2007		25/07/2007		26/07/2007	
Hora	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
T2m	19,2	25,1	19,7	26,2	20,6	24,8
TSM	26,0 (-0,35)		25,8 (-0,62)		25,7 (-0,65)	

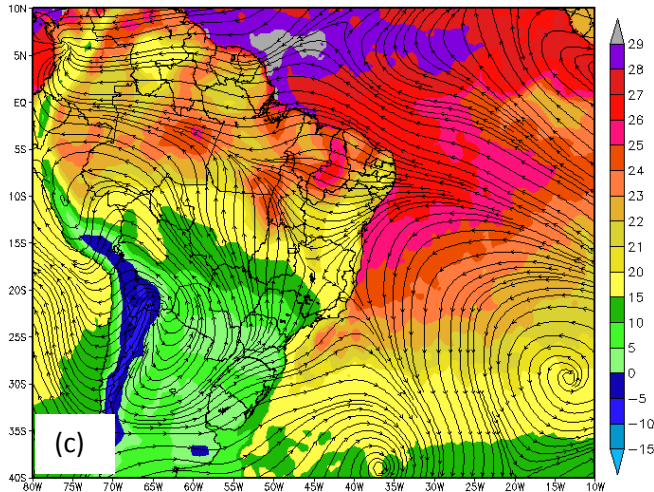
Fonte: TSM média diária (NESDIS) e T2m (dados observacionais do aeroporto).

Figura 4.54 – Linhas de corrente em 925hPa, temperatura da superfície terrestre em 2m e temperatura média diária do mar às 06Z de 24/07/2007 (a), 12Z de 25/07/2007 (b) e 06Z de 26/07/2007 (c).



Continua Figura 4.54

### Conclusão Figura 4.54

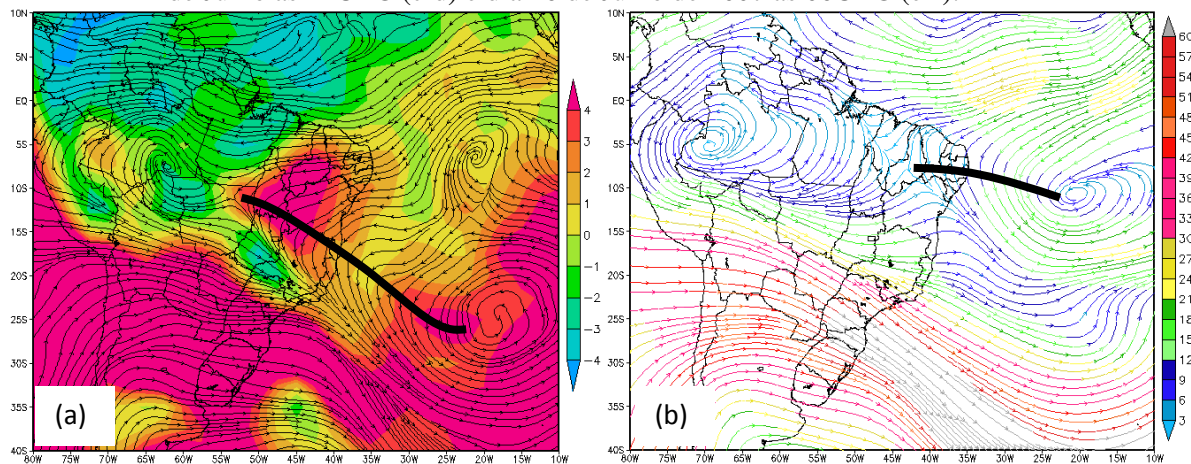


Fonte: LC (NCEP/DOE II); T2m (ECMWF); TSM média diária (NESDIS).

Em médios níveis, boa parte do NEB estava sob condições de estabilidade atmosférica ( $LI= 6,0$ ). Essa região de estabilidade estava sob influência do anticiclone (curva preta) de médios níveis. Entre P1 e P3, o índice de instabilidade LI variou de 2,1 a 0,6, indicando que a atmosfera passou de condições sem atividade convectiva significativa para possibilidade de convecção rasa (Figs. 4.55a,c,e).

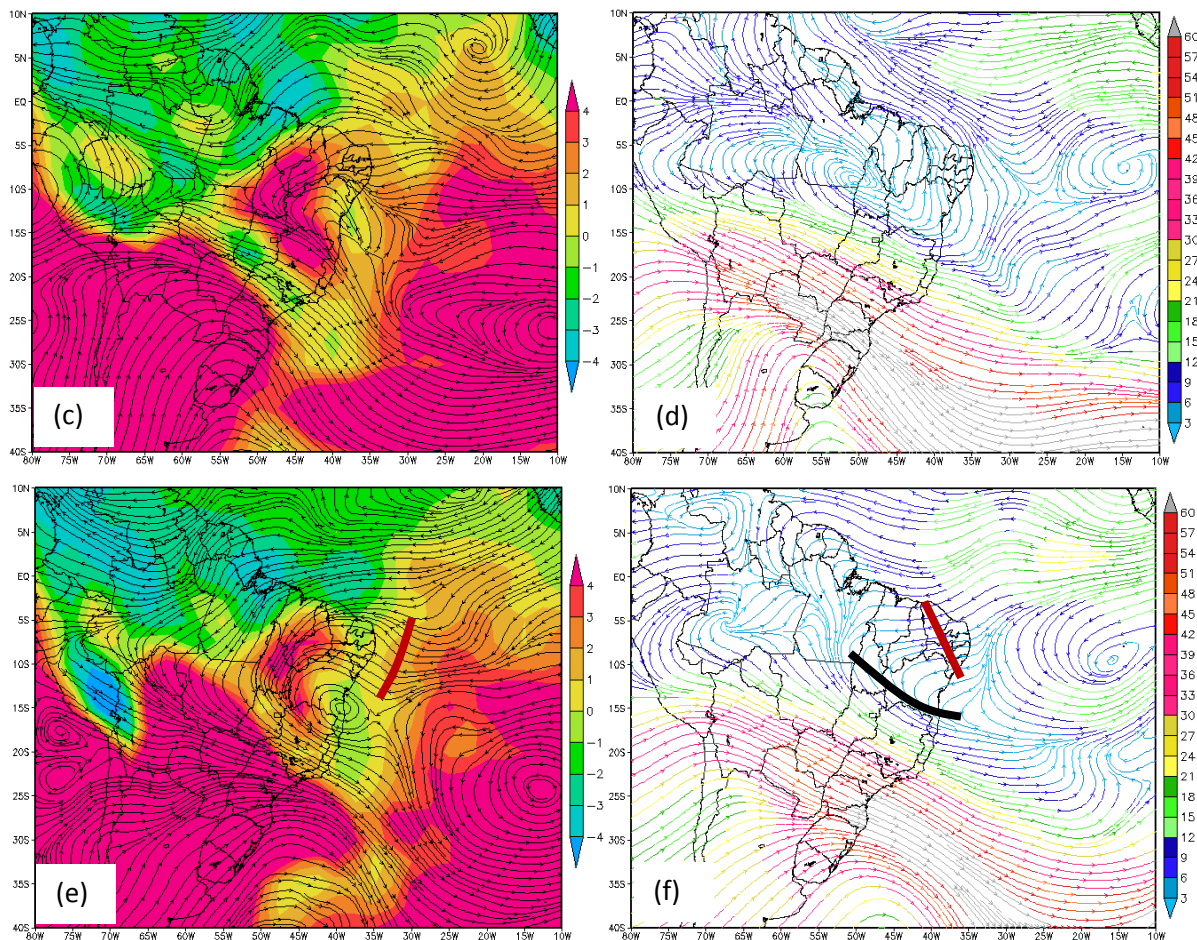
Em altos níveis, Alagoas esteve sob influência anticiclônica nos dois dias que antecede o evento de nevoeiro (Fig. 4.55b,d). Desde P2B que se desenvolvia um cavado (curva vermelha) tanto em médios a leste da costa do NEB (Fig. 4.55e), quanto em altos níveis (Fig. 4.55f).

Figura 4.55 – Linhas de corrente em 500hPa e índice LI (Lifted Index) (esquerda) e linhas de corrente e magnitude do vento em 200hPa (direita) para o dia 24 de Julho às 06UTC (a-b), dia 25 de Julho às 12UTC (c-d) e dia 26 de Julho de 2007 às 06UTC (e-f).



Continua Figura 4.55

## Conclusão Figura 4.55



Fonte: NCEP/DOE II.

Os movimentos verticais apresentados pelo modelo NCEP/DOE II se diferenciou dos demais modelos apenas em baixos níveis. Então, em geral, estima-se que devido à existência de leve curvatura ciclônica em baixos níveis ou passagem da POA, os movimentos verticais são ascendentes. A presença da curvatura ciclônica em médios e altos níveis também provocaram movimentos ascendentes (Fig. 4.56).

Diferentemente dos modelos NCEP/DOE II (Fig. 4.57a) e ECMWF (Fig. 4.57b), o modelo WRF (Fig. 4.57c) apresentou alta umidade desde a superfície até 600 hPa. Possivelmente, os modelos NCEP/DOEII e ECMWF melhor representam a umidade do perfil vertical que antecede a formação deste evento de nevoeiro.

A diferença entre os dois primeiros modelos está no perfil de umidade em baixos níveis (1000-850 hPa), onde T-Td médio da camada foi aproximadamente 3,7°C (NCEP/DOE II) e 0,25°C (ECMWF). A camada de instabilidade de ambos os modelos se encontra entre 1000-850 hPa. O modelo WRF foi o único a identificar uma camada de inversão de temperatura em baixos níveis, onde o topo esteve a uma altura de 291 metros acima do solo

(Fig. 4.57c). Os valores calculados de CAPE+ foram próximos para NCEP/DOE II (425 J/kg) e ECMWF (313 J/kg), devido à semelhança entre eles.

Figura 4.56 – Perfil dos movimentos verticais (m/s) às 06UTC de 26/07/2007 elaborado para o Aeroporto de Maceió pelos modelos NCEP/DOE II (azul), ECMWF (vermelho) (a) e WRF (verde) (b).

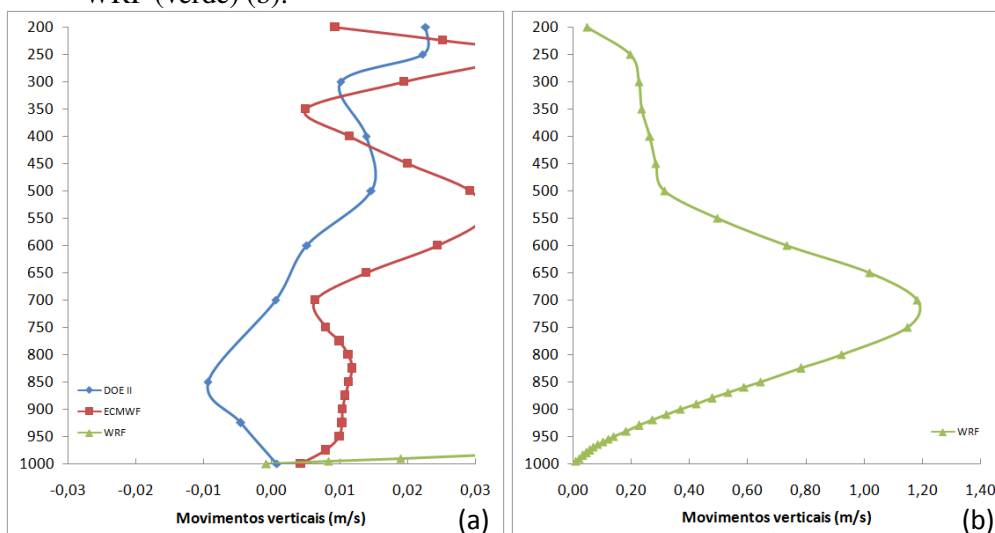
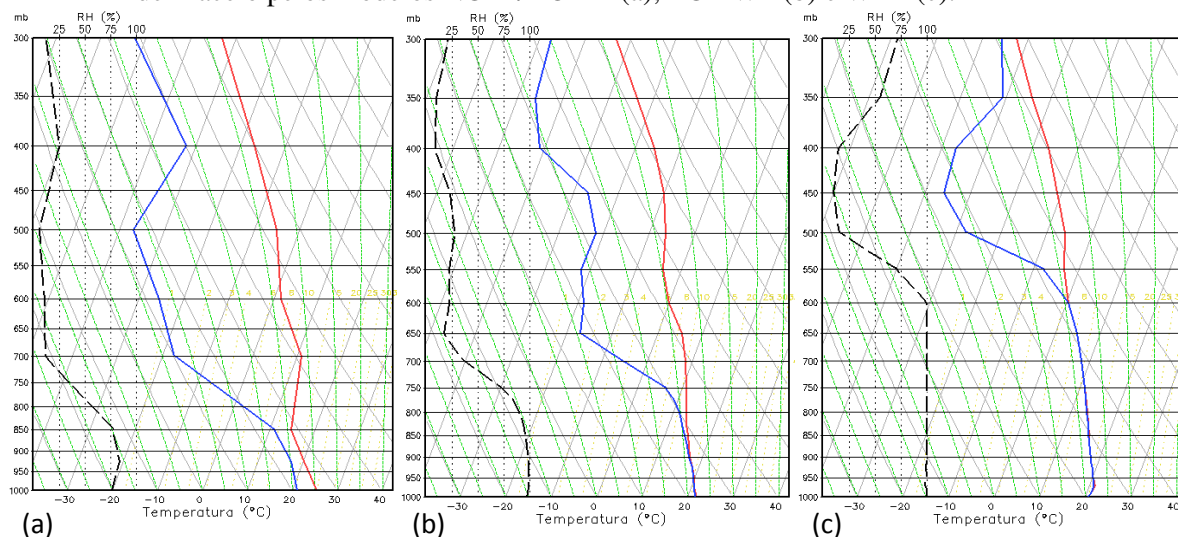


