



Ministério da  
Ciência e Tecnologia



INPE-15247-TDI/1334

## AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA DE PREVISÃO DE NEVOEIRO E VISIBILIDADE HORIZONTAL DO MODELO ETA

Valdeci Donizeti Juliar da França

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelas Dr<sup>as</sup> Margarete Oliveira Domingues e Chou Sin Chan, aprovada em 19 de março de 2008.

Registro do documento original:

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2008/04.15.13.39>>

INPE  
São José dos Campos  
2008

## **PUBLICADO POR:**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3945-6911/6923

Fax: (012) 3945-6919

E-mail: [pubtc@sid.inpe.br](mailto:pubtc@sid.inpe.br)

## **CONSELHO DE EDITORAÇÃO:**

### **Presidente:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

### **Membros:**

Dr<sup>a</sup> Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Haroldo Fraga de Campos Velho - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

Dr<sup>a</sup> Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Dr. Ralf Gielow - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Dr. Wilson Yamaguti - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

## **BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Jefferson Andrade Ancelmo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Simone A. Del-Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

## **REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Marilúcia Santos Melo Cid - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva e Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

## **EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Viveca Sant´Ana Lemos - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da  
Ciência e Tecnologia



INPE-15247-TDI/1334

## AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA DE PREVISÃO DE NEVOEIRO E VISIBILIDADE HORIZONTAL DO MODELO ETA

Valdeci Donizeti Juliar da França

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelas Dr<sup>as</sup> Margarete Oliveira Domingues e Chou Sin Chan, aprovada em 19 de março de 2008.

Registro do documento original:

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2008/04.15.13.39>>

INPE  
São José dos Campos  
2008

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

F844a França, Valdeci Donizeti Juliar.

Avaliação da metodologia de previsão de nevoeiro e visibilidade horizontal no Modelo ETA/ Valdeci Donizeti Juliar da França. – São José dos Campos: INPE, 2008.

172p. ; (INPE-15247-TDI/1334)

1. Nevoeiro. 2. Visibilidade. 3. Modelo ETA. 4. Previsão.  
5. Imagens de satélite. I. Título.

CDU 551.5

---

Copyright © 2008 do MCT/INPE. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação, ou transmitida sob qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotográfico, microfílmico, reprográfico ou outros, sem a permissão escrita da Editora, com exceção de qualquer material fornecido especificamente no propósito de ser entrado e executado num sistema computacional, para o uso exclusivo do leitor da obra.

Copyright © 2008 by MCT/INPE. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, microfilming, recording or otherwise, without written permission from the Publisher, with the exception of any material supplied specifically for the purpose of being entered and executed on a computer system, for exclusive use of the reader of the work.

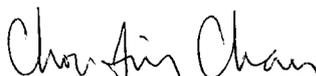
**Aprovado (a) pela Banca Examinadora  
em cumprimento ao requisito exigido para  
obtenção do Título de Mestre em  
Meteorologia**

**Dr. Clóvis Angeli Sansigolo**



\_\_\_\_\_  
Presidente / INPE / SJC Campos - SP

**Dra. Chou Sin Chan**



\_\_\_\_\_  
Orientador(a) / INPE / Cachoeira Paulista - SP

**Dra. Margarete Oliveira Domingues**



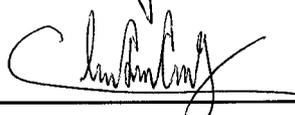
\_\_\_\_\_  
Orientador(a) / INPE / SJC Campos - SP

**Dr. Nelson Jesus Ferreira**



\_\_\_\_\_  
Membro da Banca / INPE / SJC Campos - SP

**Dr. Cleber Souza Corrêa**



\_\_\_\_\_  
Convidado(a) / ICEA/CTA / São José dos Campos - SP

**Aluno (a): Valdeci Donizeti Juliar da França**

**São José dos Campos, 19 de Março de 2008**



*“A imaginação é mais poderosa do que o conhecimento. Ela amplia a visão, dilata a mente, desafia o impossível. Sem a imaginação o pensamento estagna.”*

*Albert Einstein*



A minha esposa Dilma, a meus filhos,  
Daniel e Angélica,  
e a meus pais,  
Edgard e Maria Angélica  
Dedico



## **AGRADECIMENTOS**

À Pós-Graduação em Meteorologia (PGMet) e ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do INPE pelos seus recursos humanos e técnico colocados à disposição do corpo discente.

Ao Departamento de Controle do Espaço Aéreo do Comando da Aeronáutica que forneceu todas as condições profissionais de iniciar este trabalho pela celebração do convênio com INPE.

Ao Instituto de Controle do Espaço Aéreo por ter cedido dados que tornaram possível a realização deste trabalho.

Aos professores do INPE pelo conhecimento compartilhado, essenciais na compreensão da Meteorologia, à secretaria da PGMET, principalmente na pessoa da Lílian sempre disposta e compreensiva com os alunos.

Ao pesquisador Dr. Ismail Gultepe da Universidade de Quebec pelos esclarecimentos e conhecimentos compartilhados.

Agradeço especialmente às orientadoras de pesquisa Dra. Margarete Oliveira Domingues e Dra. Chou Sin San, que aceitaram este desafio de conduzir-me no caminho do pensamento científico, pela extrema paciência e dedicação na orientação deste trabalho, e pelos seus conhecimentos compartilhados. Este trabalho só tornou-se possível graças à grande experiência profissional e grande presença de espírito dessas pesquisadoras. A elas meu respeito e admiração.

Aos meus amigos: Paulo Roberto, Joseane, André Lyra, Gustavo, Marcos Yoshida e outros, pelo companheirismo, pela colaboração no processo inicial do trabalho, e também por compartilhar sua experiência profissional e de vida; Jorge Gomes, pelo companheirismo incansável e dedicação, compartilhou experiências de vida e me ensinou conceitos na área de modelagem numérica e de programação na utilização do modelo Eta.

Agradeço a meus pais, Edgard e Maria Angélica, pela lição de vida que me deram e ainda dão, a qual me proporcionou trilhar a jornada do conhecimento científico. A minha esposa, Dilma, pela paciência, pela força e pelo bom humor ao mostrar que as dificuldades sempre serão superadas. E a meus filhos, Daniel e Angélica – a razão de tudo - pela compreensão, quanto as minhas ausências que foram necessárias para chegar ao fim dessa jornada.

## RESUMO

O presente trabalho visa testar duas diferentes estimativas de visibilidade horizontal e avaliar as previsões de ocorrências de nevoeiro e visibilidade horizontal que podem ser fornecidas pelo modelo Regional Eta. Foram escolhidos casos-testes para essa avaliação de acordo com as estações do ano em que ocorrem nevoeiros. Os experimentos foram integrados sobre os aeroportos Afonso Pena em Curitiba, PR, Guarulhos, SP e Salgado Filho em Porto Alegre, RS. Estas localidades foram selecionadas devido ao grande número de ocorrências de nevoeiro, que são provedoras de dados observados e serem importantes para a aviação. Cada experimento numérico foi integrado para um período de 48 h sob o domínio de 200 x 200 km com resolução de 4 km na horizontal e 60 camadas na vertical centrado nas coordenadas geográficas de cada aeroporto. Todos os experimentos numéricos utilizaram como condições iniciais e de contorno lateral as análises do *National Centers for Environmental Prediction* (Centro Nacional de Previsão do Tempo para o Meio Ambiente – NCEP) e as previsões do modelo operacional Eta de 40 km do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A metodologia de estimativa de visibilidade horizontal de Gultepe foi implementada nesse modelo Eta de 4 km para os experimentos avaliados. O experimento numérico de controle utilizou uma configuração padrão do modelo, nos demais experimentos foi modificado o algoritmo de condensação e testada a mudança na condição inicial da umidade do solo. Com os dados dos experimentos numéricos também foi realizada uma avaliação da previsão do índice de detecção de nevoeiro o *Fog Stability Index* (Índice de Estabilidade para Nevoeiro), o FSI. Os resultados sugerem que o conteúdo de água líquida produzido pelo modelo Eta é superestimado. Nas análises pontuais à medida que os valores do o conteúdo de água líquida aproximaram-se do observado, a metodologia de estimativa de visibilidade horizontal de Gultepe consegue melhor representar a visibilidade horizontal do que a metodologia de estimativa de visibilidade horizontal de Kunkel, atualmente, implementada no modelo Eta 40 km. Os resultados sugerem também que o modelo Eta de 4 km pode ser usado como ferramenta útil na previsão de ocorrências de nevoeiro e visibilidade horizontal e do FSI sob aspecto regional quando comparados qualitativamente com o produto de detecção de nevoeiro e stratus por imagens do GOES-12.



# EVALUATION OF THE METHODS OF FOG AND VISIBILITY FORECAST IN THE ETA MODEL

## ABSTRACT

This study aims at assessing the forecasts of fog and visibility provided by the Eta model, with the objective of assisting the weather forecaster with this type of prediction. Four numerical experiments were performed. Testing cases were chosen for this evaluation according to the seasons when fog occurs. The experiments were integrated on three domains including three airports, Afonso Pena, in Curitiba, PR, in Guarulhos, SP and Salgado Filho, in Porto Alegre, RS. These locations were selected because of the large number of occurrences of fog, the availability of observed data and the importance for aviation. In general Each numerical experiment was integrated for a period of 48 h under the domain of 200 x 200 km with resolution of 4 km in the horizontal and 60 vertical layers. All numerical experiments used as initial conditions the analysis of the National Centers for Environmental Prediction (NCEP) and forecasts of the Eta regional model operational at 40 km of the Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) of the Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). The methodology of estimating horizontal visibility of Gultepe was implemented in the Eta model in the experiments. The control numerical experiment used the standard configuration of the model and in the other experiments the algorithm of condensation was modified and a change in the initial condition of soil moisture was tested. With the data of numerical experiments it was also performed an assessment of the Fog Stability Index, FSI. In hoc analyses as the results suggest that the content of liquid water produced by the Eta model is overestimated. The methodology for estimating horizontal visibility of Gultepe represents better the horizontal visibility than methodology of Kunkel, currently implemented in the Eta model of the 40 km. The results also suggest that the Eta model in the resolution of 4 km can be used as a useful tool in predicting the occurrence of fog and horizontal visibility, based on the FSI compared qualitatively with the product for the detection of fog and stratus from the GOES-12 images.



## SUMÁRIO

	<b>Pág.</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	
<b>LISTA DE TABELAS</b>	
<b>LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS</b>	
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>29</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>33</b>
<b>3 VISIBILIDADE HORIZONTAL E NEVOEIRO.....</b>	<b>39</b>
3.1 Visibilidade horizontal.....	39
3.2 Nevoeiro.....	40
3.3 Registros de Visibilidade horizontal associada aos Nevoeiros....	43
3.4 Aeroportos.....	47
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>51</b>
4.1 Descrição do Modelo Eta.....	51
4.1.1 Descrição da Microfísica do Modelo Eta.....	53
4.2 Metodologias de estimativa da visibilidade horizontal.....	56
4.2.1 Método de Kunkel (1983).....	56
4.2.2 Método de Gultepe <i>et al.</i> (2006).....	57
4.3 Configuração do Modelo e experimentos.....	58
<b>5 RESULTADOS.....</b>	<b>63</b>
5.1 Estudo Observacional.....	63
5.2 Resultados dos experimentos.....	70
5.2.1 Visibilidade horizontal dos experimentos.....	75
5.2.1.1 Estimativas de visibilidade horizontal .....	76
5.2.1.2 Formação de gotículas.....	80
5.2.1.3 Umidade do solo.....	88
5.2.1.4 O impacto da mudança simultânea na umidade do solo e na formação das gotículas.....	95
5.2.2 VisH para as regiões dos Aeroportos CT, PA e SP.....	105
5.2.2.1 Região do Aeroporto CT.....	105
5.2.2.2 Região do Aeroporto SP.....	118
5.2.2.3 Região do Aeroporto PA.....	124
5.2.3 Índice de detecção de nevoeiro.....	125
5.2.3.1 FSI na região do Aeroporto CT.....	125
5.2.3.2 FSI na região do Aeroporto PA.....	131
5.2.3.3 FSI na região do Aeroporto SP.....	137
5.2.4 Resultados pontuais nos aeroportos.....	145
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES.....</b>	<b>161</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>165</b>



## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
3.1 - Um exemplo de uma carta de visibilidade.....	47
3.2 - Localização dos principais aeroportos das regiões S e SE do Brasil.....	48
3.3 - Nevoeiro no aeroporto de Afonso Pena em 04/07/2006.....	49
3.4 - Nevoeiro no aeroporto de Guarulhos em 26/03/2007.....	49
4.1 - Visibilidade horizontal versus LWC.....	58
5.1 - Percentual mensal acumulado e variação anual das observações de ocorrências de nevoeiro no aeroporto de Afonso Pena no período de 2003 a 2005.....	65
5.2 - Percentual horário acumulado e variação diária das observações de ocorrências de nevoeiro no aeroporto de Afonso Pena no período de 2003 a 2005.....	66
5.3 - Percentual mensal acumulado e variação anual das observações de ocorrências de nevoeiro no aeroporto de Guarulhos no período de 2003 a 2005.....	66
5.4 - Percentual horário acumulado e variação diária das observações de ocorrências de nevoeiro no aeroporto de Guarulhos no período de 2003 a 2005.....	67
5.5 - Percentual mensal acumulado e variação anual das observações de ocorrências de nevoeiro no aeroporto de Salgado Filho no período de 2003 a 2005.....	68
5.6 - Percentual horário acumulado e variação diária das observações de ocorrências de nevoeiro no aeroporto de Salgado Filho no período de 2003 a 2005.....	69
5.7 - Imagens do Satélite GOES-12 às 09Z de 14 de abril de 2005, nos canais: (a) infravermelho e (b) vapor de água.....	71
5.8 - Prognostico da pressão à superfície, obtida pelo modelo Eta 40 km a partir das 12Z do dia 12 de abril para o dia 14 de abril de 2005. a) 00Z e b) 06Z.....	71
5.9 - Imagens de Satélite GOES-12 às 09Z de 15 de agosto de 2005, nos canais: (a) infravermelho e (b) vapor de água.....	72
5.10 - Prognostico da pressão à superfície, obtida pelo modelo Eta 40 km a partir das 12Z do dia 13 de agosto para o dia 15 de agosto de 2005. a) 00Z e b) 06Z.....	73
5.11 - Imagens de Satélite GOES-12 às 09Z de 4 de outubro de 2005 nos canais: (a) infra-vermelho e (b) vapor de água.....	74
5.12 - Prognostico da pressão à superfície, obtida pelo modelo Eta 40 km a partir das 12Z do dia 02 de outubro para o dia 4 de outubro de 2005. a) 00Z e b) 06Z.....	74
5.13 - Visibilidade horizontal (km) versus conteúdo de água líquida ( $gm^3$ ), a curva mais espessa é obtida da Equação 4.2 e a curva mais delgada é obtida da Equação. 4.3.....	77

5.14 -	Visibilidade horizontal (m) do E1 às 08Z do dia 14 de abril de 2005 para parte do estado do Paraná centralizada em CT: (a) VisK e (b) VisG.....	78
5.15 -	Detecção de nevoeiro e stratus a partir de imagens GOES-12 às 08Z de 14 de abril de 2005 com ênfase na região de CT.....	78
5.16 -	Visibilidade horizontal (m) às 08Z do dia 14 de abril de 2005: (a) área de estudo (sombreada) centralizada em CT, (b) VisK em E1 e (c) VisG em E1.....	79
5.17 -	Limiar de umidade relativa (%) proposto para diferentes resoluções horizontais do Modele Eta para os experimentos numéricos E1 e E2.....	80
5.18 -	Visibilidade horizontal (m) às 08Z do dia 14 de abril de 2005 para parte do estado do Paraná centralizada em CT, (a) VisK do E1, (b) VisG do E1, (c) VisK do E2 e (d) VisG do E2.....	83
5.19 -	Visibilidade horizontal (m) às 08Z dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). VisK em E1 (a), VisG em E1 (b), VisK em E2 (c) e VisG em E2 (d).....	83
5.20 -	Fluxos turbulentos de calor latente, L, ( $W/m^2$ ) às 08Z dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). E1 (a) e diferença dos fluxos de calor latente entre E2 e E1 (b).....	84
5.21 -	Fluxos de calor sensível, H, ( $W/m^2$ ) às 08Z dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). E1 (a) e diferença dos fluxos de calor sensível entre E2 e E1 (b).....	85
5.22 -	Temperatura do ar a 2m ( $^{\circ}C$ ) às 08Z dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). E1 (a) e diferença da temperatura do ar a 2m entre E2 e E1 (b).....	86
5.23 -	Umidade relativa em 925 hPa (%) às 08Z dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). E1 (a) e diferença da umidade relativa em 925hPa entre E2 e E1 (b).....	86
5.24 -	Conteúdo de água líquida em 925 hPa (g/kg) às 08Z dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). E1 (a) e diferença do conteúdo de água líquida entre E2 e E1 (b).....	87
5.25 -	Visibilidade horizontal (m) às 08Z do dia 14 de abril de 2005 na região do estado do Paraná, centrada em CT: (a) VisK do E1, (b) VisG do E1, (c) VisK do E3 e (d) VisG do E3.....	89
5.26 -	Visibilidade horizontal (m) às 08Z do dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). VisK em E1 (a), VisG em E1 (b), VisK em E3 (c) e VisG em E3 (d).....	90
5.27 -	Umidade do solo (adimensional) às 08Z do dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). E1 (a) e a diferença entre E3 e E1 (b).....	91
5.28 -	Fluxos turbulentos de calor latente ( $W/m^2$ ) às 08Z do dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). E1 (a) e diferença dos fluxos de calor latente entre E3 e E1	92

	(b).....	
5.29 -	Fluxos turbulentos de calor sensível ( $W/m^2$ ) às 08Z do dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). E1 (a) e diferença dos fluxos de calor sensível entre E3 e E1 (b).....	93
5.30 -	Temperatura do ar a 2m ( $^{\circ}C$ ) às 08Z do dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). E1 (a) e a diferença da temperatura do ar a 2m entre E3 e E1 (b).....	93
5.31 -	Umidade relativa em 925 hPa (%) às 08Z do dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). E1 (a) e a diferença da umidade relativa em 925 hPa entre E3 e E1 (b).....	94
5.32 -	Conteúdo de água líquida (g/kg) em 925hPa às 08Z do dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). E1 (a) e a diferença do conteúdo de água líquida entre E3 e E1 (b).....	95
5.33 -	Visibilidade horizontal (m) às 08Z do dia 14 de abril de 2005 na região do estado do Paraná centrada em CT: (a) VisK do E1, (b) VisG do E1, (c) VisK do E4 e (d) VisG do E4.....	96
5.34 -	Visibilidade horizontal (m) às 08Z do dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). VisK em E1 (a), VisG em E1 (b), VisK em E4 (c) e VisG em E4 (d).....	97
5.35 -	Umidade do solo (adimensional) às 08Z do dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). E1 (a) e a diferença entre E4 e E1 (b).....	98
5.36 -	Fluxos turbulentos de calor latente ( $W/m^2$ ) às 08Z do dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). E1 (a) e a diferença dos fluxos de calor latente entre E4 e E1 (b).....	99
5.37 -	Fluxos turbulentos de calor sensível ( $W/m^2$ ) às 08Z dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). E1 (a) e a diferença dos fluxos de calor sensível entre E4 e E1 (b).....	100
5.38 -	Temperatura do ar a 2m ( $^{\circ}C$ ) às 08Z do dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). E1 (a) e a diferença da temperatura do ar a 2m entre E4 e E1 (b).....	101
5.39 -	Umidade relativa em 925 hPa (%) às 08Z do dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). E1 (a) e a diferença da umidade relativa em 925hPa entre E4 e E1 (b).....	101
5.40 -	Conteúdo de água líquida (g/kg) em 925hPa às 08Z do dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). E1 (a) e a diferença do conteúdo de água líquida entre E4 e E1 (b).....	102
5.41 -	Visibilidade horizontal (m) às 09Z do dia 14 de abril de 2005 para parte do estado do Paraná centralizada em CT: (a) VisK do E1, (b) Visk do E2, (c) VisK do E3 , (d) VisG do E1, (e) VisG do E2, (f) VisG	

	do E3, (g) VisK do E4 e (h) VisG do E4.....	106
5.42 -	Detecção de nevoeiro e stratus a partir de imagens GOES-12 às 09Z de 14 de abril de 2005 com ênfase na região de CT.....	107
5.43 -	Visibilidade horizontal (m) às 06Z do dia 15 de agosto de 2005 para parte do estado do Paraná centralizada em CT: (a) VisK do E1, (b) Visk do E2, (c) VisK do E3 , (d) VisG do E1, (e) VisG do E2, (f) VisG do E3, (g) VisK do E4 e (h) VisG do E4.....	108
5.44 -	Detecção de nevoeiro e stratus a partir de imagens GOES-12 as 06Z de 15 de agosto de 2005 com ênfase na região de CT.....	109
5.45 -	Visibilidade horizontal (m) às 08Z do dia 04 de outubro de 2005 para parte do estado do Paraná centralizada em CT: (a) VisK do E1, (b) Visk do E2, (c) VisK do E3 , (d) VisG do E1, (e) VisG do E2, (f) VisG do E3, (g) VisK do E4 e (h) VisG do E4.....	110
5.46 -	Detecção de nevoeiro e stratus a partir de imagens GOES-12 às 08Z de 04 de outubro de 2005 com ênfase na região de CT.....	111
5.47 -	Detecção de nevoeiro e stratus a partir de imagens GOES-12 às 02Z de 14 de abril de 2005 com ênfase na região de SP.....	112
5.48 -	Visibilidade horizontal (m) às 02Z do dia 14 de abril de 2005 para parte do estado de São Paulo centralizada em SP: (a) VisK do E1, (b) Visk do E2, (c) VisK do E3 , (d) VisG do E1, (e) VisG do E2, (f) VisG do E3, (g) VisK do E4 e (h) VisG do E4.....	113
5.49 -	Detecção de nevoeiro e stratus a partir de imagens GOES-12 às 02Z de 15 de agosto de 2005 com ênfase na região de SP.....	114
5.50 -	Visibilidade horizontal (m) às 02Z do dia 15 de agosto de 2005 para parte do estado de São Paulo centralizada em SP: (a) VisK do E1, (b) Visk do E2, (c) VisK do E3 , (d) VisG do E1, (e) VisG do E2, (f) VisG do E3, (g) VisK do E4 e (h) VisG do E4.....	115
5.51 -	Detecção de nevoeiro e stratus a partir de imagens GOES-12 às 06Z de 4 de outubro de 2005 com ênfase na região de SP.....	116
5.52 -	Visibilidade horizontal (m) às 06Z do dia 4 de outubro de 2005 para parte do estado de São Paulo centralizada em SP: (a) VisK do E1, (b) Visk do E2, (c) VisK do E3 , (d) VisG do E1, (e) VisG do E2, (f) VisG do E3, (g) VisK do E4 e (h) VisG do E4.....	117
5.53 -	Visibilidade horizontal (m) à 01Z do dia 14 de abril de 2005 para parte do estado do Rio Grande do Sul centralizada em PA: (a) VisK do E1, (b) Visk do E2, (c) VisK do E3 , (d) VisG do E1, (e) VisG do E2, (f) VisG do E3, (g) VisK do E4 e (h) VisG do E4.....	119
5.54 -	Detecção de nevoeiro e stratus a partir de imagens GOES-12 à 01Z de 14 de abril de 2005 com ênfase na região de PA.....	120
5.55 -	Detecção de nevoeiro e stratus a partir de imagens GOES-12 às 07Z de 15 de agosto de 2005 com ênfase na região de PA.....	121
5.56 -	Visibilidade horizontal (m) às 08Z do dia 04 de outubro de 2005 para parte do estado do Rio Grande do Sul centralizada em PA: (a)	