Figura 4.57 – Perfil de temperatura e umidade às 06UTC de 26/07/2007 elaborado para o Aeroporto de Maceió pelos modelos NCEP/DOE II (a), ECMWF (b) e WRF (c).



## 4.2 Previsão Numérica

### 4.2.1 Avaliação dos Perfis Previstos

A comparação entre os perfis verticais de temperatura e umidade reais (Radiossonda de Recife) e previstos pelo modelo WRF, na mesma posição geográfica, foi feita com base no quadro 4.2 e no módulo da diferença entre eles (Fig. 4.58). A estação de altitude de Recife foi escolhida por ser a mais próxima de Maceió (~188 km).

Os Quadros dos APÊNDICES A e B foram elaborados com o simples intuito de identificar os estados atmosféricos dos perfis verticais de temperatura, ou seja, os valores existentes serviram para classificação do estado atmosférico da camada, conforme descrito no quadro 4.2. Com isso, é possível verificar se o modelo WRF conseguiu identificar os mesmos estados atmosféricos encontrados nos dados de radiossonda de Recife.

Quadro 4.2 – Condiçionais para classificação dos estados atmosféricos.

$\frac{\Delta\theta}{\Delta z} > 0$ e $\frac{\Delta T}{\Delta z} - \Gamma_m > 0$	Camada Absolutamente Estável (C.A.E)
$\frac{\Delta\theta}{\Delta z} > 0$ e $\frac{\Delta T}{\Delta z} - \Gamma_m < 0$	Camada Condicionalmente Instável (C.C.I)
$\frac{\Delta\theta}{\Delta z} < 0$ e $\frac{\Delta T}{\Delta z} - \Gamma_m < 0$	Camada Absolutamente Instável (C.A.I)
$T_{zb} < T_{zt}$	Camada de Inversão Térmica (C.I.T)
$T_{zb} = T_{zt}$	Camada de Isotermia (C.D.I)

De maneira simplificada, pode-se dizer que as principais deficiências dos perfis previstos (WRF) estão nas identificações das C.I.T., C.D.I. e umidade. Na verdade, todos os perfis previstos analisados apresentaram o mesmo comportamento: C.A.I., C.C.I. e C.A.E, como pode ser visto nos Quadros dos APÊNDICES A e B.

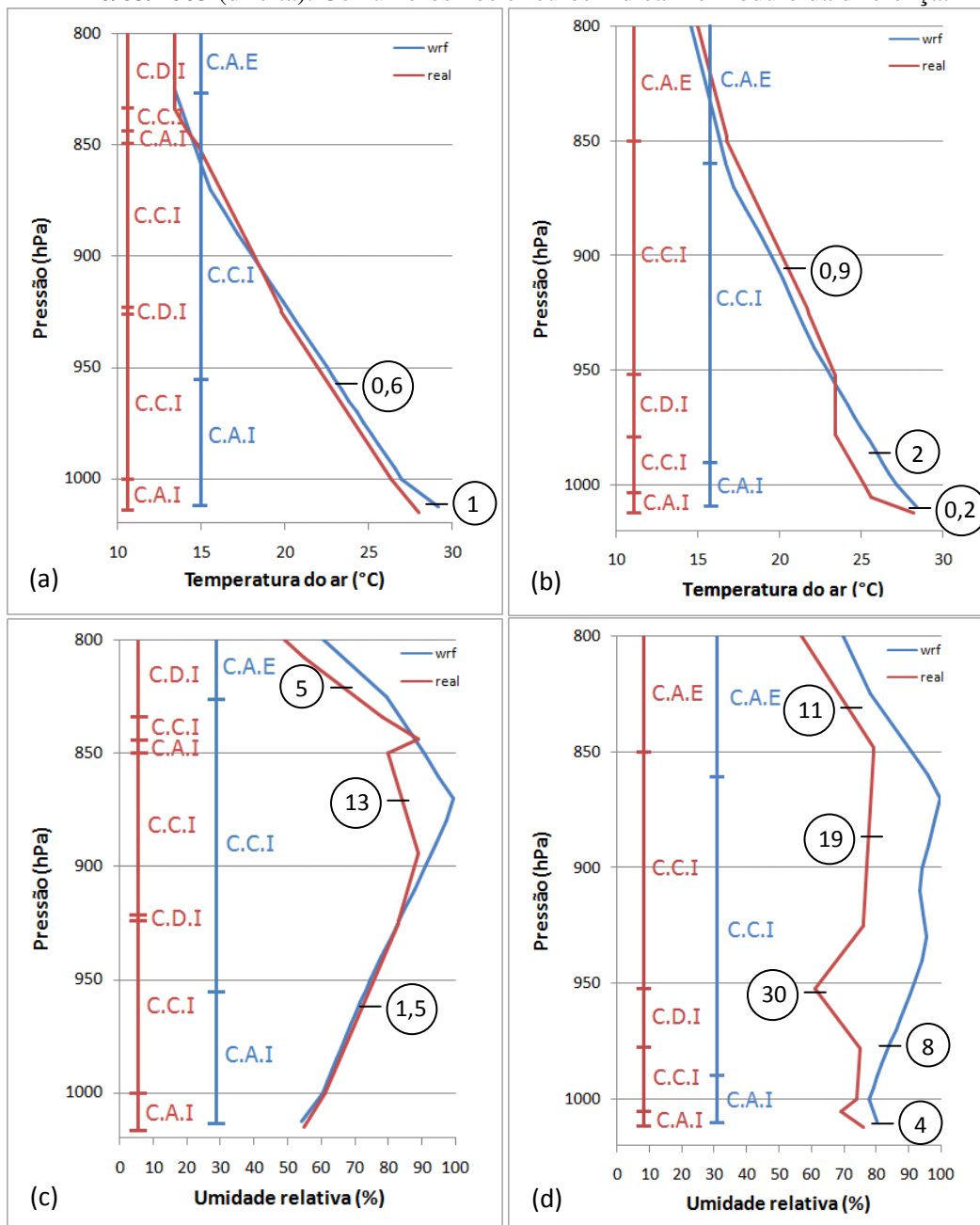
As figuras abaixo mostram a comparação entre os perfis de temperatura e umidade reais e previstos. O melhor perfil de temperatura previsto (Fig. 4.58a) apresentou diferença de 1°C próximo à superfície e de aproximadamente 0,6°C nos demais níveis. O pior perfil (Fig. 4.58b) apresentou diferença de 2°C na camada entre 1005-978 hPa e de no máximo 0,9°C nos demais níveis. O melhor perfil de umidade (Fig. 4.58c) apresentou diferença de 1,5% abaixo de 900 hPa e de 5% acima de 850 hPa, com diferença máxima de 13% em 875 hPa. O pior



perfil de umidade (Fig. 4.58d) apresentou diferença de até 8% abaixo de 980 hPa e de 11% acima de 850 hPa, com diferença máxima de 30% no nível 950hPa.

Indiscutivelmente, a maior deficiência do modelo WRF está na representação do perfil de umidade atmosférica. O perfil de umidade e a existência de inversão térmica são de grande importância para o desenvolvimento do nevoeiro e tais condições não foram bem representadas pelo WRF, para as coordenadas da estação de altitude de Recife.

Figura 4.58 – Perfil de temperatura (a,b) e umidade (c,d) real (vermelho) e previsto (azul) para estação de altitude de Recife (Lat:-8,05°;Lon:-34,91°) às 12UTC de 31/05/2003 (esquerda) e 20/05/2005 (direita). Os números nos círculos indicam o módulo da diferença.



Dentre os seis perfis reais analisados no dia anterior ao evento de nevoeiro, somente o de 20/05/2005 não houve inversão térmica, apenas isoterminia na camada entre 978-952 hPa. Dentre os cinco restantes, apenas três tinham inversão de temperatura abaixo de 800 hPa. Todos os perfis reais analisados no dia em que o nevoeiro ocorreu tiveram inversão de temperatura, sendo que em apenas dois dias (12/07/2002 e 14/07/2005) a inversão estava abaixo de 800 hPa (~2 km) (Tabela 4.9).

Tabela 4.9 – Altura do topo da inversão (Hi) e espessura topo/base inversão (Ei) observado na radiossondagem de Recife, às 12UTC do dia que antecede o nevoeiro (dia - 1) e do dia em que o nevoeiro ocorreu (dia - 0).

Data	Hi dia - 1	Hi dia - 0	Ei dia - 1	Ei dia - 0
12/04/2002	38	6111	38	111
12/07/2002	46	1927	46	195
01/06/2003	2387	2371	301	152
02/06/2004	403	2182	53	191
21/05/2005	-	4754	-	83
14/07/2005	295	60	141	60
26/07/2007	2635	5172	568	100

Fonte: Wyoming Soudings.

#### 4.2.2 Previsão com Modelo PAFOG

Dentre os oito casos identificados entre 2002-2007 (exceto 2006), somente três casos poderiam ser utilizados para avaliação do desempenho do modelo PAFOG, os casos marcados apenas com “A”, que são aqueles casos não afetados por chuva e/ou com duração menor que uma hora (Quadro 4.3).

Esses critérios foram adotados levando-se em consideração a impossibilidade que um modelo unidimensional teria em prever variações repentinas de tempo (duração menor que uma hora). Além disso, na atual versão do PAFOG não foi incorporado módulo de chuvisco. Mesmo assim, todos os casos foram utilizados para sua avaliação.

De acordo com Gultepe et. al (2007), é importante manter em mente que as previsões de nevoeiro são sensíveis as condições iniciais e ao horário de inicialização do modelo. Por exemplo, inicializando o modelo de nevoeiro a 00UTC pode gerar resultados completamente diferentes comparados àquelas inicializações executadas às 12UTC.

Quadro 4.3 – Características pertinentes aos episódios de nevoeiro no Aeroporto de Maceió. A = duração maior que uma hora, B = duração menor que uma hora e C = nevoeiro precedido e sucedido por chuva.