	VisK do E1, (b) Visk do E2, (c) VisK do E3 , (d) VisG do E1, (e) VisG do E2, (f) VisG do E3, (g) VisK do E4 e (h) VisG do E4.....	122
5.57 -	Detecção de nevoeiro e stratus a partir de imagens GOES-12 às 08Z de 04 de outubro de 2005 com ênfase na região de PA.....	123
5.58 -	Índice de estabilidade para nevoeiros (FSI) à 00Z do dia 14 de abril de 2005 para parte do estado do Paraná centralizada em CT: (a) E1, (b) E2, (c) E3 e (d) E4.....	127
5.59 -	Índice de estabilidade para nevoeiros (FSI) à 00Z do dia 15 de agosto de 2005 para parte do estado do Paraná centralizada em CT: (a) E1 e (b) E3.....	128
5.60 -	Índice de estabilidade para nevoeiros (FSI) à 00Z do dia 4 de outubro de 2005 para parte do estado do Paraná centralizada em CT: (a) E1 e (b) E3.....	130
5.61 -	Índice de estabilidade para nevoeiros (FSI) à 00Z do dia 14 de abril de 2005 para parte do estado do Rio Grande do Sul centralizada em PA: (a) E1, (b) E2, (c) E3 e (d) E4.....	132
5.62 -	Índice de estabilidade para nevoeiros (FSI) à 00Z do dia 15 de agosto de 2005 para parte do estado do Rio Grande do Sul centralizada em PA: (a) E1, (b) E2, (c) E3 e (d) E4.....	134
5.63 -	Índice de estabilidade para nevoeiros (FSI) à 00Z do dia 04 de outubro de 2005 para parte do estado do Rio Grande do Sul centralizada em PA: (a) E1, (b) E2, (c) E3 e (d) E4.....	136
5.64 -	Índice de estabilidade para nevoeiros (FSI) à 00Z do dia 14 de abril de 2005 para parte do estado de São Paulo centralizada em SP: (a) E1, (b) E2, (c) E3 e (d) E4.....	138
5.65 -	Índice de estabilidade para nevoeiros (FSI) à 00Z do dia 15 de agosto de 2005 para parte do estado de São Paulo centralizada em SP: (a) E1, (b) E2, (c) E3 e (d) E4.....	140
5.66 -	Índice de estabilidade para nevoeiros (FSI) as 00Z do dia 4 de outubro de 2005 para parte do estado do estado de São Paulo centralizada em SP: (a) E1, (b) E2, (c) E3 e (d) E4 .....	142
5.67 -	Visibilidade horizontal (m) observada e a integrada pelo modelo Eta para o aeroporto de CT. No período das 00 às 12Z do dia 04 de outubro de 2005.....	147
5.68 -	Visibilidade horizontal (m) observada e a integrada pelo modelo Eta para o aeroporto de PA. No período das 00 às 12Z do dia 04 de outubro de 2005.....	148
5.69 -	Visibilidade horizontal (m) observada e a integrada pelo modelo Eta para o aeroporto de SP. No período das 00 às 12Z do dia 14 de abril de 2005.....	149
5.70 -	Visibilidade horizontal (m) observada e a integrada pelo modelo Eta para o aeroporto de CT No período de 12Z do dia 12 às 12Z do dia 14 de abril de 2005.....	150
5.71 -	Temperatura do ar a 2m (°C) observada e a integrada pelo modelo Eta para o aeroporto de CT. No período de 12Z do dia 12 às 12Z do dia 14 de abril de 2005.....	150
5.72 -	Concentração de gotículas (cm <sup>-3</sup> ) observada e a integrada pelo	

	modelo Eta para o aeroporto de CT. No período de 12Z do dia 12 às 12Z do dia 14 de abril de 2005.....	151
5.73 -	Fluxos turbulentos de calor latente ( $W/m^2$ ) integrado pelo modelo Eta para o aeroporto de CT. No período de 12Z do dia 12 às 12Z do dia 14 de abril de 2005.....	152
5.74 -	Fluxos turbulentos de calor sensível ( $W/m^2$ ) integrado pelo modelo Eta para o aeroporto de CT. No período de 12Z do dia 12 as 12Z do dia 14 de abril de 2005.....	152
5.75 -	Visibilidade horizontal (m) observada e a integrada pelo modelo Eta para o aeroporto de CT. No período das 00 às 12Z do dia 14 de abril de 2005.....	153
5.76 -	Temperatura do ar a 2m ( $^{\circ}C$ ) observada e a integrada pelo modelo Eta para o aeroporto de CT. No período das 00 às 12Z do dia 14 de abril de 2005.....	154
5.77 -	Concentração de gotículas ( $cm^{-3}$ ) observada e a integrada pelo modelo Eta para o aeroporto de CT. No período das 00 às 12Z do dia 14 de abril de 2005.....	154
5.78 -	Fluxos turbulentos de calor latente ( $W/m^2$ ) integrado pelo modelo Eta para o aeroporto de CT. No período das 00 às 12Z do dia 14 de abril de 2005.....	155
5.79 -	Fluxos turbulentos de calor sensível ( $W/m^2$ ) integrado pelo modelo Eta para o aeroporto de CT. No período das 00 às 12Z do dia 14 de abril de 2005.....	156
5.80 -	Conteúdo de água líquida ( $g/m^3$ ) observada e a integrada pelo modelo Eta para o aeroporto de CT. No período das 00 às 12Z do dia 14 de abril de 2005.....	157
5.81 -	Visibilidade horizontal (m) observada e a integrada pelo modelo Eta para o aeroporto de CT, com o conteúdo de água líquida reduzido em 95 % no período das 00 às 12Z do dia 14 de abril de 2005.....	158
5.82 -	Visibilidade horizontal (m) às 09Z do dia 14 de abril de 2005 Eta para parte do estado do Paraná centralizada no aeroporto de CT: (a) VisK_t e (b) VisG_t.....	158

## LISTA DE TABELAS

	<b>Pág.</b>
3.1 - Valores de FSI.....	42
3.2 - Codificação do Nevoeiro.....	45
4.1 - Coeficientes de extinção proposto por Kunkel (1984).....	56
5.1 - Observações com nevoeiro.....	63
5.2 - Ausência de registros de observações.....	64
5.3 - FSI do dia 14 de abril de 2005 no aeroporto de CT.....	126
5.4 - FSI do dia 15 de agosto de 2005 no aeroporto de CT.....	129
5.5 - FSI do dia 4 de outubro de 2005 no aeroporto de CT.....	131
5.6 - 5.6 - FSI do dia 14 de abril de 2005 no aeroporto de PA .....	133
5.7 - FSI do dia 15 de agosto de 2005 no aeroporto de PA.....	134
5.8 - FSI do dia 4 de outubro de 2005 no aeroporto de PA.....	137
5.9 - FSI do dia 14 de abril de 2005 no aeroporto de SP.....	139
5.10 - FSI do dia 15 de agosto de 2005 no aeroporto de SP.....	141
5.11 - FSI do dia 4 de outubro de 2005 no aeroporto de SP.....	143



## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AMS	American Meterological Society
COMAER	Comando da Aeronáutica
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CT	Localidade do aeroporto de Afonso Pena na grande Curitiba, PR
DECEA	Departamento do Controle do Espaço Aéreo
E1	Experimento Numérico 1
E2	Experimento Numérico 2
E3	Experimento Numérico 3
E4	Experimento Numérico 4
EMS	Estação Meteorológica de Superfície
ETA	Modelo Regional de escala vertical <i>eta</i>
FAB	Força Aérea Brasileira
FSI	Fog Stability Index
GFDL	Geophysical Fluid Dynamical Laboratory
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellite
INFRAERO	Empresa Brasileira de Infraestrutura
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LIBS	Leipper inversion based statistics
MCA	Manual de Códigos
MC2	Modelo de Nuvem de Mesoescala Canadense
METAR	Meterological Aerdrome Reports
MM5	Modelo de mesoescala de quinta geração da Pennsylvania State University
NCEP	National Centers for Environmental Prediction
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
PA	Localidade do aeroporto de Salgado Filho em Porto Alegre, RS
RACE	Radiation and Aerosol Cloud Experiment
SP	Localidade do aeroporto de Guarulhos, SP
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UR	Umidade Relativa
USP	Universidade de São Paulo

VASP	Viação Aérea de São Paulo
VisH	Visibilidade horizontal
VisG	Visibilidade horizontal obtida pelo método de Gultepe et. al (2006)
VisK	Visibilidade horizontal obtida pelo método de Kunkel (1983)

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\beta$	Coeficiente de extinção ( $\text{km}^{-1}$ )
$\Delta x$	Resolução (km)
H	Calor sensível ( $\text{W}/\text{m}^2$ )
$I$	Luminância
$I(x_{obs})$	Luminância de um objeto que um observador alcança a uma distância $x_{obs}$
$I_o$	Luminância de um objeto
L	Calor latente ( $\text{W}/\text{m}^2$ )
LWC	Conteúdo de água líquida ( $\text{g m}^{-3}$ )
$\eta$	Coordenada vertical Eta
$N_d$	Número de concentração de gotículas ( $\text{cm}^{-3}$ )
$p_a$	Pressão atmosférica
$p_r$	Pressão de referência
$p_s$	Pressão à superfície
$p_t$	Pressão no topo da atmosfera
$T_{850}$	Temperatura em 850 hpa ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{d_{2m}}$	Temperatura do ponto de orvalho da superfície a 2 m ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{2m}$	Temperatura do ar a 2 m ( $^{\circ}\text{C}$ )
$W_{850}$	Velocidade do vento em 850 hpa (kt)



## 1 INTRODUÇÃO

A visibilidade horizontal é a condição de transparência da atmosfera em dado momento. Nas operações de transporte aéreo, terrestre e marítimo é condição de grande interesse. No transporte aéreo é requisitado um número enorme de atividades logísticas que exigem certa antecedência na programação, tais como controle de passageiros e cargas, abastecimento de aeronaves, escalafão da tripulação, o controle de tráfego aéreo, a realização de manobras, treinamentos ou simulações de guerra. Todas essas atividades podem ser afetadas de acordo com a magnitude da redução da visibilidade horizontal, que pode ser reduzida por precipitações, fumaça e nevoeiro.

No Brasil, as maiores restrições de visibilidade horizontal na atividade de transporte aéreo são causadas por nevoeiros, sobretudo, nas regiões Sul e Sudeste. O nevoeiro restringe, principalmente, as decolagens e os pousos de aeronaves, configurando-se uma condição de risco, pois afeta a segurança das aeronaves, dos passageiros e de seus tripulantes, o que provoca atrasos, perdas econômicas e cancelamentos de vôo, como os que foram freqüentes nos noticiários de tv no período de 24 a 26 de março de 2007, ou até acidentes, com vítimas, como o que ocorreu no Brasil com o Boeing 737 da VASP no Guarulhos-SP em 1986 (Cabral, 1990).

Portanto, é de grande importância que se realizem previsões de ocorrências de nevoeiro e com o maior grau de acurácia possível quanto à restrição da visibilidade horizontal. Todavia, a previsão de formação, evolução e dissipação de nevoeiro é um dos mais difíceis problemas que os previsores locais se defrontam em várias partes do mundo (Ballard *et al*, 1991). Tornam-se, então, de importância vital que os previsores operacionais tenham a sua disposição ferramentas, que indicam o início, a duração e a dissipação do nevoeiro, bem como a sua visibilidade horizontal associada, com maior antecedência possível.

Atualmente há várias ferramentas utilizadas na previsão de nevoeiros, dentre essas podem destacar-se a estatística e a modelagem numérica.

A estatística é muito utilizada para realizar previsões locais, como por exemplo, análise de sobrevivência e persistência de ocorrências de nevoeiros, os aspectos locais limitam a aplicação da mesma técnica para diferentes localidades, necessitando de novas pesquisas para cada local. O estudo estatístico para previsão de nevoeiro sob o ponto de vista dinâmico é muito dependente dos dados de radiossondagem, que por sua vez é bastante limitado devido à pouca cobertura de estações de altitude.

A modelagem numérica do tempo pode ser usada para diferentes locais, permite analisar o evento nevoeiro sob o aspecto dinâmico, estudar a física envolvida nos processos de formação do nevoeiro e fornece previsões deste evento até vários dias com boa confiabilidade.

Modelagem numérica do tempo é uma técnica utilizada para fazer previsões do tempo, que consiste em expressar o comportamento da atmosfera e biosfera por meio de modelos físico-computacionais. Entretanto, as soluções das equações desses modelos não são exatas, pois são muito complexas. Isso ocorre, porque representar numericamente os processos físicos, dinâmicos e termodinâmicos, como o de formação de nuvens, radiação, precipitações, ventos, a interação atmosfera-oceano e a interação biosfera-atmosfera, ainda, envolve muitas simplificações e imperfeições. As representações dos processos físicos são feitas por meio de parametrizações, as quais apesar das sofisticadas introduzidas nas últimas décadas, ainda, dependem de relações empíricas simplificadas.

Os modelos Globais possuem equações que governam a atmosfera e a biosfera, as quais são solucionadas para qualquer região do globo, sem ater-se às particularidades de cada local. Por outro lado, os modelos com maior

resolução espacial conseguem representar o comportamento da atmosfera e biosfera de forma mais detalhada em uma menor área. Esses modelos precisam ter condição inicial que são provenientes principalmente de observações superfícies, radiossondas e imagens de satélites.

No Brasil a previsão é elaborada utilizando uma variedade de modelos regionais, tais como Eta/CPTEC (INPE), o Modelo de mesoescala (MM5) da *Pennsylvania State University / National Center for Atmospheric Research*, na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e o Regional Atmospheric Modeling System (RAMS) na Universidade de São Paulo (USP).

Este trabalho tem por objetivo avaliar a metodologia de previsão de nevoeiro e de visibilidade horizontal a partir de análises do NCEP e previsões do modelo Eta/CPTEC de 40 km, utilizando o modelo Eta na resolução de 4 km. Pois, com a resolução operacional de 40 km, atualmente utilizada pelo CPTEC, não é possível realizar este tipo de previsão. São avaliadas duas metodologias de estimativa de visibilidade horizontal: a fornecida na versão atual e uma proposta, baseada em no conteúdo de água líquida e concentração de gotículas (Gultepe *et al.* 2006). As metodologias de estimativa de visibilidade horizontal são submetidas a testes de sensibilidade alterando o limiar de umidade relativa, a umidade do solo e o conteúdo de água líquida.

Os testes de sensibilidade são realizados nas regiões Sul e Sudeste. Cada teste é centrado sobre os aeroportos de Afonso Pena localizado Curitiba-SP, Guarulhos-SP e Salgado Filho localizado em Porto Alegre-RS.

O trabalho é desenvolvido em Tópicos. O Tópico 2 fornece uma rápida revisão bibliográfica sobre nevoeiros e visibilidade, o Tópico 3 apresenta um estudo climatológico de visibilidade horizontal associada ao nevoeiro em três aeroportos das regiões sudeste e sul do Brasil. A metodologia, na qual se fornece as descrições do modelo Eta, da estimativa da visibilidade horizontal e dos experimentos numéricos, é apresentada no Tópico 4. O Tópico 5 apresenta

os resultados dos experimentos, os quais serão comparados qualitativamente com o produto de detecção de nevoeiro de satélite e o Tópico 6 contempla as Considerações Finais, Conclusões e sugestões de trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os esforços em prever a ocorrência de nevoeiro têm como fator determinante a experiência local dos previsores operacionais, os quais por intermédio da climatologia elaboravam métodos objetivos de previsão de ocorrências de nevoeiro de curto prazo. Essas experiências propiciaram vários estudos sobre as características do fenômeno nevoeiro, incentivaram várias pesquisas que mostram a complexidade e o grande desafio em prever a ocorrência de nevoeiro.

Petersen (1940) concluiu que uma das condições para a formação do nevoeiro de radiação é a estabilidade atmosférica, pois assim a turbulência diminuiu e permite a formação da inversão térmica superficial, que é uma evidência do resfriamento noturno.

André e Mahrt (1981) ao estudarem os perfis verticais das localidades de Wangara e Voves nos Estados Unidos, mostraram a importância e a complexidade da camada limite noturna nos processos de troca de calor e umidade. Os pesquisadores identificaram duas camadas entre a superfície e o topo da inversão térmica, a contígua à superfície denominada camada de mistura e acima desta até o topo da inversão chamada de camada de resfriamento radioativo de ar claro. A estratificação da superfície até o topo da inversão é diretamente proporcional à predominância da turbulência mecânica da camada de mistura (menor estratificação) ou do resfriamento por radiação da camada de resfriamento radioativo de ar claro (maior estratificação).

Lima (1982) implementou um algoritmo com o método dos mínimos quadrados para previsão de nevoeiro de radiação para cidade de Porto Alegre. Ele utilizou como preditores os dados de superfície das 19 horas locais, da direção e velocidade do vento, da temperatura, da depressão do ponto de orvalho, da cobertura de nuvens e da diferença de pressão em 24 horas, a direção e velocidade do vento em 500 hPa e a posição do sistema de alta pressão, estes obtidos às 12Z. Lima encontrou dois perfis verticais, o primeiro tipo apresentou

uma camada úmida abaixo de 750 mb (depressão do ponto de orvalho menor ou igual a 6°C) e uma camada seca (depressão do ponto de orvalho maior que 6°C) que se estende de 750 mb até o final da sondagem. Para o segundo tipo, a única diferença em relação ao primeiro, é a presença de uma camada úmida (depressão do ponto de orvalho menor ou igual a 6°C) acima da camada seca.

Oliveira (2002), com o emprego de um método estatístico, identificou as condições necessárias de ocorrência de nevoeiro de radiação no aeroporto internacional de Guarulhos, a partir das 12 horas anteriores a 00Z (horário da aplicação do método) as quais seriam céu claro ou com nebulosidade acima de 25000 pés e presença de névoa úmida. Com o emprego de Regressão Linear Múltipla e correlacionando a visibilidade horizontal com outros parâmetros meteorológicos, juntamente com o índice de estabilidade de nevoeiro Fog Stability Index (FSI), o autor obteve ótimos resultados em termos de previsão da visibilidade horizontal para as 12 horas posteriores à aplicação do método para o aeroporto de Guarulhos.

Leipper (1995) utilizou o Leipper inversion based statistics (LIBS) para prever ocorrência de nevoeiro na região da costa oeste litorânea dos Estados Unidos e conseguiu relacionar a base da inversão com a intensidade do nevoeiro. O autor também identificou que a maior probabilidade de ocorrência com visibilidade horizontal menor que 1000 m ocorria quando a base da inversão se posicionava entre a superfície e 250 m de altura.

Reis (1995), com o método estatístico de análise de sobrevivência, obteve resultados satisfatórios para o aeroporto de Portela em Lisboa Portugal, para o período de 1970 a 1989. A relevância de sua pesquisa está na aplicação prática do método, pois, esse gerou tabelas e gráficos de fácil consulta, o que permite acompanhar o início, a evolução e dissipação do nevoeiro em tempo hábil para a previsão.

Croft *et al* (1997) propuseram um modelo conceitual para previsão de nevoeiro na região sul dos Estados Unidos. Neste estudo, baseado nos perfis verticais

de temperatura, umidade e vento, identificaram uma camada úmida e outra seca. Nas ocorrências de nevoeiro de radiação o modelo identificou uma camada úmida com altura média de 350 m e acima desta a existência de uma camada muito seca. No caso de nevoeiro de advecção a altura média da camada úmida foi identificada em 846 m.

Oliveira e Federova (1998 a, b, c, d) identificaram padrões de perfis verticais de temperatura e umidade para a cidade de Pelotas e situação sinótica favorável à formação de nevoeiro e desenvolveram um algoritmo para previsão de nevoeiro em Pelotas. O algoritmo utiliza os dados da situação sinótica em Pelotas, o perfil vertical, obtidos do modelo do NCEP e os valores dos dados observados em Pelotas. Todos esses dados são confrontados e quando se adequam aos padrões identificados há indicação de ocorrência de nevoeiros. O algoritmo foi testado para o período de março a maio de 1998 e apresentou, segundo os pesquisadores, 95 % de acerto.

As primeiras simulações de nevoeiro de radiação negligenciavam os processos físicos envolvidos na formação do fenômeno. Fisher e Caplan (1963) desprezaram o espalhamento e o resfriamento radiativo do nevoeiro. Por outro lado, Zdunkowski e Nielsen (1969) foram os pioneiros a incluir o esquema de radiação no modelo de nevoeiro e adicionaram a contribuição da água (fase líquida e vapor) nos fluxos radiativos.

Brown e Roach (1976), utilizando o modelo de previsão de nevoeiro proposto por Zdunkowski e Nielsen (1969), obtiveram resultados inéditos com a adição do espalhamento gravitacional das gotículas. Neste modelo houve a estabilização das gotículas de água de nuvem próxima (em suspensão) à superfície devido à força de gravidade, que é diretamente proporcional ao diâmetro das gotículas, confirmando que os processos físicos envolvidos no desenvolvimento do nevoeiro deveriam apresentar o resfriamento térmico, o transporte turbulento e a deposição de água no solo.

Sellers *et al.* (1989), utilizando o Modelo SiB (Simple Biosphere ) mostraram que o conteúdo de umidade é importante nas transferências de calor sensível e latente.