Data	Circunstância		
12/04/2002		B	
11/07/2002		B	C
12/07/2002	A		
01/06/2003	A		C
02/06/2004		B	
21/05/2005		B	
14/07/2005	A		
26/07/2007	A		

#### 4.2.2.1 Nevoeiro Ocorrido em 12 de Abril de 2002

Como já se sabe, o modelo PAFOG foi inicializado com os resultados do modelo WRF. O PAFOG foi inicializado a cada três horas a partir de zero hora local do dia anterior ao nevoeiro até zero hora do dia de sua ocorrência.

Assim como a maioria dos eventos de nevoeiro apresentados nesse estudo, que perduraram por um hora ou menos, esse teve duração aproximada de 41 minutos. Esse episódio de nevoeiro teve início quase uma hora após o nascer do sol. Além disso, teve características como intensidade fraca e céu visível (Quadro. 4.1).

As duas primeiras inicializações do PAFOG (Fig. 4.59a – linhas vermelha e azul), bem como as três últimas (Fig. 4.59b – linhas vermelha, azul claro e escuro) tiveram seus processos de previsão interrompidos. A interrupção acontece quando os próximos resultados não forem mais consistentes, e para isso foi desenvolvido uma rotina no código fonte do modelo (Andreas Bott, comunicação pessoal).

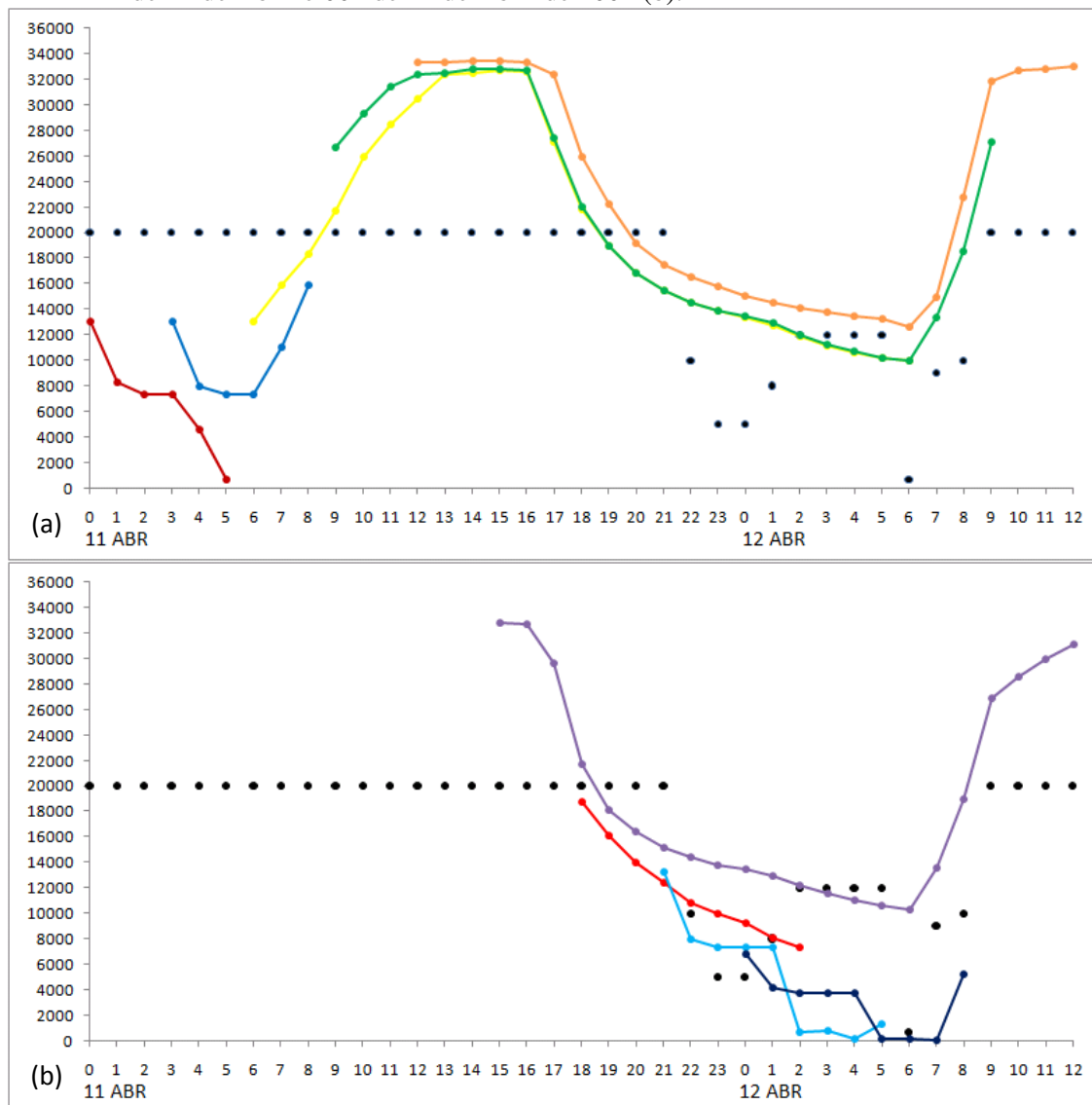
A primeira simulação (0h, linha vermelha) indicou a existência de nevoeiro, cuja visibilidade atingiu 700 m às 5h, e, em seguida, a previsão foi interrompida.

De modo geral, As previsões inicializadas 3, 6, 9, 12 (Fig. 4.59a) e 15h (Fig. 4.59b) apresentaram uma espécie de ciclo, com redução de visibilidade durante o período noturno e aumento durante o diurno. A previsão inicializada às 18h (Fig. 4.59b – linha vermelha) mostrou redução de visibilidade para 7,3 km e, em seguida, o processo de previsão foi interrompido.

A penúltima simulação (21h – linha azul claro) mostrou existência de nevoeiro entre 5 e 7h, com visibilidade mínima de 200 m. Já a última simulação (0h, linha azul escuro) previu

nevoeiro, mas com visibilidade muito abaixo do observado (120 m) e diferenças no horário de formação e dissipação do nevoeiro.

Figura 4.59 – Previsões de visibilidade horizontal inicializadas às 00, 03, 06, 09 e 12h (a) e 15, 18, 21h de 11 de Abril e 00h de 12 de Abril de 2002 (b).



Fonte: PAFOG.

#### 4.2.2.2 Nevoeiro Ocorrido em 11 e 12 de Julho de 2002

Esses dois episódios de nevoeiro ocorreram em dias consecutivos. A principal diferença entre os dois, no que se refere à previsão numérica, é que o primeiro evento (11/07) se desenvolveu em meio a chuvas, tornando-o impróprio para avaliação do PAFOG. O outro

caso não apresenta restrições para previsão com o PAFOG. Mesmo assim, ambos os casos foram utilizados para previsão.

O evento de 11/07 perdurou por apenas 30 minutos, enquanto que outro perdurou o dobro do tempo. Ambos tiveram características como intensidade fraca e céu visível.

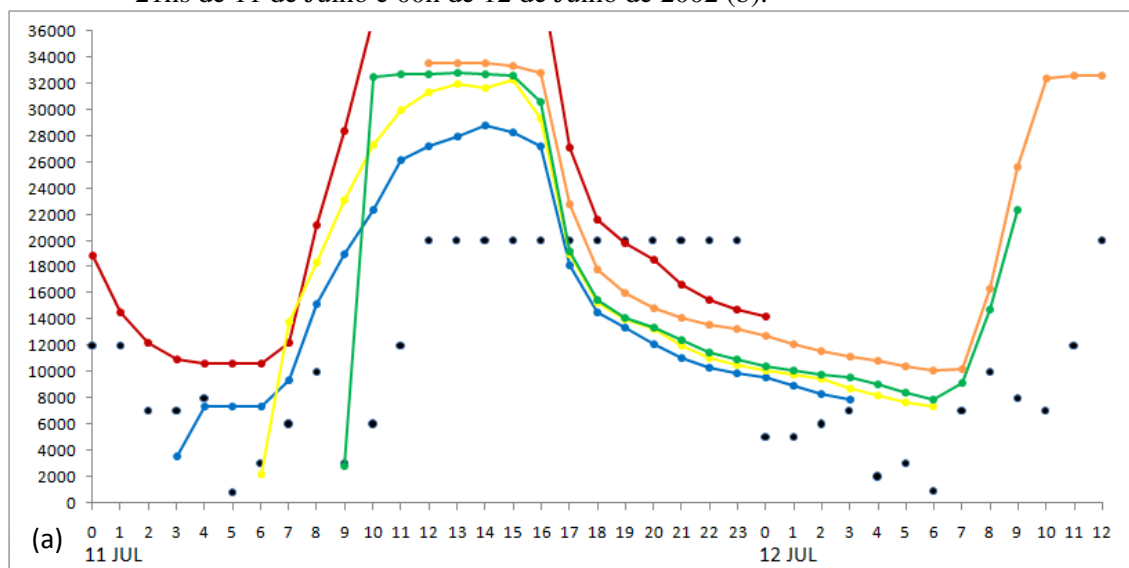
As variações de visibilidade ocorrida nas primeiras 11h, do dia 11/07, foram principalmente ocasionadas por chuvas. Então, teoricamente, a falha em não prever tal redução de visibilidade seria perfeitamente compreensível, pois no modelo não foi inserida a formação de chuva (BOTT & TRAUTMANN, 2002).

Todas as previsões da figura 4.60a (0, 3, 6, 9 e 12h) apresentaram um comportamento cíclico e tendencioso, assim como todas as outras previsões aqui mostradas, com máximos no período diurno e mínimos no noturno.

As previsões inicializadas as 15, 18 e 21h (linhas roxa, vermelha e azul claro) apresentaram o mesmo comportamento das previsões anteriores (Fig. 4.60b).

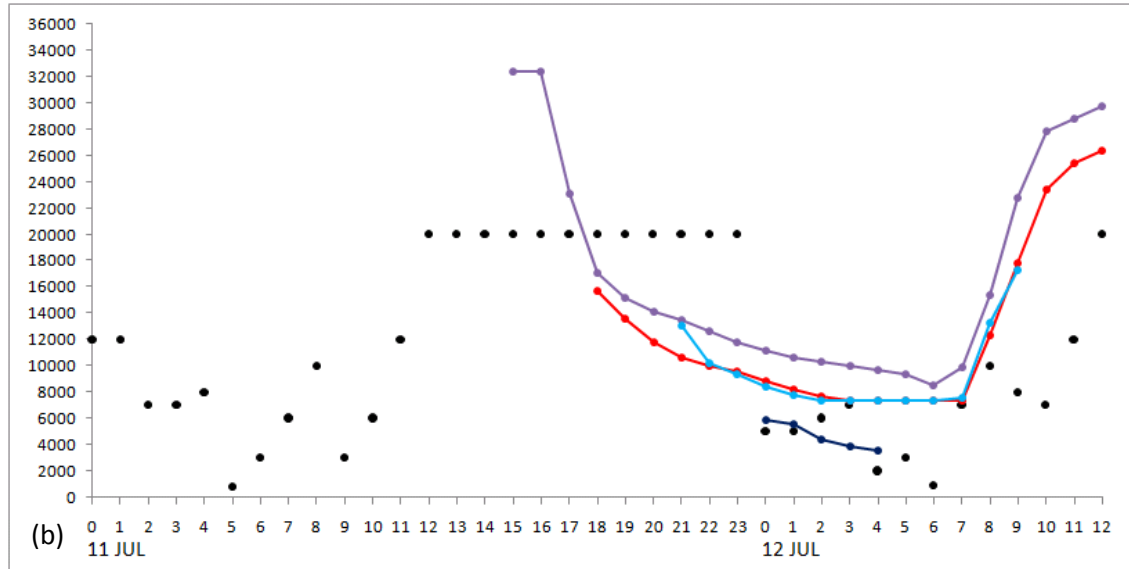
A última inicialização (0h) realizou 4 horas de previsão e depois teve seu processo interrompido. Isso acontece quando os próximos resultados se tornam inconsistentes. Assim mesmo, essa previsão mostrou constante diminuição da visibilidade até 4h, horário no qual o processo de previsão foi interrompido. A visibilidade prevista para esse horário foi 3,5 km e a observada foi de 2 km.

Figura 4.60 – Previsões de visibilidade horizontal inicializadas às 00, 03, 06, 09 e 12hs (a) e 15, 18, 21hs de 11 de Julho e 00h de 12 de Julho de 2002 (b).



Continua Figura 4.60

Conclusão Figura 4.60



Fonte: PAFOG.

#### 4.2.2.3 Nevoeiro Ocorrido em 01 de Junho de 2003

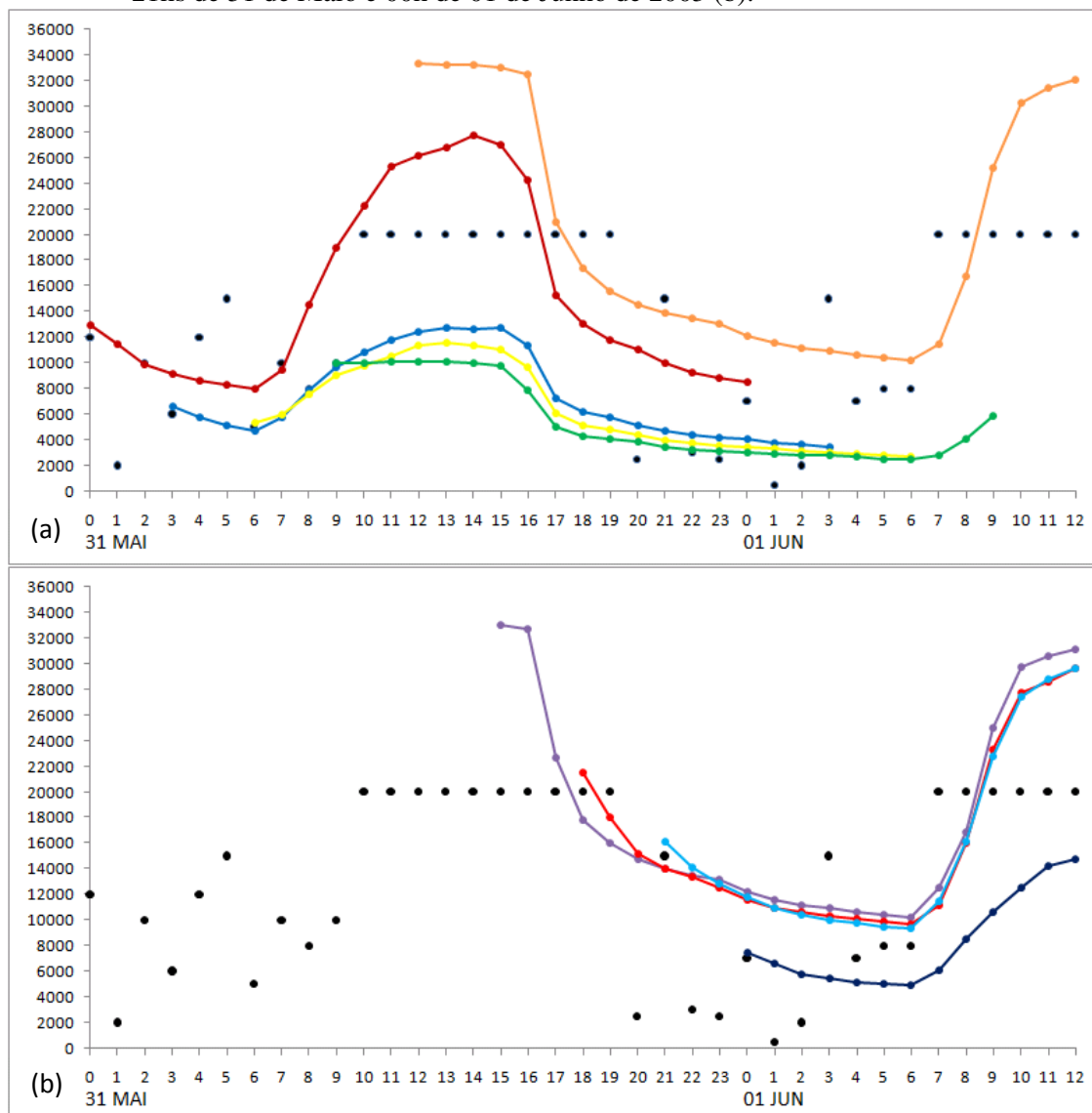
Este foi um caso com duração aproximada de uma hora, cuja visibilidade ficou restrita a 500m, tendo como características intensidade moderada, mas de céu visível. Além disso, esse episódio de nevoeiro se formou durante uma recessão das chuvas, o que tornou esse caso impróprio para avaliação de desempenho do PAFOG, pois ainda não foi inserido no mesmo a formação chuvisco (BOTT & TRAUTMANN, 2002). Ou seja, o modelo não está pronto para descrever a participação das chuvas na a redução da visibilidade.

No geral, todas as previsões inicializadas até as 12h, do dia 31, também apresentaram um ciclo tendencioso, assim como as outras previsões mostradas anteriormente, com máximos no período diurno e mínimos no noturno. No entanto, as previsões intermediárias, inicializadas as 3, 6 e 9h (linhas azul, amarela e verde), apresentaram visibilidade máxima de 12,8 km, o que resultou em previsões subestimadas (Fig. 4.61a).

As previsões inicializadas as 15, 18 e 21h (linhas roxa, vermelha e azul claro) não identificaram as variações de visibilidade ocorrida antes e após o evento de nevoeiro. Mas isso pode ser atribuído a ocorrência de chuvas nesse período, conforme havia sido dito anteriormente (Fig. 4.61b).

A última previsão (0h, linha azul escuro), foi inicializada em condições de redução de visibilidade por chuva e baixa umidade. Como resultado, o nevoeiro não foi previsto.

Figura 4.61 – Previsões de visibilidade horizontal inicializadas às 00, 03, 06, 09 e 12hs (a) e 15, 18, 21hs de 31 de Maio e 00h de 01 de Junho de 2003 (b).



Fonte: PAFOG.

#### 4.2.2.4 Nevoeiro Ocorrido em 21 de Maio de 2005

Este episódio de nevoeiro foi o que menos perdurou dentre todos apresentados nesse estudo, com duração aproximada de 18 min. Apesar da curta duração, a menor visibilidade registrada foi de 300 m. Esse nevoeiro foi classificado como moderado, sem mudança em seu período de ocorrência e de céu visível, caracterizando um nevoeiro raso (Quadro 4.1).

As previsões inicializadas entre 0 e 12h tiveram um comportamento muito similar, apresentando os menores valores no período noturno e maiores valores no período diurno (Fig. 4.62a). É perfeitamente compreensível a previsão incorreta e tendenciosa para valores

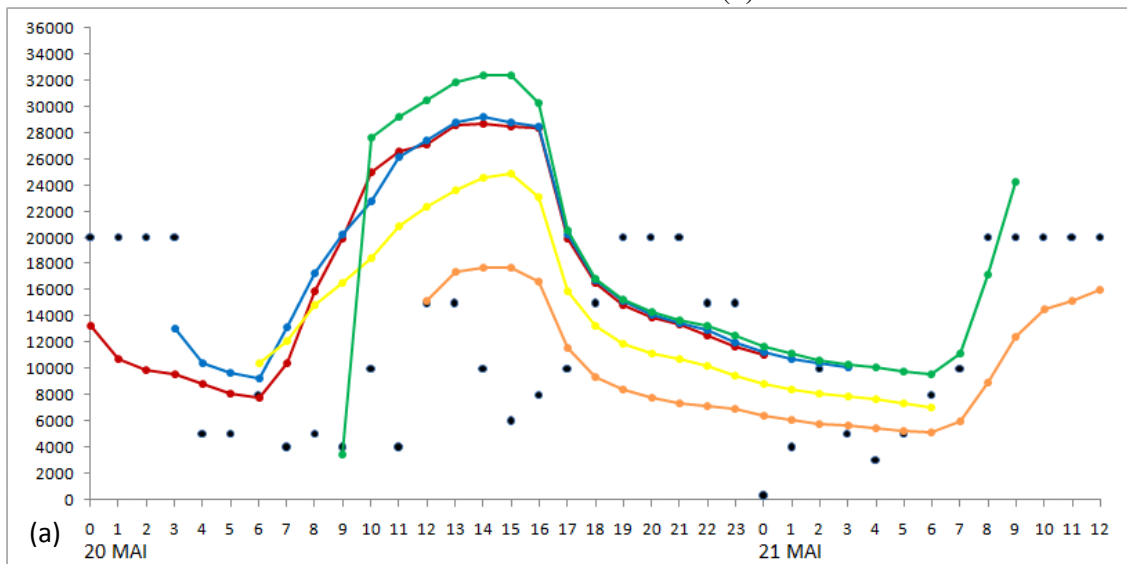
mais altos entre as 4h e 17h do dia 20, pois nesse período a visibilidade foi reduzida, devido a ocorrência de chuva.

A previsão inicializada às 15h (linha roxa) mostrou um abrupto aumento de visibilidade, que também é perfeitamente compreensível, primeiramente porque a visibilidade esteve baixa por causa da chuva e também era um período de instabilidade com baixa umidade (Fig. 4.62b).

As previsões inicializadas as 18h e 21h apresentaram o mesmo comportamento, reduzindo a visibilidade até o nascer do sol, mas sem possibilidades de ocorrência de nevoeiro. A previsão inicializada a 0h foi a única em todo o experimento que teve como condição inicial a existência de nevoeiro. Poucas horas após a repentina aparição do nevoeiro, a visibilidade variou entre 3-5 km. O PAFOG previu aumento de visibilidade após o nevoeiro em torno de 7,3 km e, em seguida, visibilidade máxima após o nascer do sol (Fig. 4.62b).

A falha do PAFOG em não prever um fenômeno com duração de apenas 18 minutos é perfeitamente compreensível, para um modelo unidimensional e não parametrizado para as características locais.

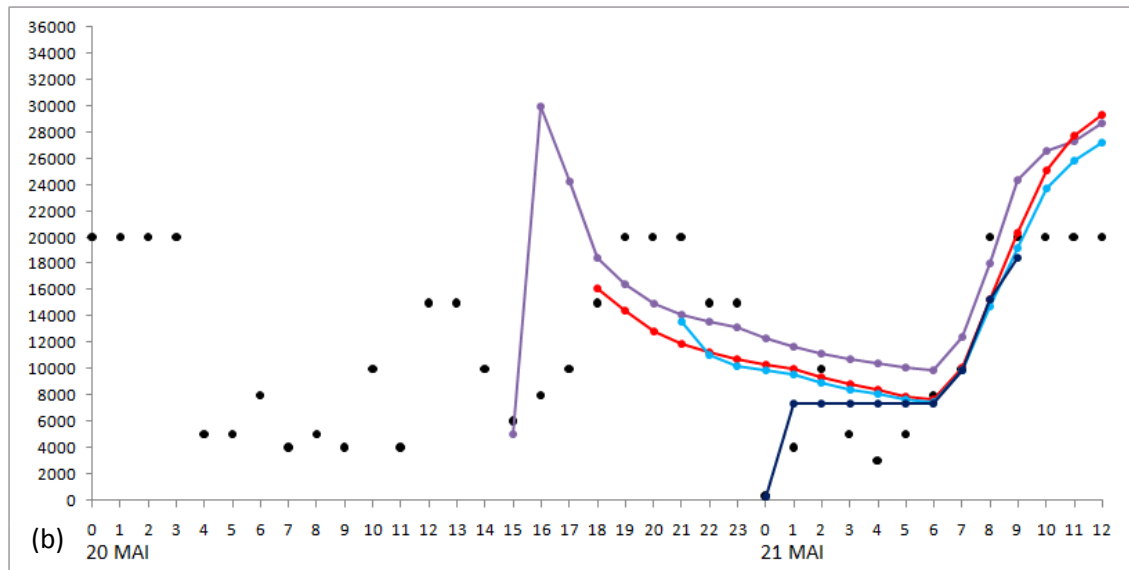
Figura 4.62 – Previsões de visibilidade horizontal inicializadas às 00, 03, 06, 09 e 12hs (a) e 15, 18, 21hs de 20 de Maio e 00h de 21 de Maio de 2005 (b).