Jiusto (1981), ao estudar em seus experimentos a estrutura do nevoeiro, relatou que a visibilidade horizontal está diretamente relacionada ao raio médio das gotículas das nuvens e indiretamente ao conteúdo de água líquida.

Kunkel (1984), estudando espectros de gotas coletadas a 5 m e 30 m de altura chegou à correlação quase linear, 95 % entre o coeficiente de extinção e o conteúdo de água líquida, tornando prático e mais realista, a conversão do conteúdo de água líquida em coeficiente de extinção ou visibilidade horizontal para o evento de nevoeiro.

Seguindo os progressos no tratamento da turbulência, Musson-Genon (1987) simulou um evento de nevoeiro de radiação dando uma nova ênfase nos papéis da turbulência, radiação termal e o espalhamento gravitacional das gotículas. Musson-Genon concluiu que para uma boa previsão de nevoeiro se faz necessário conhecer as condições iniciais de temperatura e umidade, bem como o estado hídrico do solo.

Ballard *et al.* (1991) foram pioneiros em usar um modelo tridimensional de mesoscala na previsão do nevoeiro. Em seus trabalhos, concluíram que a exatidão de circunstâncias iniciais, bem como uma melhor representação da resolução vertical, aumenta a exatidão e são essenciais para a acurácia das previsões dos modelos numéricos.

Bergot e Guédalia (1994) realizaram um estudo da sensibilidade no tempo da formação do nevoeiro denso e a formação do orvalho, usando um modelo unidimensional. Os resultados mostraram que o efeito da deposição de orvalho pode atrasar a formação do nevoeiro em até 4 horas. Eles avaliaram a deposição de orvalho em função da velocidade do vento. Na proporção que a velocidade do vento aumenta, a altura da camada de inversão noturna torna-se

maior, por outro lado o resfriamento da superfície é menor, uma vez que ocorrerá um aumento do fluxo turbulento sensível à superfície e, conseqüentemente, uma maior deposição de orvalho. Esses pesquisadores também notaram que a umidade do solo nos primeiros 10 cm afeta a taxa de resfriamento do solo e precisa ser conhecida na modelagem do nevoeiro.

Gultepe e Isaac (1999) observaram que sob condições de saturação, quanto maior for o número de concentração de núcleos, maior será a formação de gotículas menores, resultando espalhamento gravitacional e, portanto, menor visibilidade horizontal.

Gultepe e Isaac (2004b), em seus trabalhos sobre microfísica de nevoeiro, propuseram que o número de concentração de gotículas ( $N_d$ ) poderia mudar de poucas gotículas por volume até  $100/\text{cm}^3$  para um valor fixo de conteúdo de água líquida ( $LWC$ ), e esta variação deveria influenciar na visibilidade horizontal, indicando que esta poderia ser dada em função não somente de  $LWC$ , mas também de  $N_d$ .

Gultepe et al. (2006), após terem aplicado o parâmetro de visibilidade horizontal como função de  $N_d$  e  $LWC$  no Modelo de Nuvem de Mesoscala Canadense (MC2), mostraram que o uso da nova parametrização de visibilidade horizontal em modelo de previsão pode obter ganhos de até 50 % no valor da mesma, quando comparados com os dados observados.



### **3 VISIBILIDADE HORIZONTAL E NEVOEIRO**

O nevoeiro para aviação passa a ter grande interesse quando a visibilidade horizontal (VisH) atinge valores menores que 1000 m, pois com esses valores os pousos e decolagens dos aviões são extremamente prejudicados, tornando-se altamente arriscados. Desta forma, atualmente os previsores são cada vez mais requisitados para fornecerem acuradamente previsões de ocorrência de nevoeiro. Entretanto, tal previsão é muito complexa, pois envolve conhecimentos das propriedades do solo e da atmosfera que atuam na termodinâmica, cinemática e microfísica dos processos de formação do nevoeiro. Deste modo, os previsores utilizam diversas ferramentas - as quais dependem fortemente da qualidade dos dados utilizados para realizar este tipo de previsão - tais como: métodos estatísticos, climatologia e os modelos de PNT. Estes modelos são utilizados pelos previsores apenas como fonte de dados do estado geral da atmosfera, e as previsões de nevoeiro ainda são empíricas, ou têm um alto grau de empirismo ou experiência do previsor. Entretanto, nas últimas décadas a PNT teve grandes avanços e desta forma os modelos tornaram-se ferramentas de uso muito interessante e uma das mais utilizadas pelos centros de previsões, principalmente em previsões de longo prazo.

Na Meteorologia Aeronáutica a VisH associada a nevoeiros, bem como os locais de maiores ocorrências e o método como são registradas as observações da VisH, são de grande importância, pois esses registros geram as observações meteorológicas de superfície que irão determinar os pousos e decolagens das aeronaves. Essas peculiaridades são mais detalhadas nos próximos tópicos.

#### **3.1 Visibilidade horizontal**

O grau de transparência da atmosfera é indicado pela VisH, que é definida para fins aeronáuticos como a maior distância na qual um objeto negro de dimensões convenientes pode ser visto e reconhecido contra o horizonte. A

referida distância depende da luminância do objeto e o estado físico da atmosfera. A luminância é dada pela relação:

$$\frac{I(x_{obs})}{I_o} = \exp\left(-\int_0^{x_{obs}} \beta(x) dx\right), \quad (3.1)$$

em que  $I_o$  é a luminância do objeto,  $I(x_{obs})$  é a luminância de um objeto que um observador alcança a uma distância  $x_{obs}$  e  $\beta$  é o coeficiente de extinção que engloba absorção e espalhamento da luz. Admitindo-se que a absorção das nuvens pode ser desprezada, a solução da Equação (3.1) é dada por:

$$\frac{DI}{Dx} = -\beta(x)I, \quad (3.2)$$

Considerando  $\beta$  uma constante a equação (3.2) pode ser reescrita como:

$$VisH = -\frac{\ln(0,02)}{\beta}, \quad (3.3)$$

A razão  $\frac{I(x_{obs})}{I_o}$  é adotada como 0,02 significando que somente 2 % da luz do objeto é recebida pelo observador a uma distância do objeto. A  $VisH$  é dada em km e equivale a  $x_{obs}$ .

### 3.2 Nevoeiro

De acordo com o Glossário da American Meteorological Society (AMS) o nevoeiro é definido como gotículas de água em suspensão na camada atmosférica contígua à superfície terrestre, uma nuvem com base em contato com o solo, reduzindo a  $VisH$  no solo a menos de 1000 m. Nessas condições

define-se, sob ponto de vista operacional da meteorologia Aeronáutica, nevoeiro quando a VisH é menor que 1000 m e névoa úmida quando a VisH é maior ou igual a 1000 m, desde que a umidade relativa seja maior que 80 % para ambos. Caso a umidade relativa seja menor ou igual a 80 % é considerada névoa seca com VisH maior ou igual a 1000 m e fumaça quando a VisH for menor que 1000 m.

O nevoeiro forma-se pela queda da temperatura do ar até atingir o ponto de orvalho ou pela adição de vapor d'água até que a temperatura do ponto de orvalho torna-se igual à temperatura do ar provocando a saturação deste. O ar saturado contíguo à superfície é mais frio e mais úmido que o ar não saturado localizado imediatamente acima. Forma-se então a camada de inversão caracterizada pela estratificação estável da atmosfera, onde o nevoeiro se forma. O aumento (diminuição) na velocidade do vento tende a diminuir (aumentar) esta estabilidade, o que tende a dissipar (aumentar a duração) o nevoeiro por causa da maior (menor) turbulência na camada de inversão. Da mesma forma um maior (menor) aquecimento da superfície provocado pela maior (menor) incidência da radiação solar através do nevoeiro provoca maior (menor) diminuição da umidade relativa, aumentando mais rapidamente (mais lentamente) a espessura da camada de mistura e conseqüentemente antecipando (retardando) a dissipação do nevoeiro.

A saturação do ar pode ocorrer através do resfriamento radiativo (nevoeiro de radiação), resfriamento advectivo (nevoeiro de advecção) e do resfriamento por expansão adiabático ou por adição de vapor d'água (nevoeiro orográfico).

O nevoeiro de radiação geralmente ocorre em noites com predominância de vento calmo na superfície, céu claro ou somente com nuvens altas, a sua formação se origina devido ao resfriamento da superfície, assim a superfície e camada adjunta ficam mais frias que a camada de ar acima, criando deste modo a camada de inversão e as demais condições para o surgimento do

nevoeiro. Este tipo de nevoeiro com nascer do sol tende a se elevar à medida que a camada de inversão é destruída (Varejão-Silva, 2000).

O nevoeiro de advecção depende do transporte de ar entre regiões de temperaturas de superfície contrastantes, por exemplo, quando há o deslocamento de uma massa de ar quente e úmida sobre uma massa de ar fria (WALLACE, HOBBS, 2006). Este tipo de nevoeiro no Brasil ocorre mais freqüentemente em áreas próximas ao litoral, quando massas de ar quentes e úmidas do oceano Atlântico atingem as superfícies frias do continente.

O nevoeiro orográfico surge quando o ar já saturado ascende à encosta, expandindo-se adiabaticamente e resfriando-se, forma as gotículas.

Independentemente de qual seja o tipo de origem do nevoeiro, a previsão da visibilidade horizontal associada a sua ocorrência é bastante complexa.

Segundo Reymann *et al*, 1998, o Fog Stability Index – FSI – foi criado e testado por Herr Harald Strauss na Alemanha, em 1970, na previsão de ocorrência de nevoeiro de radiação, as variáveis deveriam ser da radiossondagem das 00Z e o FSI obtido indicaria a probabilidade de ocorrência de nevoeiro nas próximas 12 h. Os valores do índice com suas correspondentes probabilidades são dados na Tabela 3.1. O índice é adimensional e obtido pela Equação 3.4.

$$FSI = 4T_{2m} - 2(T_{850} + Td_{2m}) + W_{850} , \quad (3.4)$$

Em que  $T_{2m}$  é a temperatura superfície a 2 m em °C,  $T_{850}$  é a temperatura em 850 hPa em °C,  $Td_{2m}$  é a temperatura do ponto de orvalho a 2 m em °C e  $W_{850}$  é a velocidade do vento em 850 hPa dada em nós.

Tabela 3.1 - Valores de FSI

Valores de FSI	Probabilidade de ocorrência de nevoeiro
FSI >55	Baixa
$31 \leq FSI \leq 55$	Média
FSI < 31	Alta

Ressalta-se que não há estudos na eficiência do índice FSI na previsão de nevoeiro na região centro sul do Brasil.

Para permitir o melhor entendimento da metodologia usada nas medidas observacionais de visibilidade, segue-se a descrição da metodologia de observação usada na maioria dos aeroportos do Brasil.

### **3.3 Registros de ocorrência de visibilidade horizontal associada aos nevoeiros**

Os registros da VisH são obtidos por estimativas visuais dos observadores meteorológicos das Estações Meteorológicas de Superfície (EMS). A maior parte das EMS que estão localizadas próximas aos aeroportos, é administrada pelo Comando da Aeronáutica (COMAER) e a Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO). O procedimento sobre a realização de observações e registros tem como órgão gerenciador o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) da Força Aérea Brasileira (FAB), subordinada ao COMAER pertencente ao Ministério da Defesa.

As EMS efetuam observações regulares, para fins aeronáuticos, a intervalos fixos. Nos aeroportos, as observações regulares se complementam com as observações intermediárias em casos de alteração, significativa para aviação, do estado do tempo. Essas observações formarão a base para preparar as informações que serão difundidas no aeroporto de origem, bem como fora dele. As observações regulares são aquelas confeccionadas de hora em hora, sempre ao 0 minuto, as quais geram o *Meteorological Aerodrome Report* (METAR), que é um relatório codificado, associado às observações meteorológicas e utilizado para fornecer informações sobre condições do tempo na superfície. Geralmente, é composto pelos seguintes itens: vento, visibilidade, alcance visual, tempo presente na pista, nebulosidade, temperatura do ar e do ponto de orvalho e pressão ao nível do mar (ajuste de altímetro). Já as observações intermediárias geram o *SPECI*, relatório

codificado, quando da ocorrência de mudanças significativas com respeito ao vento à superfície, à visibilidade, ao tempo presente, à temperatura e às nuvens, ocorrerem quando o minuto da hora corrente for diferente de zero.

Os registros das observações são efetuados em formulários próprios e como na presente dissertação a ênfase é dada nos registros de tempo presente nevoeiro e VisH. Deste modo, nos próximos parágrafos, é explicado como são codificados esses registros.

O tempo presente é registrado baseado na Tabela 4677 da MCA 105-10 (Manual de Códigos Meteorológicos) elaborada pelo DECEA.

Assim, o código do tempo presente que representa as ocorrências de nevoeiro é dado pelos valores entre 40 e 49, dos quais do 42 a 49, a VisH será inferior a 1000 metros. No caso de 40 ou 41, a VisH aparente em bancos de nuvens ou nevoeiro glacial, será inferior a 1000 metros. Os números 40 a 47 serão utilizados quando a redução da VisH se dever, essencialmente, à presença de gotículas d'água ou cristais de gelo, e 48 e 49, quando a redução da VisH for essencialmente pela presença de gotículas d'água. Na Tabela 3.2 são apresentados os códigos utilizados nos registros de ocorrência de nevoeiro.

A VisH é registrada em incrementos de 5 decâmetros (dam) até o valor de 50 decâmetros ; em incrementos de 10 decâmetros de 50 até 500 decâmetros, e em incrementos de 100 decâmetros acima do valor de 500 decâmetros metros. Quando a visibilidade for inferior a 5 decâmetros, registra-se 0000 e quando for superior ou igual a 2000 decâmetros, registra-se 2000. Na estimativa da VisH o observador utiliza como apoio duas cartas de VisH, que são confeccionadas para cada EMS.

Tabela 3.2 - Codificação do Nevoeiro

Código	Nevoeiro	Varição
40	Nevoeiro ou nevoeiro glacial à distância na hora da observação, mas não na estação durante a hora precedente; o nevoeiro ou nevoeiro glacial se estende a um nível superior ao do observador	
41	Nevoeiro ou nevoeiro glacial em bancos	
42	Nevoeiro ou nevoeiro glacial, céu visível	Tornou-se mais fraco durante a hora precedente
43	Nevoeiro ou nevoeiro glacial, céu invisível	Tornou-se mais fraco durante a hora precedente
44	Nevoeiro ou nevoeiro glacial, céu visível	Sem mudança apreciável durante a hora precedente
45	Nevoeiro ou nevoeiro glacial, céu invisível	Sem mudança apreciável durante a hora precedente
46	Nevoeiro ou nevoeiro glacial, céu visível	Começou ou tornou-se mais forte durante a hora precedente
47	Nevoeiro ou nevoeiro glacial, céu invisível	Começou ou tornou-se mais forte durante a hora precedente
48	Nevoeiro, depositando escarcha, céu visível	
49	Nevoeiro, depositando escarcha, céu invisível	

Fonte: BRASIL, COMAER (2001)

As cartas de VisH são cartas de pontos de referência – tais pontos devem ser permanentes, como por exemplo, grandes construções e acidentes geográficos- com as seguintes características:

- a) carta na escala de 1: 200.000 - deverá incluir todos os pontos de referência situados a partir de 2 km de distância do ponto de

- observação, abrangendo um raio de 20 km. Círculos concêntricos deverão ser rotulados pelas correspondentes distâncias, com intervalo de 2 km a partir do centro da carta;
- b) carta na escala de 1: 20.000 - deverá excluir os pontos de referência situados a mais de 2 km de distância do ponto de observação. Círculos concêntricos deverão ser rotulados pelas correspondentes distâncias, separados em intervalos de 200 m a partir do centro da carta;
  - c) o ponto de observação, local onde o observador realiza as observações, deve ocupar o centro das cartas de pontos de referência; e
  - d) os pontos cardeais verdadeiros, sempre que for possível, deverão ser materializados em torno do ponto de observação.

A Figura 3.1 a título de exemplo, representa a carta de VisH na escala de 1: 20.000 para um aeroporto fictício. Nesta carta, observam-se vários pontos de referência, os quais apresentam informações de azimute do ponto, altura e distância entre o ponto de observação e o ponto de referência. Exemplifica-se o ponto P21, que é uma torre de telecomunicações, localizado no azimute de 246°, altura de 45 m e distância de 1266 m. Dado o exemplo, como pode ser observado na Figura 3.1, conforme a distribuição dos pontos de referência à estimativa visual da VisH, poderá apresentar maior ou menor aproximação com a distância real. Na carta apresentada na região que abrange 0° até 90°, distâncias superiores a 400 m ficam menos precisas se comparadas com a região SW. Desta maneira a acurácia da medida da VisH vai depender do observador e da carta de visibilidade utilizada.

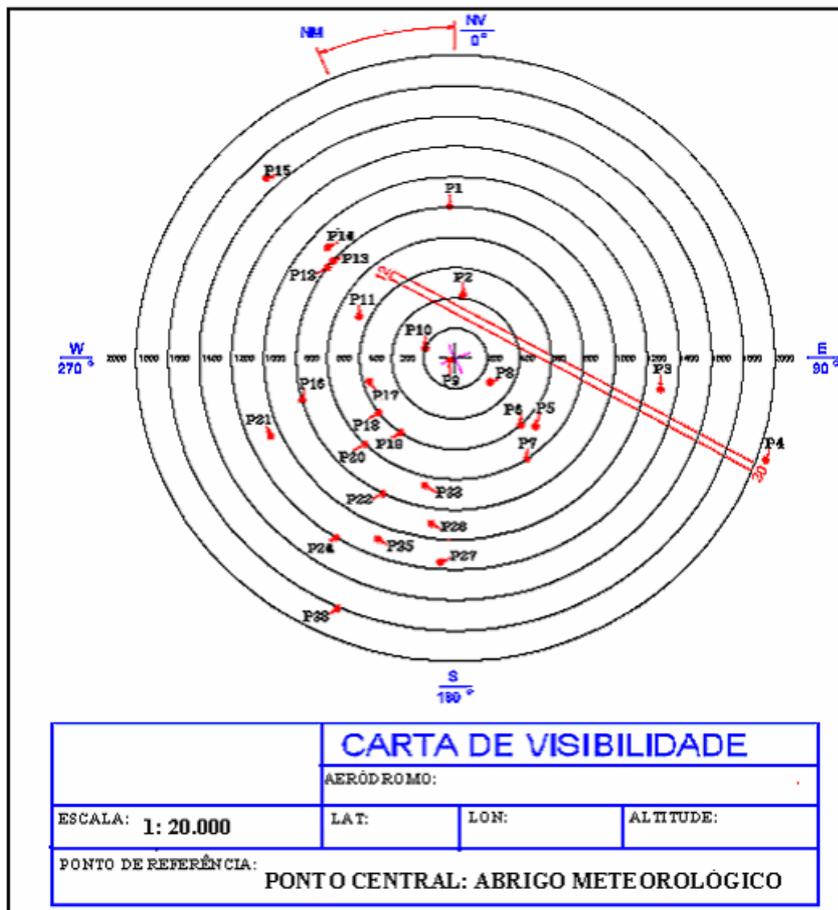


Figura 3.1 – Um exemplo de uma carta de visibilidade, nela são indicados os pontos cardeais, o eixo da pista com suas cabeceiras e pontos de referências localizados nos círculos concêntricos distantes em 200 m a partir do centro da carta.

### 3.4 Aeroportos

No Brasil as maiores restrições de VisH na atividade de transporte aéreo são causadas por nevoeiros, sobretudo, nas regiões Sul e Sudeste. É nessas regiões que se localizam (Figura 3.2), os aeroportos de maior movimento de tráfego aéreo, dentre os quais, o aeroporto de Afonso Pena (grande Curitiba), Guarulhos-SP e Salgado Filho (Porto Alegre-RS).

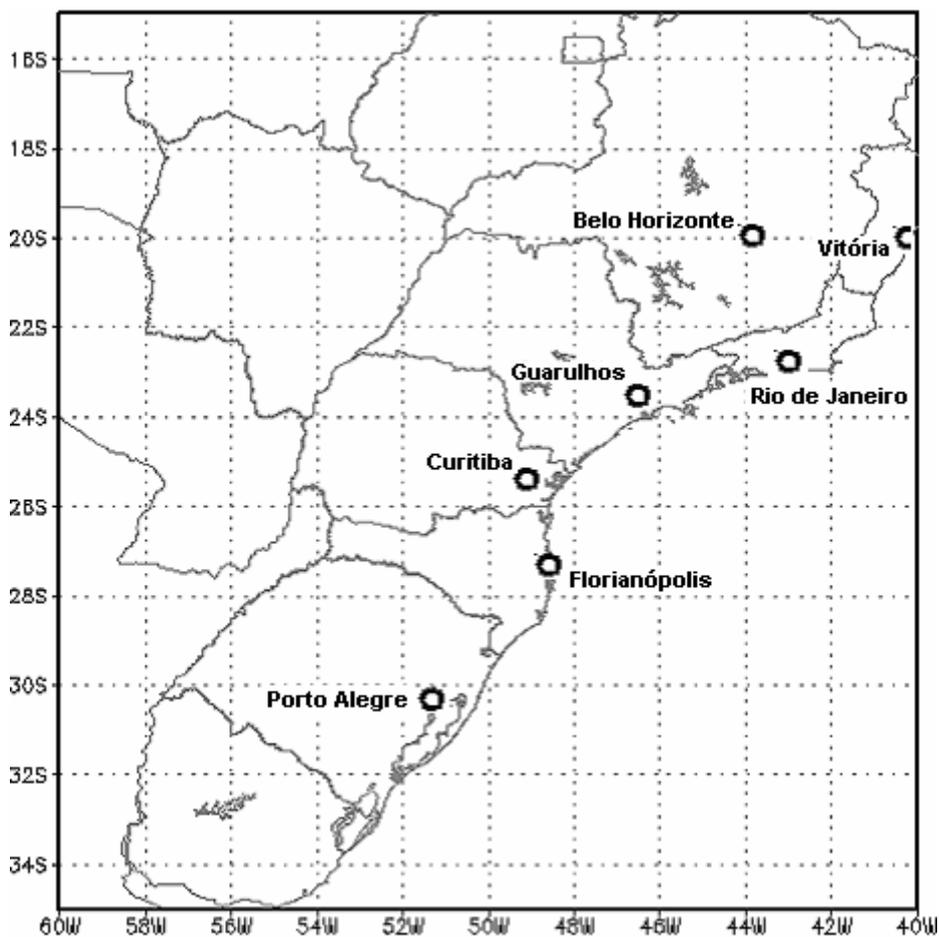


Figura 3.2 - Localização dos principais aeroportos das regiões S e SE do Brasil.