Continua Figura 4.62



Conclusão Figura 4.62



Fonte: PAFOG.

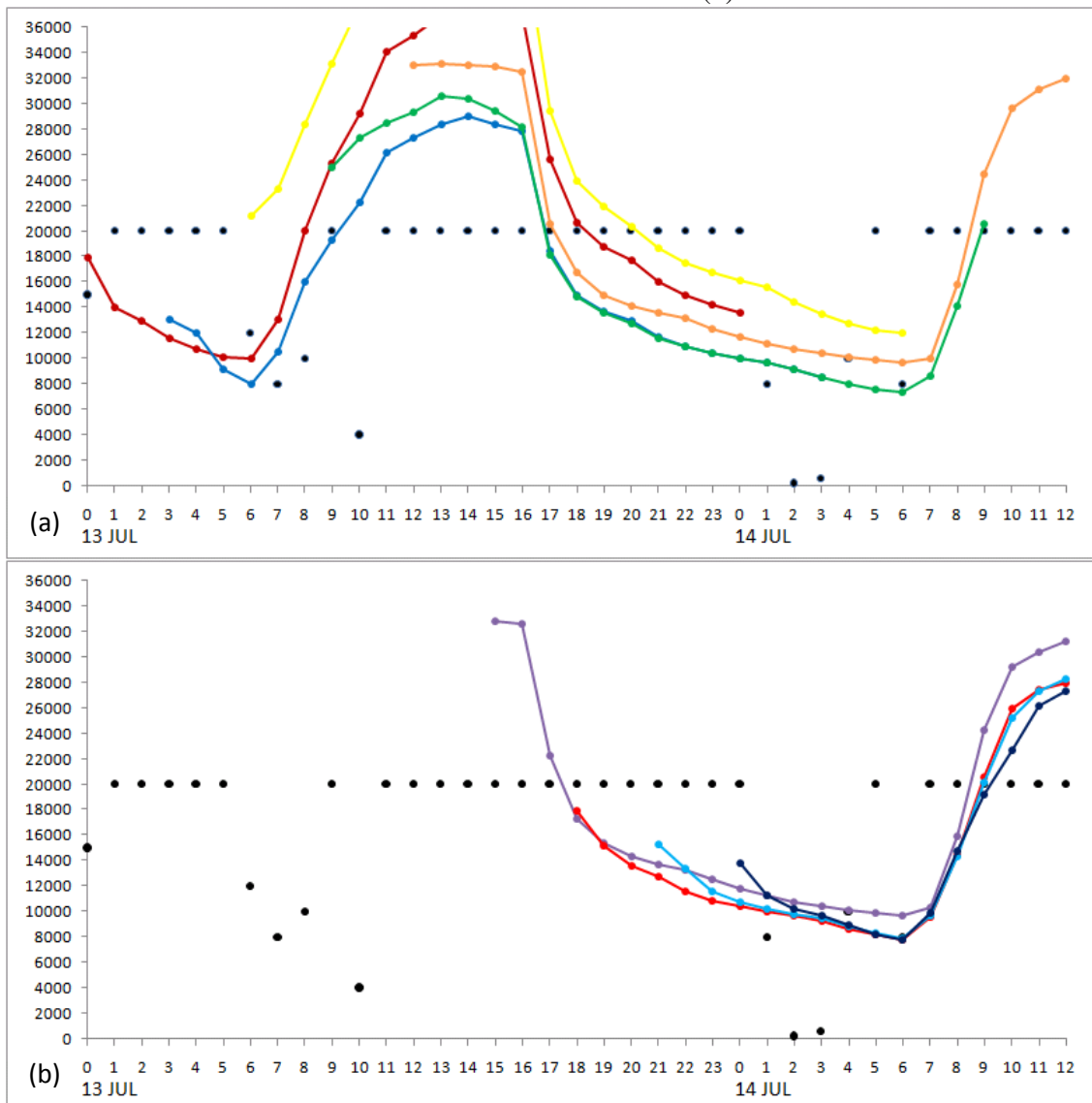
#### 4.2.2.5 Nevoeiro Ocorrido em 14 de Julho de 2005

Esse evento de nevoeiro foi o segundo a perdurar por mais de uma hora, reduzindo drasticamente a visibilidade horizontal para 200 m. Mesmo permanecendo presente por quase duas horas e reduzindo a visibilidade para 200 m, foi registrado como nevoeiro com céu visível, indicando que o nevoeiro era raso (Quadro 4.1).

As variações de visibilidade ocorridas no dia 13/07, foram principalmente causadas por chuvas. A redução de visibilidade prevista pelo PAFOG nas duas primeiras inicializações (0h e 3h) podem ser consideradas como coincidência (Fig. 4.63a). Pois como já foi visto anteriormente, o modelo tem um comportamento semelhante a um ciclo máximo e mínimo, onde os máximos ocorrem no período diurno e os mínimos no período noturno. O segundo mínimo de visibilidade, da previsão do PAFOG, não conseguiu identificar a existência do nevoeiro.

Como pode ser visto na figura 4.63b, as previsões inicializadas entre 15h e 0h também não conseguiram prever a ocorrência de nevoeiro.

Figura 4.63 – Previsões de visibilidade horizontal inicializadas às 00, 03, 06, 09 e 12hs (a) e 15, 18, 21hs de 13 de Julho e 00h de 14 de Julho de 2005 (b).



Fonte: PAFOG.

#### 4.2.2.6 Nevoeiro Ocorrido em 26 de Julho de 2007

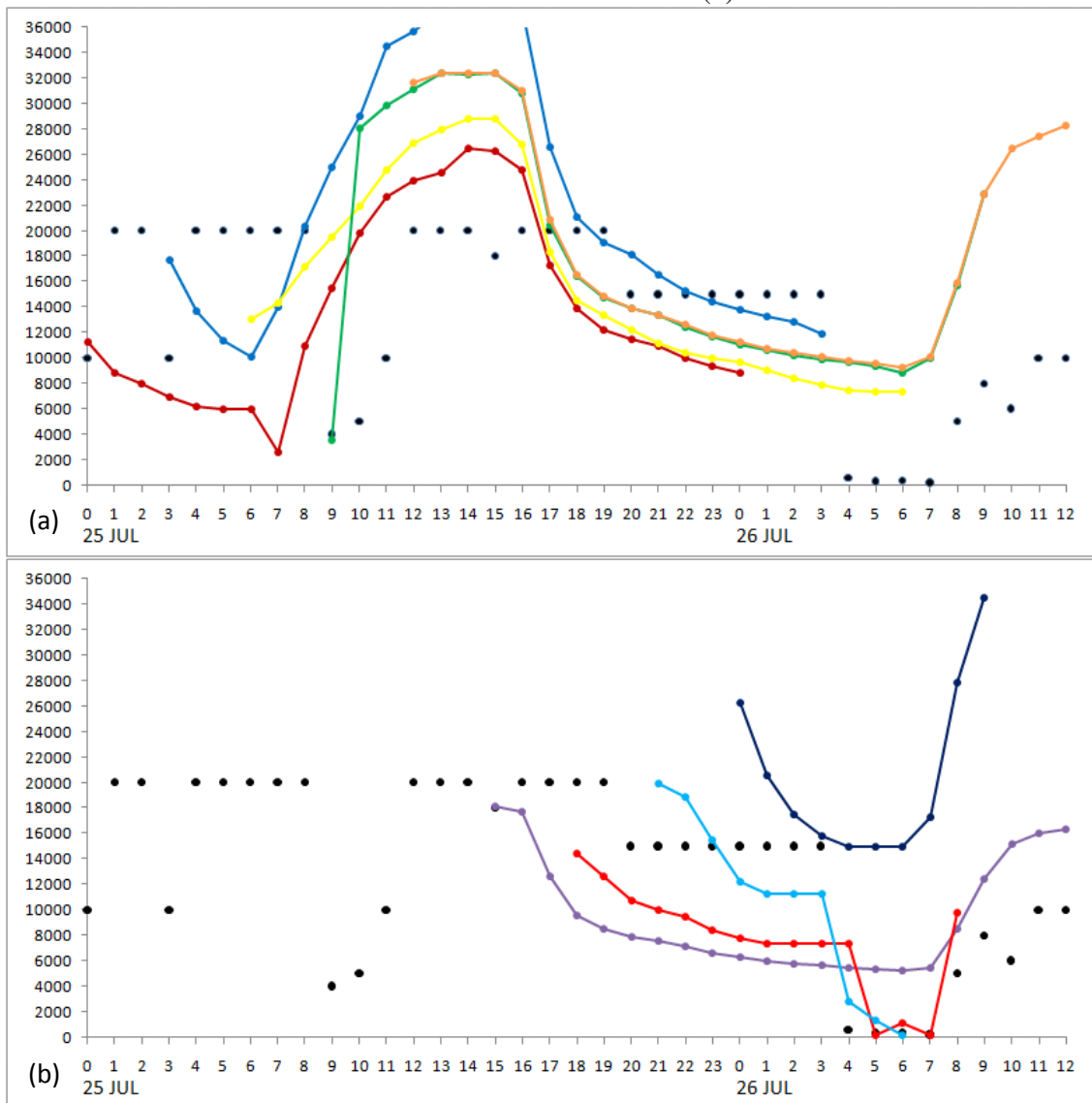
Conforme visto e comentado anteriormente, esse episódio de nevoeiro teve o maior tempo de duração dentre todos aqueles apresentados nesse estudo (Quadro 4.1).

As previsões inicializadas entre 0 e 12h apresentaram comportamentos similares, mas com valores de visibilidade diferentes (Fig. 4.64a), mesmo inserindo diferentes condições iniciais de temperatura e umidade (Figs. 4.64ab), ainda que com pouca variação. A previsão inicializada às 15h apresentou resultados semelhantes aqueles das inicializações anteriores (Fig. 4.64b – linha roxa).

A previsão inicializada às 18h conseguiu prever o nevoeiro, mas com uma hora de atraso (entre 5h e 7h). A visibilidade mínima prevista foi 239 m (Fig. 4.64b – linha vermelha). A previsão inicializada às 21h também conseguiu prever o nevoeiro, com visibilidade mínima de 242 m, mas com duas horas de atraso. Assim que previsto, o processo de previsão foi interrompido. Isso ocorre devido aos próximos resultados dos cálculos do PAFOG serem inconsistentes. A última inicialização (0h), a que mais se aproxima do início do evento de nevoeiro, gerou resultados incomparáveis com o observado.

De modo geral, o comportamento do PAFOG ao realizar as previsões se assemelha a um ciclo de dois máximos e dois mínimos, cuja máxima visibilidade ocorre no período diurno e a mínima no período noturno.

Figura 4.64 – Previsões de visibilidade horizontal inicializadas às 00, 03, 06, 09 e 12hs (a) e 15, 18, 21hs de 25 de Julho e 00h de 26 de Julho de 2007 (b).



### 4.3 Síntese das Condições de Superfície

Em geral, as condições para formação do nevoeiro são mais restritivas que das névoas úmidas. Para nevoeiro são necessários temperatura e velocidade do vento ainda mais baixo, com umidade próxima da saturação. Nevoeiro está associado à brisa terrestre, enquanto névoas estão comumente ligadas a ventos de origem oceânica. Névoa seca raramente reduz a visibilidade para menos de 5 km e a temperatura e o vento possuem valores mais elevados, devido ao período de atuação. As chuvas foram observadas somente com névoas (Tab. 4.10).

Tabela 4.10 – Condições de superfície associadas com eventos de nevoeiro e névoa no Aeroporto de Maceió.