1) O aeroporto Afonso Pena está localizado Curitiba-PR com 930 m de altitude, entre 2 serras, a leste tem a Serra do Mar e a oeste a Serra de São Luiz do Purunã, construído a cerca de 5 km da nascente do rio Iguaçu (região de banhado). As suas coordenadas geográficas são latitude  $25^{\circ} 32'S$  e longitude  $49^{\circ} 10'W$ . As ocorrências de nevoeiros neste aeroporto são bastante comuns, a Figura 3.3 mostra uma típica ocorrência de nevoeiro no inverno.



Figura 3.3 – Nevoeiro no aeroporto de Afonso Pena em 04/07/2006.

Fonte: ROCHA (2006)

2) O aeroporto de Guarulhos situa-se na latitude  $23^{\circ} 26'S$  e na longitude  $046^{\circ} 28'W$ , 751 m de altitude. Localiza-se a NE do município de São Paulo, em uma planície no vale do Rio Baquirivu-Guaçu, afluente da margem direita do alto Tietê. As ocorrências de nevoeiros neste aeroporto causam grandes transtornos à aviação do Brasil inteiro devido ao grande movimento de cargas e passageiros, a Figura 3.4 mostra uma ocorrência de nevoeiro no início do outono de 2007, neste aeroporto.



Figura 3.4 – Nevoeiro no aeroporto de Guarulhos em 26/03/2007.

Fonte: GUANDELIN (2007)

3) O aeroporto Salgado Filho situa-se na latitude  $30^{\circ} 02'S$  e na longitude  $051^{\circ} 22'W$ , com 911 m de altitude. Localiza-se no município de Porto Alegre, a 4km a leste do rio Jacuí, 12 km a NE do lago Guaíba e 38 km da Lagoa dos Patos.

No tópico seguinte é apresentada a metodologia empregada nos experimentos numéricos, contendo uma breve descrição do Modelo Eta, a configuração utilizada nos experimentos e as estimativas de visibilidade horizontal.

## 4 METODOLOGIA

Neste tópico são apresentadas as descrições do Modelo Eta, a configuração utilizada nos experimentos, as metodologias de estimativa de visibilidade horizontal e os experimentos numéricos.

### 4.1 Modelo Eta

O modelo de previsão numérica do tempo Eta é um modelo regional utilizado no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais em forma operacional desde 1996 (CHOU,1996), que se propõe a prever com maiores detalhes fenômenos associados a frentes, orografia, brisas marítimas, tempestades severas, etc., enfim, sistemas organizados em mesoscala. Esse modelo é oriundo de trabalho conjunto com a Universidade de Belgrado e o Instituto de Hidrometeorologia da Iugoslávia, mais tarde tornou-se operacional, no *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP), localizado nos Estados Unidos, (MESINGER et al. 1988; BLACK 1994).

O modelo Eta utiliza o esquema de diferenças finitas que tem como variáveis prognósticas a temperatura do ar, umidade específica, componente zonal e meridional do vento, pressão à superfície, energia cinética turbulenta, e hidrometeoros da nuvem. Essas variáveis são distribuídas horizontalmente na grade E de Arakawa (ARAKAWA, LAMB,1977).

A integração no tempo é na forma de particionamento explícito conhecido como *split-explicit*, com esquema *forward-backward*, modificado por Janjic (1979), para os termos de ajuste devido às ondas de gravidade inerciais e *Euler-backward* para os termos de advecção horizontal e vertical.

O método de Janjic (1984) é aplicado ao esquema de diferenças finitas no espaço, que controla o falso escoamento de energia para as ondas mais curtas. A suavização dos campos é obtida pela combinação de um

amortecimento na divergência com uma difusão horizontal não-linear de 2ª ordem.

Uma peculiaridade do modelo é a utilização da coordenada vertical Eta - coordenada  $\eta$  (eta) -, que dá o nome ao modelo. É adequada em regiões montanhosas, uma vez que a grande vantagem do uso desta coordenada é que as superfícies são aproximadamente horizontais - a topografia é representada na forma de degraus discretos -, o que reduz os erros nos cálculos obtidos a partir de derivadas horizontais, principalmente aqueles relacionados com a força do gradiente horizontal de pressão (MESINGER, 1984). Assim, a coordenada vertical é definida como:

$$\eta = \frac{p_a - p_t}{p_s - p_t} \left[ \frac{p_r(z_s) - p_t}{p_r(0) - p_t} \right]. \quad (4.1)$$

Sendo  $p_a$  é a pressão atmosférica,  $p_s$  é a pressão à superfície (no modelo é igual a 1013,25 hPa),  $p_t$  é a pressão no topo da atmosfera (no modelo é igual a 25 hPa),  $p_r$  é a pressão de referência que é função de  $z_s$  (no modelo é usado a atmosfera padrão), já  $z_s$  é altitude à superfície.

Os complexos processos físicos do modelo são resolvidos por esquemas de parametrizações. A turbulência é representada pelo esquema de Mellor-Yamada 2.5 na atmosfera livre, onde a energia cinética turbulenta é prognosticada. Os fluxos de superfície são determinados a partir da teoria de similaridade de Monin-Obukhov e utilizam as formulações de Paulson (1970), para representar as trocas de energia na camada superficial.

O pacote de radiação, que inclui tratamento para radiação de ondas longas e ondas curtas (radiação solar), foi desenvolvido pelo *Geophysical Fluid Dynamical Laboratory (GFDL) da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* nos Estados Unidos. A radiação de onda curta baseia-se no esquema de Lacis e Hansen (1974) e a radiação onda longa (radiação

terrestre) baseia-se no esquema de Fels e Schwarzkopf (1975). Os processos de radiação (solar e terrestre) provocam taxas de aquecimento ou resfriamento, as quais são calculadas a cada uma hora de integração. As distribuições de dióxido de carbono, ozônio e albedos de superfície iniciais são fornecidos pela climatologia. As tendências de temperatura da atmosfera devido aos efeitos radiativos são aplicadas pelo modelo a cada passo de ajustamento no tempo.

O modelo possui dois esquemas de parametrização de precipitação convectiva: o esquema Betts-Miller (BETTS, MILLER, 1986), com modificações de Janjic (1994) e o esquema de Kain-Fritsch (Kain e Fritsch, 1993). A microfísica de nuvens é parametrizada pelo esquema de Ferrier (2002), prevendo a variação de seis tipos de hidrometeoros levando em conta os processos físicos de evaporação, condensação, derretimento, congelamento, sublimação e deposição que ocorrem na atmosfera. Este esquema é mais detalhado a seguir.

#### 4.1.1 Descrição da Microfísica do Modelo Eta

O esquema de parametrização de microfísica de nuvens presente no modelo Eta foi formulado por Ferrier (2002). Este esquema prevê o prognóstico de seis tipos de hidrometeoros:

- 1) Água de nuvem, constituída de pequenas gotículas em suspensão;
- 2) Gelo de nuvem, constituídos de pequenos cristais de gelo em suspensão;
- 3) Chuva, constituída por gotas maiores que precipitam, com diâmetro superior a 5 mm;
- 4) Neve formada por cristais de gelo branco, normalmente tem forma hexagonal;
- 5) *Graupel* são pequenas pelotas de gelo (macio) formadas pelo *rimed* da neve, possuem diâmetro superior a 5 mm;

6) *Sleet (ice pellets)* são pelotas de gelo transparentes ou translúcidos, podem chegar até a 5 mm de diâmetro.

A distribuição de tamanho de gotas é representada por uma função de distribuição exponencial. O esquema em questão representa a nuvem e a precipitação na escala de grade do modelo, as características do esquema são:

1) Algoritmo de condensação: é o algoritmo proposto por Asai (1965), que calcula as mudanças entre o vapor d'água e a água líquida da nuvem. Este algoritmo ajusta eficientemente os campos de temperatura, umidade e água líquida de nuvens a um limiar de umidade relativa. O limiar está associado a uma aproximação da condensação de água líquida, que é função da resolução do modelo (próximo de 100 % em altas resoluções), quando a variabilidade de umidade da escala de subgrade torna-se suficientemente pequena devido aos processos não resolvidos. De uma forma simplificada o cálculo das mudanças entre o vapor d'água e a condensação das gotas da nuvem é efetuado da seguinte forma:

O excesso da umidade em relação ao vapor de água é condensado e a liberação do calor latente aumenta a temperatura da caixa de grade. Parte da água condensada (em qualquer um de seus seis tipos) é armazenada na caixa de grade e a caixa de grade imediatamente inferior recebe a outra parte. Se esta não estiver saturada, parte desta será evaporada até que o limiar de umidade relativa seja alcançado, caso a caixa imediatamente abaixo esteja saturada repete-se o processo até atingir o solo. O limiar de umidade relativa ( $UR$ ) adotado é de 90 a 98 % para resolução ( $\Delta x$ ) de 5 a 100 km é dado pela equação abaixo:

$$UR = 0,90 + 0,08 \left[ \frac{(100 - \Delta x)}{95} \right]^{0,5} . \quad (4.2)$$

2) Fluxo de precipitação: o armazenamento da precipitação na atmosfera é permitido, uma vez que a integração dos fluxos de precipitação do topo da

nuvem à superfície prevê a precipitação chegando à superfície. Os fluxos de precipitação se distribuem entre o armazenamento local na caixa de grade proporcionalmente à espessura da camada e a precipitação que cai na caixa de grade imediatamente abaixo. A microfísica das fontes (sumidouros) da precipitação no interior de uma caixa de grade produz grandes (pequenos) fluxos de precipitação em direção à caixa imediatamente abaixo e maiores (menores) taxas de precipitação suspensas no interior da caixa de grade.

3) Tipos de precipitação: a chuva, chuva congelada ou gelo (que podem ser do tipo agregados de baixa densidade (*fluffy snow*), *rimed snow*, ou ainda granizo denso, também conhecido como *heavily rimed snow* ou *sleet* denominado de *ice pellets* ) são formas de precipitação à superfície. A densidade do gelo *rimed* varia em função do local onde ele é formado pelo congelamento da chuva supercongelada (*sleet*) ou pela água da nuvem *riming* na neve. Implicitamente é assumido, neste esquema, que a água líquida coletada é filtrada dentro das cavidades dos poros da partícula de gelo, aumentando desse modo a sua massa, conservando seu volume e área da seção transversal.

4) Condições de fase mista: processos de fase mista (coexistência de água e partículas de gelo) são considerados no esquema para temperaturas maiores que  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  e menores que  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , já para temperaturas menores ou iguais  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , o esquema assume que chuvas supercongeladas tornam-se gelo.

5) Processos de congelamento e derretimento: o calor latente associado à sublimação da água do gelo na nuvem, o congelamento da chuva supergelada e o derretimento de todas as partículas de gelo são considerados. Os efeitos das taxas de derretimento sobre a umidade relativa são considerados, nos quais a condensação ocorreria em derretimento do gelo sob condições úmidas e a evaporação ocorreria em derretimento do gelo em condições mais secas.

## 4.2 Metodologias de estimativa da visibilidade horizontal

No presente trabalho são avaliadas duas metodologias de previsão de visibilidade horizontal, baseadas na proposta por Kunkel (1984) - é utilizada atualmente no modelo Eta. A segunda proposta por Gultepe et al. (2006), a qual foi implementada, neste trabalho, no modelo Eta. Estas metodologias utilizam a variável conteúdo de água líquida, **LWC**, e a segunda inclui a concentração de gotículas, **N<sub>v</sub>**.