Variável	Nevoeiro	Névoa úmida	Névoa seca
Temperatura do ar	$\leq 24^{\circ}\text{C}$	$\leq 26^{\circ}\text{C}$	$\geq 26^{\circ}\text{C}$
Umidade Relativa	98-100%	95-100%	70-79%
Direção do Vento	Brisa Terrestre (SO-O-NO)	Brisa Marítima (NE-L-SE-S)	Brisa Marítima (NE-L-SE-S)
Velocidade do Vento	$\leq 4$ nós (2m/s)	$\leq 6$ nós (3m/s)	$\geq 6$ nós (3m/s)
Visibilidade mínima	200 m	1000 m	5000 m
Presença Chuva	Não Observado	35% das OBS	12% das OBS

## 5 CONCLUSÃO

Com todo o acervo de dados foi possível identificar as condições meteorológicas de superfície que favorecem a redução de visibilidade e formação do nevoeiro, bem como a situação sinótica associada a este.

No Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares, Maceió, foram registradas em média, 1201 horas de redução de visibilidade por ano, das quais 94% estão relacionadas com névoa úmida (1131 horas) e 6% relacionada com névoa seca (70 horas). Essas horas de redução de visibilidade correspondem a 384 casos por ano, sendo que 88,5% (340 casos) desses estão relacionadas com névoa úmida e 11,5% (44 casos) com névoa seca.

A quantidade de casos e horas média mensal de redução de visibilidade ocasionada por névoa úmida corresponde a 28 e 94, respectivamente. Em outras palavras, isso significa que ocorre aproximadamente um evento de névoa úmida por dia, com duração aproximada de 3 horas.

Quando se tenta aplicar o mesmo ponto de vista do parágrafo anterior, com relação à névoa seca, conclui-se que sua frequência de ocorrência é extremamente baixa. Outro fato

importante é que, além da baixa frequência de névoa seca, a visibilidade mínima associada a ela raramente, ou simplesmente não atinge valores abaixo de 5 km.

Os eventos de névoa úmida são os que mais merecem atenção, pois é o único fenômeno de atmosfera estável capaz de reduzir drasticamente a visibilidade horizontal, originando o nevoeiro.

Embora a névoa úmida seja o único fenômeno de atmosfera estável capaz evoluir para nevoeiro, somente 14% das observações de névoa úmida estiveram associadas com visibilidade abaixo de 5 km, comprovando realmente que este tipo de fenômeno é raro para a região de estudo.

O período de maior frequência da névoa úmida coincide com o período chuvoso de Alagoas (Maio-Setembro). Apesar da coincidência, 65% das observações não estão acompanhadas de precipitação. Assim como a névoa úmida, boa parte das observações de névoa seca também não está acompanhada de precipitação (88%). Isso significa que os eventos de névoa se formam e intensificam mesmo na ausência das chuvas.

Todavia, à proporção que a visibilidade diminui, maior se torna a participação das chuvas nos casos de névoa úmida, chegando a 88% de observações acompanhadas de chuva, quando a visibilidade fica abaixo de 3 km e 76% quando a visibilidade está entre 1 km e 5 km. Com a névoa seca essa relação inversão não é observada.

Nesse estudo foram encontradas as condições meteorológicas de superfície mais frequentemente associadas com visibilidade baixa. No caso da névoa úmida, é necessário haver alta concentração de umidade (>95%), vento nulo ou abaixo de 6 nós (<3 m/s) soprando do oceano para o continente (NE-L-SE-S) e temperaturas menores ou igual a 26°C. No caso da névoa seca, a umidade varia entre 70-79%, com velocidade do vento acima de 6 nós (>3m/s), também soprando do oceano para o continente, e temperatura maior ou igual a 25°C.

Os eventos de névoa seca raramente reduzem a visibilidade horizontal para menos de 5 km, pois se formam preferencialmente no período diurno, horário em que há grande incidência de radiação solar, ventos mais fortes e, conseqüentemente, instabilidade atmosférica.

Entre os anos de 2002-2007 (exceto 2006) ocorreram oito episódios de nevoeiro, onde a intensidade variou de fraca a moderada e um tempo de duração entre 20 minutos e 4 horas.

De maneira geral, os eventos de nevoeiro que se formam próximo ou após o nascer do sol são de intensidade fraca, pois reduzem pouco a visibilidade. Já aqueles que se formam com antecedência ao nascer do sol possuem um maior potencial para redução da visibilidade horizontal, implicando em nevoeiros mais densos.

Com exceção do nevoeiro ocorrido em Julho de 2005, onde o céu ficou obscurecido, com visibilidade vertical máxima de 61 metros, em todos os outros foi possível observar o céu e identificar os tipos de nuvens acima do banco de nevoeiro, implicando em nevoeiros rasos.

No dia em que o nevoeiro foi observado e nos outros dois que o antecede, foi encontrado que a cobertura de nuvens total diária praticamente permaneceu em 5/8 (céu nublado), considerando a média de todos os casos. No momento em que o nevoeiro atingiu visibilidade mínima, os tipos de nuvens mais frequentemente observadas foram Cumulus (3/8) e Altocumulus (4/8). Este tipo de nebulosidade não é típica para eventos de nevoeiro em regiões extratropicais.

De modo geral, no momento em que o nevoeiro atingiu visibilidade mínima, os ventos sopravam do continente para o oceano, ou seja, brisa terrestre (SO-O-NO), com ventos de até 4 nós (2 m/s). A umidade relativa esteve acima de 98% e a temperatura entre 20-24°C. Em cinco casos a temperatura esteve menor ou igual a 22°C.

Normalmente, a taxa de queda de temperatura é mais acentuada entre o período de maior aquecimento (temperatura máxima) e 21 horas, com resfriamento mais tênue entre 21 horas e o início do nevoeiro. A taxa média de resfriamento que antecedeu os eventos de nevoeiro correspondeu a 0,14°C/h, podendo variar de 0,05°C/h a 0,34°C/h.

A relação continente-oceano mostrou que os nevoeiros se desenvolveram tanto com aquecimento/resfriamento, quanto com anomalia positiva/negativa da TSM. Sendo que, quando a TSM está se aquecendo, é mais provável que a intensidade do nevoeiro seja fraca. Quando a TSM está se resfriando, é mais provável que a intensidade seja moderada.

No dia em que foi observado nevoeiro, a temperatura diária média da superfície do mar esteve, no mínimo, 3,9°C acima da mínima registrada no aeroporto. E a menor temperatura diária média da superfície do mar foi 25,7°C, no dia que ocorreu o nevoeiro.

A condição de brisa terrestre, com ausência de advecção de massa de ar, ventos fracos, alta umidade e resfriamento radiativo, mesmo que fraco, caracteriza os nevoeiros ocorridos no Aeroporto de Maceió como do tipo nevoeiro de radiação.

Embora a chuva acompanhe os eventos de névoa, o mesmo não é observado com os eventos de nevoeiro. Com as imagens de satélite e os produtos de linhas de corrente de reanálise dos modelos NCEP/DOE II e ECMWF foi possível confirmar a ausência de sistemas como ZCIT, VCAN e Zonas Frontais.

Foi identificado que quatro de oito casos estiveram associados ao bifurcamento dos ventos alísios nos níveis mais baixos, dois com curvatura ciclônica e outros dois com circulação anticiclônica. Os casos associados ao bifurcamento dos ventos alísios estão ligados

a Perturbação Ondulatória dos Alísios (POA), que proporciona curvatura ciclônica próximo a costa e anticiclônica sobre o continente. Os eventos associados com circulação anticiclônica estão ligados a perturbações nas extremidades frontais, as quais são transportadas pelos alísios até a costa do NEB.

Em médios níveis, foram identificados em seis casos a presença de anticiclones e nos outros dois com cavado posicionado ou sobre a costa do NEB ou a leste dela. Anticiclone de altos níveis foi identificado em praticamente todos os casos (7 de 8).

Então, estima-se que o sistema sinótico mais comum para formação do nevoeiro seja composto por Perturbação Ondulatória dos Alísios e anticiclone em médios e altos níveis.

Os movimentos verticais baseado nas semelhanças entre os modelos NCEP/DOE II, ECMWF e WRF mostrou que em baixos níveis houve ascendência em todos os casos; em médios níveis houve descendência em 4 e ascendência em 4 casos e em altos níveis descendência em 5 casos. Mais uma vez, não se sabe ao certo o papel dos ciclones (cavados) e anticiclones (cristas) de médios níveis sobre as condições do tempo no NEB.

Os perfis do NCEP/DOE II apresentaram instabilidade condicional em baixos níveis, na camada entre 1000-850 hPa, seguido de uma camada estável e relativamente mais seca logo acima. Na camada de instabilidade, a diferença média de  $T-T_d$  variou entre  $5^{\circ}\text{C}$  e  $1^{\circ}\text{C}$ . Além disso, inversão térmica não foi identificada.

O perfil ECMWF apresentou uma camada instável rasa (em média entre 1000-900hPa) e condição de umidade relativa próxima da realidade em superfície. Inversão de temperatura também não foi identificada pelo modelo ECMWF.

O perfil vertical de temperatura e umidade que melhor representa as condições típicas para formação do nevoeiro seria aquele apresentado pelo modelo WRF. Nesse perfil, foi encontrada uma inversão de temperatura, que se estendeu da superfície até 166 m (985 hPa). Também foi encontrada uma camada de instabilidade condicional entre 985-860 hPa, seguida de uma camada estável e relativamente mais seca logo acima.

A umidade relativa média do perfil próxima a superfície foi 98% ( $T-T_d=0,3^{\circ}\text{C}$ ) e diminuiu até o topo da inversão térmica para 90% ( $T-T_d=1,6$ ). Em seguida, a umidade aumenta até 750 m (920 hPa) para 96%. A partir desse nível, a umidade volta a diminuir até 450 hPa, sendo que até o topo da camada de instabilidade, a umidade foi reduzida a uma taxa aproximada de 2%/100m.

As comparações entre os perfis reais e previstos foram feitas as 12UTC, pois esse é o horário em que os balões sonda são liberados para a atmosfera. Os perfis previstos do modelo WRF possuem uma grande deficiência na representação da umidade e na identificação das

camadas de inversão térmica e isoterma abaixo de 800 hPa, especialmente próximo a superfície, para as coordenadas da estação de altitude de Recife às 12UTC.

Estima-se que os eventos nevoeiros observados no Aeroporto de Maceió se desenvolvam sob condições de inversão de temperatura, conforme também identificado pelo WRF, pois todos os perfis de temperatura reais da estação de altitude de Recife (~188 km distante de Maceió) apresentaram-na. Sendo que em cinco perfis a inversão esteve abaixo de 3km (700 hPa) e desses cinco, apenas dois possuíam a base da inversão em solo.

Como critério para utilização do PAFOG, os nevoeiros deveriam ter duração maior ou igual à uma hora e ausência de chuva precedendo e sucedendo sua formação. Os eventos com essas características ocorreram em 12/07/2002, 14/07/2005 e 26/07/2007.

O evento ocorrido em Julho de 2007 foi o único que o modelo previu, dentre aqueles três citados acima. Nessa previsão, o PAFOG previu o nevoeiro com 10 e 7 horas de antecedência. No entanto, o atraso e a duração na formação do nevoeiro foram uma e três horas, na previsão com maior antecedência. As visibilidades mínimas previstas em ambas, maior e menor antecedência, foram 239 m e 242 m, respectivamente.

Por outro lado, os eventos ocorridos em 12/07/2002 e 14/07/2005 não foram previstos pelo PAFOG. Como era de se esperar, os eventos que se formaram entre chuvas também não foram previstos. Entre os casos com duração menor que uma hora (ABR/02 e MAI/05), apenas o evento de 12/04/2002 foi previsto com até 9 horas de antecedência, duração de três horas e visibilidade mínima de 120 metros. Nesse evento, o observado foi 700 metros.

Diante de tais circunstâncias, conclui-se que o PAFOG não obteve bons resultados. Seu desempenho foi avaliado em um acerto a cada três eventos (33%), ou, considerando todos os casos, dois acertos a cada sete eventos (29%). Isso implica que há aproximadamente 30% de chance de o modelo PAFOG conseguir prever algum evento de nevoeiro.

Os motivos que podem levar o PAFOG a um mau desempenho são vários, onde os principais seriam: 1) o fato de o modelo ser unidimensional; 2) ter sido desenvolvido para uma região extratropical; 3) nenhuma configuração padrão foi modificada e 4) utilização de dados não reais como dados de entrada.

Contudo, sugere-se que, se pelo menos os motivos (3) e (4) forem aprimorados, possivelmente o modelo PAFOG conseguirá obter melhores resultados, mantendo o mesmo nível de antecedência.



## REFERÊNCIAS

- Azevedo, A. F. **Análise climatológica-probabilística dos casos de fechamentos operacionais para pouso e decolagem no Aeroporto Zumbi dos Palmares (Maceió-AL)**. 2005. 117 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Departamento de Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2005.
- Bott, A.; Sievers, U.; Zdunkowski, W. **A radiation fog model with a detailed treatment of the interaction between radiative transfer and fog microphysics**. *Journal of Atmospheric Science*. v. 47, n. 18, 2153-2166, 1990.
- Bott, A. **A numerical model of the cloud-topped planetary boundary-layer: Impact of aerosol particles on radiative forcing of stratiform clouds**. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. v. 123, 631-656, 1997.
- Bott, A.; Trautmann, T. **PAFOG – A new efficient forecast model of radiation fog and low-level stratiform clouds**. *Atmospheric Research*. v. 64, 191-203, 2002.
- Chaumerliac, N.; Richard, E.; Pinty, J. P. **Sulfur scavenging in a mesoscale model with quasi-spectral microphysics: Two-dimensional results for continental and maritime clouds**. *Journal of Geophysical Research*. v. 92 (D3), 3114-3126, 1987.
- Da cruz, C. D. **Determinação sinótica dos fatores que favorecem as influências frontais sobre o Estado de Alagoas**. 2008. 137 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Departamento de Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008.
- Gan, M. A.; Kousky, V. E.; **Vórtices ciclônicos da alta troposfera no Oceano Atlântico Sul**. *Revista Brasileira de Meteorologia*. v. 1, 19-28, 1986.
- Gultepe, I.; Muller, M. D.; Boybeyi, Z. **A new visibility parameterization for warm-fog applications in numerical weather prediction models**. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. v. 45, 1469-1480, 2006.
- Gultepe I. et al. **Fog Research: A review of past achievements and future perspectives**. *Pure and Applied Geophysics*. 2007.
- Janicke, R. **Aerosol-Cloud-Climate Interactions, Chapt. Tropospheric Aerosols**, pp. 1-31. Academic Press, San Diego. 1993.

Leipper, D. F. **Fog on the U.S. West Coast: A Review**. Reno, Nevada: Bulletin of the American Meteorological Society. v. 75, n. 2, 229-240, 1994.

Malm, W. C. **Introduction to Visibility**. CIRA – Colorado State University. 1999. 78 f.

Mellor, G. L.; Yamada, T. **A hierarchy of turbulence closure models for planetary boundary layers**. Journal of Atmospheric Science. v. 31, n. 7, 1791-1806, 1974.

Molion, L. C. B.; Bernardo, S. O. **Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro**. Revista Brasileira de Meteorologia. v. 17, 1-10, 2002.

Muller, M. D.; Masbou, M.; Bott, A.; Janjic, Z. **Fog prediction in a 3D model with parameterized microphysics**. World Weather Research Programme's Symposium on Nowcasting and Very Short Range Forecasting. Toulouse, France, September 5-9. 6.26. 2005.

Nickerson, E. C.; Richard, E.; Rosset, T.; Smith, D. R. **The numerical simulation of clouds, rain, and airflow over the Vosges and black forest mountains: a meso- $\beta$  model with parameterized microphysics**. Monthly Weather Review. v. 114, 398-414, 1986.

Pagowski, M.; Gultepe, I.; King, P. **Analysis and modeling of an extremely dense fog event in southern Ontario**. Journal of Applied Meteorology. v. 43, 3-16, 2004.

Pielke, R. A. **Mesoscale meteorological modeling**. Academic Press. Orlando 612 pp, 1984.

Sakakibara, H. **A scheme for stable numerical computation of the condensation process with large time steps**. J. Meteorol. Soc. Jpn. v. 57, 349-353, 1979.

Siebert, J.; Bott, A.; Zdunkowski, W. **Influence of a vegetation-soil model in the simulation of radiation fog**. Beitr. Phys. Atmos. v. 65, 93-106, 1992a.

Siebert, J.; Sievers, U.; Zdunkowski, W. **A one-dimensional simulation of the interaction between land surface processes and the atmosphere**. Boundary – Layer Meteorol. v. 59, 1-34, 1992b.

Silveira, M. H. dos S.; **Complexos convectivos de mesoescala no Estado de Alagoas**. 2010. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2010.

Thoma, C.; Schneider, W.; Masbou, M.; Bott, A. **Integration of local observations into the one dimensional fog model PAFOG**. Pure and Applied Geophysics. 2011.

The COMET Program, 2003a. **Customer Impacts: Forecasting fog and low stratus**. UCAR/COMET. Distance Learning Aviation Course 1. Publicado em: 28 jun. 2003. Disponível em: <<http://meted.ucar.edu/>>. Acesso em: 28 set. 2011.

The COMET Program, 2004. **Fog/Stratus forecast approaches**. UCAR/COMET. Distance Learning Aviation Course 1. Publicado em: 15 jul. 2004. Disponível em: <<http://meted.ucar.edu/>>. Acesso em: 13 set. 2011.

The COMET Program, 2003b. **Local Influences on fog and low stratus**. UCAR/COMET. Distance Learning Aviation Course 1. Publicado em: 28 jan. 2003. Disponível em: <<http://meted.ucar.edu/>>. Acesso em: 4 nov. 2008.

The COMET Program, 1999. **Radiation Fog**. UCAR/COMET. Distance Learning Aviation Course 1. Publicado em: 10 dez. 1999. Disponível em: <<http://meted.ucar.edu/>>. Acesso em: 17 ago. 2011.

Twomey, S. **The nuclei of natural cloud formation Part II: The supersaturation in natural clouds and the variation of cloud droplet concentration**. Geofisica pura e applicata. v. 43, 243-249, 1959.

Willet, H. C. **Fog and haze, their causes, distribution, and forecasting**. Washington: Monthly Weather Review. v. 56, 435-468, 1929.

WMO-2008, World Meteorological Organization No 8. **Guide to meteorological instruments and methods of observation**. 7th. ed. Switzerland, 2008.

Zdundowski, W. G.; Panhans, W. G.; Welch, R. M.; Korb, G. J. **A radiation scheme for circulation and climate models**. Beitr. Phys. Atmos. v. 55, 215-238, 1982.

## APÊNDICE A

QUADRO 1 – Estado atmosférico entre 1000 e 800hPa dos dados de perfil vertical simulado (WRF) e de radiossonda (Recife), às 12UTC do dia anterior ao evento nevoeiro. Camada Absolutamente Instável (C.A.I.), Camada Condicionalmente Instável (C.C.I.), Camada Absolutamente Estável (C.A.E.), Camada de Inversão Térmica (C.I.T.), Camada de Isotermia (C.D.I.).  $\gamma = \Delta T / \Delta z$ ;  $\Gamma_m$  = adiabática úmida.

Continua Quadro 1

Data	Perfil real (Recife)			Perfil simulado (WRF)		
	Estado	$\frac{\Delta\theta}{\Delta z}; (\gamma - \Gamma_m)$	Camada	Estado	$\frac{\Delta\theta}{\Delta z}; (\gamma - \Gamma_m)$	Camada
11 ABR 2002	C.I.T.	1,68E-2 (1,10E-2)	1010-1007hPa 11-38m	C.A.I.	-4,44E-3 (-9,61E-3)	1009-985hPa 2-211m
	C.A.E.	6,42E-3 (5,71E-3)	1007-1000hPa 38-100m			
	C.C.I.	1,98E-3 (-3,91E-3)	1000-874hPa 100-1274m	C.C.I.	8,29E-4 (-5,37E-3)	985-870hPa 211-1267m
	C.I.T.	2,80E-2 (2,11E-2)	874-861hPa 1274-1402m			
	C.C.I.	1,00E-3 (-3,04E-3)	861-841hPa 1402-1605m	C.A.E.	7,90E-3 (2,28E-3)	870-800hPa 1267-1977m
	C.I.T.	1,44E-2 (7,90E-3)	841-831hPa 1605-1707m			
	C.C.I.	4,13E-3 (-1,77E-3)	831-808hPa 1707-1947m			
11 JUL 2002	C.I.T.	8,92E-2 (8,37E-2)	1017-1013hPa 11-46m	C.A.I.	-2,85E-3 (-7,58E-3)	1014-970hPa 2-387m
	C.C.I.	9,29E-4 (-3,94E-3)	1013-879hPa 46-1273m	C.C.I.	6,57E-4 (-5,22E-3)	970-870hPa 387-1310m
	C.A.E.	7,91E-3 (2,29E-3)	879-850hPa 1273-1558m	C.A.E.	6,83E-3 (8,76E-4)	870-800hPa 1310-2016m
31 MAI 2003	C.A.I.	-2,56E-3 (-9,15E-3)	1015-1000hPa 11-136m	C.A.I.	-2,38E-3 (-7,50E-3)	1013-955hPa 2-461m
	C.C.I.	7,73E-6 (-7,39E-3)	1000-925hPa 136-818m			
	C.D.I.	1,02E-2 (4,05E-3)	925-924hPa 818-827m	C.C.I.	2,31E-3 (-4,08E-3)	955-825hPa 461-1742m
	C.C.I.	2,79E-3 (-2,71E-3)	924-850hPa 827-1543m			
	C.A.I.	-3,00E-4 (-5,57E-3)	850-844hPa 1543-1603m	C.A.E.	1,00E-2 (4,27-3)	825-800hPa 1742-2003m
	C.C.I.	1,85E-3 (-3,43E-3)	844-834hPa 1603-1704m			
C.D.I.	1,02E-2 (4,42E-3)	834-808hPa 1704-1971m				
20 MAI 2005	C.A.I.	-3,33E-2 (-3,96E-2)	1012-1005hPa 11-71m	C.A.I.	-2,60E-3 (-8,25E-3)	1010-990hPa 2-170m
	C.C.I.	5,00E-4 (-1,69E-2)	1005-978hPa 71-308m	C.C.I.	2,02E-3 (-4,45E-3)	990-860hPa 170-1369m
	C.D.I.	9,78E-3 (3,80E-3)	978-952hPa 308-544m			
	C.C.I.	2,94E-3 (-2,19E-3)	952-850hPa 544-1524m	C.A.E.	6,56E-3 (6,85E-4)	860-800hPa 1369-1979m
	C.A.E.	6,45E-3 (2,39E-3)	850-800hPa 1524-2038m			

## Conclusão Quadro 1

QUADRO 1 – Estado atmosférico entre 1000 e 800hPa dos dados de perfil vertical simulado (WRF) e de radiossonda (Recife), às 12UTC do dia anterior ao evento nevoeiro. Camada Absolutamente Instável (C.A.I.), Camada Condicionalmente Instável (C.C.I.), Camada Absolutamente Estável (C.A.E.), Camada de Inversão Térmica (C.I.T.), Camada de Isotermia (C.D.I).  $\gamma = \Delta T / \Delta z$ ;  $\Gamma_m$  = adiabática úmida.

13 JUL 2005	C.A.I.	-6,59E-2 (-7,21E-2)	1017-1012hPa 11-53m	C.A.I.	-3,21E-3 (-7,93E-3)	1013-975hPa 2-330m
	C.A.E.	7,97E-3 (2,01E-3)	1012-1000hPa 53-154m	C.C.I.	1,66E-3 (-4,59E-3)	975-825hPa 330-1740m
	C.I.T.	5,94E-3 (1,61E-4)	1000-984hPa 154-295m			
	C.C.I.	2,33E-3 (-3,04E-3)	984-850hPa 295-1547m	C.A.E.	8,13E-3 (2,61E-3)	825-800hPa 1740-1999m
	C.A.E.	8,29E-3 (1,59E-3)	850-801hPa 1547-2045m			
25 JUL 2007	C.A.I.	-7,67E-5 (-6,65E-3)	1014-1000hPa 11-127m	C.A.I.	-3,81E-3 (-8,44E-3)	1012-975hPa 2-318m
	C.C.I.	5,86E-4 (-5,59E-3)	1000-888hPa 127-1160m	C.C.I.	1,28E-3 (-4,79E-3)	975-870hPa 318-1285m
	C.A.E.	6,73E-3 (1,59E-3)	888-832hPa 1160-1715m	C.A.E.	7,00E-3 (1,48E-3)	870-800hPa 1285-1993m
	C.C.I.	2,47E-3 (-2,88E-3)	832-798hPa 1715-2067m			

Fonte: Wyoming Soudings (real), WRF (simulado).

## APÊNDICE B

QUADRO 2 – Mesmo que QUADRO 1, mas às 12 UTC do dia em que o nevoeiro ocorreu.

Data	Perfil real (Recife)			Perfil simulado (WRF)		
	Estado	$\frac{\Delta\theta}{\Delta z}; (\gamma - \Gamma_m)$	Camada	Estado	$\frac{\Delta\theta}{\Delta z}; (\gamma - \Gamma_m)$	Camada
12 ABR 2002	C.A.I	-5,16E-2 (-5,82E-2)	1014-1009hPa 11-53m	C.A.I	-4,22E-3 (-9,68E-3)	1008-985hPa 2-202m
	C.C.I	2,43E-6 (-1,65E-2)	1009-895hPa 53-1097m			
	C.A.E	6,80E-3 (9,32E-4)	895-850hPa 1097-1539m	C.C.I	3,48E-3 (-3,58E-3)	985-800hPa 202-1967m
12 JUL 2002	C.D.I	1,04E-2 (3,83E-3)	1016-1011hPa 11-51m	C.A.I	-3,19E-3 (-7,92E-3)	1013-975hPa 2-328m
	C.C.I	1,13E-2 (-2,52E-3)	1011-831hPa 51-1732m	C.C.I	2,32E-3 (-4,07E-3)	975-870hPa 328-1297m
	C.I.T	1,13E-2 (5,44E-3)	831-812hPa 1732-1927	C.A.E	7,14E-3 (1,36E-3)	870-825hPa 1297-1746m
	C.A.E	7,00E-3 (3,34E-3)	812-794hPa 1927-2115m	C.C.I	5,57E-3 (-1,2E-4)	825-800hPa 1746-2004m
01 JUN 2003	C.A.I	-2,81E-2 (-3,48E-2)	1016-1009hPa 11-68m	C.A.I	-1,44E-3 (-7,02E-3)	1012-975hPa 2-325m
	C.A.E	7,60E-3 (1,08E-3)	1009-1000hPa 68-142m	C.C.I	1,15E-3 (-5,04E-3)	975-900hPa 325-1008m
	C.C.I	1,97E-3 (-3,80E-3)	1000-912hPa 142-943m	C.A.E	5,85E-3 (4,58E-5)	900-880hPa 1008-1199m
	C.A.E	5,92E-3 (2,82E-4)	912-850hPa 943-1546m	C.C.I	2,61E-3 (-2,83E-3)	880-825hPa 1199-1740m
	C.C.I	5,26E-3 (-3,20E-4)	850-785hPa 1546-2219m	C.A.E	6,95E-3 (1,30E-3)	825-800hPa 1740-1998m
21 MAI 2005	C.A.I	-4,58E-2 (-5,20E-2)	1014-1009hPa 7-50m	C.A.I	-3,53E-3 (-9,10E-3)	1010-995hPa 2-131m
	C.C.I	3,92E-3 (-1,10E-2)	1009-810hPa 50-1944m	C.C.I	2,72E-3 (-3,95E-3)	995-850hPa 131-1474m
14 JUL 2005	C.I.T	3,46E-2 (2,83E-2)	1017-1011hPa 11-60m	C.A.I	-2,21E-3 (-7,50E-3)	1012-975hPa 2-320m
	C.C.I	2,70E-3 (-2,75E-3)	1011-900hPa 60-1062m	C.C.I	1,31E-3 (-4,74E-3)	975-870hPa 320-1287m
	C.A.E	6,52E-3 6,89E-4	900-897hPa 1062-1090m	C.A.E	6,80E-3 (1,11E-3)	870-825hPa 1287-1736m
	C.C.I	2,31E-3 (-3,14E-3)	897-853hPa 1090-1517m			
	C.I.T	1,41E-2 (6,74E-3)	853-837hPa 1517-1677m	C.C.I	3,39E-3 (-2,11E-3)	825-800hPa 1736-1992m
	C.C.I	2,81E-4 (-5,02E-3)	837-804hPa 1677-2015m			
26 JUL 2007	C.C.I	4,01E-3 (-1,61E-3)	1017-826hPa 11-1805m	C.A.I	-5,43E-3 (-9,64E-3)	1013-990hPa 2-204m
				C.C.I	2,64E-3 (-4,04E-3)	990-800hPa 204-2007m

Fonte: Wyoming Soudings (real), WRF (simulado).

ANEXO A – Screenshot de notícia do Portal Terra sobre a morte do piloto de um bimotor causada pelo nevoeiro próximo ao Aeroporto Zumbi dos Palmares em 2007.

**terra** Buscar na internet Sonora. Ouça músicas e rádios shopping e-mail chat indice

6562 notícias **CRISE AÉREA**  
 > Notícias > Brasil > Crise aérea  
 notícias por e-mail  fale conosco  rss

**CLIQUE AQUI E CONCORRA**

**Crise aérea**  
 Quinta, 26 de julho de 2007, 14h01 Atualizada às 15h29

**AL: nevoeiro pode ter causado queda de bimotor**  
 Odilon Rios  
 Direto de Maceió

O mau tempo pode ter sido a causa da queda do avião bimotor Sêneca II, prefixo PT REX, fabricado pela Embraer, que caiu às 6h57 na cidade de Rio Largo, 20 km de Maceió. Segundo levantamentos preliminares do Corpo de Bombeiros, o nevoeiro pode ter obrigado o piloto Omar Kkhayan, 57 anos, a voar baixo e bater na rede de alta tensão da Companhia Hidrelétrica do Rio São Francisco (Chesf), que abastece a subestação de Rio Largo.

**» CORREÇÃO: nevoeiro seria causa de queda » AL: avião cai em subestação » vc repórter: mande fotos e relatos**

O piloto morreu na hora. Depois de bater na rede de alta tensão, o avião caiu no solo e explodiu. A aeronave saiu do Aeroporto Internacional de Jaboatão dos Guararapes, em Recife, e tentou pousar no Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares. Porém, a Infraero suspendeu os pousos e as decolagens do aeroporto por oito horas, o que pode ter obrigado o avião a mudar a rota. O acidente aconteceu a 2 km da cabeceira da pista do Zumbi dos Palmares. O piloto desceria em Maceió para seguir a Paulo Afonso (BA).

Uma comissão da Associação Nacional dos Controladores de Voo (Anac) vem a Alagoas na tarde desta quinta-feira para investigar as causas do acidente. O avião transportava malotes, contendo cheques e promissórias de três bancos: HSBC, Banco do Brasil e Unibanco.

Tão logo o avião bateu na rede de alta tensão da Chesf, o abastecimento elétrico na região foi interrompido. Quarenta e cinco minutos depois, a luz voltou para os bairros de Maceió e Rio Largo. Em Messias, a 45 km da capital, não há energia elétrica. Uma das principais indústrias de Alagoas, a Braskem, que processa o Sal Gema, também teve interrupção no abastecimento.

A partir das 12h, a subestação desligou o abastecimento de energia para o aeroporto alagoano, para manutenção. O Zumbi dos Palmares opera através de gerador.

Redação Terra

Compartilhe esta notícia O que é isto?

del.icio.us Facebook Technorati  
 My Yahoo! Menéame Fresqui

**Últimas de Crise aérea**  
 » Maia propõe redução de 10,6% no orçamento de 2009  
 » Anac: índice de atrasos é o menor em 15 meses  
 » MP denuncia Denise Abreu por usar documento falso

**Busca**  
 Busque outras notícias no Terra:  
  
 BUSCAR

**São 100 prêmios por mês.**  
 É a sua chance de comprar o presente do seu pai e não pagar nada.  
 Saiba mais >  
 Certificado de autenticação SEAE: 01/06/97/2006; 01/06/70/2009; 01/06/71/2009; 01/06/72/2009  
**FATURA ZERO**  
**CAIXA**

**Qual é a sua?**  
**sonora**  
 Mais de 1 milhão de músicas GRÁTIS  
 Ouça agora!  
**Conheça também:**  
 » Disney Toontown

**McAfee**  
**ANTIVÍRUS TERRA**  
 Atualizações automáticas.  
 Varredura rápida e eficiente.  
 Proteção 24h para o seu computador.

Fonte: Portal Terra <<http://noticias.terra.com.br/>>

**ANEXO B** – Screenshot de notícia do Portal R7 sobre o engavetamento de aproximadamente 300 veículos ocorrido na Rodovia dos Imigrantes, São Paulo, em Setembro de 2011, por causa do forte nevoeiro.

Brasil  
Brasil Escola  
Carros  
Cidades  
Economia  
Esquisitices  
Imóveis  
Internacional  
Rio de Janeiro  
**São Paulo**  
Notícias  
Fotos  
Glossário  
Enquetes  
Mural  
Saúde  
Tecnologia e Ciência  
Tempo Agora  
Trânsito  
Vestibular e Concursos  
Jornal Hoje em Dia  
Jornal Correio do Povo  
Enquetes  
Quiz  
Todas de Notícias  
**Entretenimento**  
**Esportes**  
**Vídeos**  
**E-mail**  
**Especiais**  
A Fazenda  
Ídolos Online  
Legendários

publicado em 16/09/2011 às 11h30: Texto: **+**A **-**A

## Imigrantes é liberada quase 23 horas após megaengavetamento

Pista sul foi bloqueada para reversão de sentido; apenas Anchieta descia para o litoral

Do R7

 2 pessoas recomendaram isso. Seja o primeiro entre seus amigos.  22  0 



Daniel Teixeira/AE

Funcionários da concessionária Ecovias trabalharam na remoção dos veículos e na limpeza da pista durante a manhã desta sexta-feira

Veja mais fotos do acidente

A pista norte da rodovia dos Imigrantes foi liberada por volta das 11h30 desta sexta-feira (16), cerca de 23 horas após o acidente que envolveu ao menos 104 veículos, deixou um morto e 51 feridos, segundo a Ecovias, concessionária que administra o trecho. O sentido da pista sul, que foi invertido desde o fim da tarde desta quinta-feira (15) para o motorista subir para a capital, ainda não havia voltado à normalidade e a pista estava bloqueada. O motorista que seguia para o litoral tinha como única opção a pista sul da Anchieta.

**Leia mais notícias no R7**

O acidente ocorreu por volta das 12h40 na altura do km 41 da rodovia dos Imigrantes, próximo à represa do Alvarenga, no sentido capital paulista. Após o motorista da carreta perder o controle da direção, bateu em vários carros. Na sequência, a carreta - que transportava produtos perigosos - pegou fogo. Apesar de a Ecovias afirmar que 104 veículos se envolveram no acidente, a Polícia Rodoviária Estadual estima que esse número **pode chegar a 300**.

Por volta das 11h30, a Ecovias informou que estava sendo organizada operação de subida controlada, para acompanhar o tráfego na pista recém-liberada, com o objetivo de assegurar a segurança dos motoristas. Após a

**Tudo o que rola no país e no mundo?**  
Saiba antes aqui, no Notícias R7

**SP no AR**

**Mande sua denúncia para o programa**  
Equipe mostra os problemas da cidade

**Chuva**

**Veja como os alertas são dados**  
CGE trabalha com quatro níveis de monitoramento

**Tempo real**

**Acompanhe a situação do trânsito**  
Veja vias que estão livres, ou congestionadas em SP

**Segurança**

**Elas - Preparação - Condicionadas**

Fonte: Portal R7 <<http://noticias.r7.com/>>