### 4.2.1 Método Kunkel (1984)

Devido à complexidade de se obter o coeficiente de extinção (**β**) que engloba absorção e espalhamento da luz como função da distribuição das gotículas no ar, Kunkel recorreu a fórmulas empíricas, que foram obtidas após utilizar 1400 medidas do espectro de gotas, de um total de 11 casos de nevoeiro, totalizando 90h de medidas, para 5m e 30m acima do solo, a Tabela 4.1 abaixo mostra a correlação entre **β** e **LWC**, para quatro tipos de hidrometeoros, em que **β** é dado por 1/km e **LWC** é dado por g/m<sup>3</sup>, observando que para o caso específico do nevoeiro a correlação foi de 0,95 entre **β** e **LWC**.

Tabela 4.1– Coeficientes de extinção propostos por Kunkel

Hidrometeoros	Correlação ( <i>LWC versus β</i> )
Água líquida para nuvem ou nevoeiro	$\beta = 144,7(LWC)^{0,88}$
Chuva	$\beta = 1,1(LWC)^{0,75}$
Nuvem de gelo	$\beta = 163,9(LWC)^{1,00}$
Neve	$\beta = 10,4(LWC)^{0,78}$

Fonte: KUNKEL (1984)

De acordo com a tabela acima a estimativa de visibilidade horizontal de nevoeiro proposta por Kunkel (1984) é dada pela fórmula:

$$Vis = -\frac{\ln(0,02)}{144,7(LWC)^{0,88}}. \quad (4.3)$$

#### 4.2.2 Método de Gultepe *et al.* (2006)

A visibilidade horizontal é estimada em função de **LWC** e **N<sub>d</sub>**, e dado pela fórmula:

$$Vis = \frac{1,002}{(LWC \times N_d)^{0,6473}}, \quad (4.4)$$

Em que *Vis* é a Visibilidade horizontal associada ao nevoeiro.

Gultepe *et al.* (2006) propuseram esta relação após medições do experimento de radiação e aerosol de nuvens, o *Radiation and Aerosol Cloud Experiment (RACE)*. Os pesquisadores observaram que a **Vis** sofre grandes variações para pequenas variações de **N<sub>d</sub>** para valores abaixo de 100/cm<sup>3</sup>. Por outro lado, a **Vis** sofre pequenas variações para grandes variações de **N<sub>d</sub>** para valores maiores que 100/cm<sup>3</sup>, ou seja, para um valor fixo de **LWC**, **N<sub>d</sub>** pode variar de poucas gotículas até 100/cm<sup>3</sup>, assim um mesmo (variação) valor de **LWC** e uma variação (valor fixo) de **N<sub>d</sub>**, tem como resultado diferentes valores de visibilidade horizontal, como pode ser visto na Figura 4.1.

Introduz-se o cálculo de **N<sub>d</sub>** no modelo Eta utilizando a fórmula empírica sugerida por Gultepe and Isaac (2004), que é dada em função da temperatura do ar a 2m (T<sub>2m</sub>) em graus Celsius, considera-se então que:

$$N_d = -0,071T_{2m}^2 + 2,213T_{2m} + 141,56. \quad (4.5)$$

Esta relação foi obtida a partir de medições de campo em nuvens stratiformes na região de Ontário, Canadá.

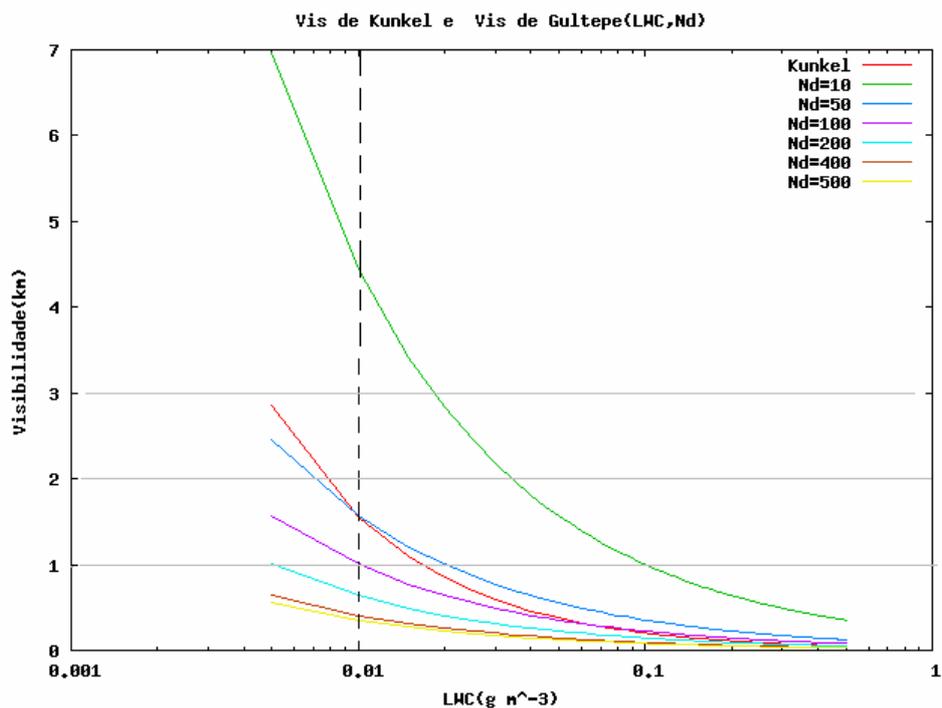


Figura 4.1 – Visibilidade horizontal versus **LWC** baseados em diferentes valores de **Nd**. A curva vermelha é a obtida da equação 4.3 e as demais curvas são obtidas da equação 4.4.

### 4.3 Configuração do Modelo e experimentos

O modelo Eta utilizado neste trabalho tem como condições iniciais e de contorno lateral as análises do NCEP e as previsões do modelo Eta de 40 km. Inicialmente foram realizados quatro testes. O primeiro teste com resolução de 20 km e 38 níveis na vertical, o segundo teste com 15 km na horizontal e 60 níveis na vertical, terceiro com resolução de 2 km e 60 níveis na vertical e quarto teste com resolução de 4 km e 60 níveis na vertical. Os dois primeiros testes não foram sensíveis às ocorrências de nevoeiro, devido à baixa resolução horizontal, o terceiro e o quarto testes apresentaram resultados bem semelhantes. Entretanto, o terceiro teste tornou-se inviável devido ao tempo de processamento mais que o dobro em relação ao quarto teste. Assim, escolheu-se a configuração do quarto teste para a realização dos experimentos, nos

quais os valores das previsões são atualizados a cada 6 horas, a resolução é de 4 km na horizontal e 60 níveis na vertical. O tempo de integração é de 48h, com saídas horárias. Os domínios de 200 km por 200 km estão centrados nas posições geográficas dos aeroportos em estudo.

São realizados os seguintes experimentos utilizando a configuração acima:

1) Experimento 1 (E1):

O modelo é integrado mantendo esquema da microfísica de nuvens atual do modelo, o valor do limiar da umidade relativa no algoritmo de Asai (Equação 4.2) e a umidade do solo climatológica na condição inicial. Dessa integração extraem-se duas estimativas para VisH no pós-processamento do modelo Eta, uma em função da fórmula proposta pela metodologia de Kunkel (1984) e outra em função da fórmula proposta pela metodologia de Gultepe *et al.* (2006).

2) Experimento 2 (E2):

A mesma configuração do experimento 1, exceto o valor do limiar da umidade relativa no algoritmo de Asai (Equação 4.2) que é alterado para um limiar maior (Equação 4.6) no processamento do modelo Eta, pois em situação de não saturação uma maior quantidade de água é evaporada e uma menor liberação de calor latente ocorre, já que uma menor quantidade de água se condensa, diminuindo o conteúdo de água líquida para a formação do nevoeiro.

$$UR = 0,90 + 0,1 \left[ \frac{(100 - \Delta x)}{96} \right]^{0,5} \quad (4.6)$$

### 3) Experimento 3 (E3):

Neste experimento a umidade do solo climatológica na condição inicial é substituída por 50 % de seu valor no processamento do modelo Eta, já que quanto menor a umidade do solo menor é a taxa de resfriamento da superfície do solo. A umidade do solo (proveniente água de chuva, após uma passagem da frente, por exemplo) pode ser evaporada provocando o resfriamento do solo e o suprimento de umidade necessário para a formação do nevoeiro, condições que não são adequadamente representadas pela umidade do solo climatológica.

### 4) Experimento 4 (E4):

O quarto experimento é uma combinação do Experimento 2 e Experimento 3, ou seja são utilizados, simultaneamente, um limiar de umidade relativa maior e uma redução de 50 % da umidade do solo nas condições iniciais.

O experimento E1 é o controle. Os resultados dos os experimentos são comparados com o controle, com os dados de observação e com as imagens infravermelho realçadas, obtidas com o produto de detecção de nevoeiros e stratus por imagens do GOES-12 do INPE (Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais do CPTEC).

Ferreira, N. J. *et al* (1998) descrevem que o produto de detecção de nevoeiros e stratus por imagens do GOES indica as áreas de ocorrências de nevoeiro e/ou stratus utilizando as diferenças de temperatura de brilho entre os canais 4 e 2 do GOES. E a distinção entre nevoeiros e stratus pode ser mais bem diferenciada com o processo de animação de uma seqüência de imagens e os melhores resultados são obtidos no período noturno.

Uma vez descrita a metodologia utilizada neste trabalho, o próximo tópico com o objetivo de um melhor entendimento da ocorrência da VisH associada ao nevoeiro é apresentada a seguir uma estatística dos dados observados desse fenômeno em alguns dos principais aeroportos das regiões Sudeste e Sul do

Brasil e na seqüência são discutidos os resultados dos experimentos numéricos realizados.



## 5 RESULTADOS

Inicialmente uma estatística das ocorrências de nevoeiro, no período de 2003 a 2005, é realizada para melhor caracterizar a natureza desse evento. Em seguida os resultados dos experimentos numéricos são apresentados.

### 5.1 Estudo Observacional

Os dados observacionais, analisados, são de 2003, 2004 e 2005 das EMS dos aeroportos Afonso Pena (Curitiba-PR), Guarulhos-SP e Salgado Filho (Porto Alegre-SP) todos subordinadas ao DECEA operacionalmente. A importância da redução da VisH provocada por nevoeiros pode ser notada pelos números de ocorrências registradas em observações horárias e intermediárias como mostra a Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Observações com nevoeiro.

Aeroportos	Ano	Obs. horárias com nevoeiro		Percentual de obs. horárias com nevoeiro			Total de obs. com nevoeiro no ano,horárias e intermediárias
		ano	abril a agosto	ano	abril a agosto	abril a agosto em relação ao ano	
Afonso Pena	2003	460	263	5,3 %	7,2 %	57,2 %	602
	2004	350	228	4,0 %	6,2 %	65,1 %	452
	2005	341	230	3,9 %	6,3 %	67,5 %	471
Guarulhos	2003	158	127	1,8 %	3,4 %	80,4 %	226
	2004	127	86	1,5 %	2,3 %	67,7 %	196
	2005	82	70	1,4 %	1,3 %	85,4 %	125
Salgado Filho	2003	125	79	1,4 %	2,2 %	63,2 %	177
	2004	92	43	1,2 %	1,5 %	46,7 %	92
	2005	104	63	1,2 %	1,7 %	60,6 %	172

Ao analisar a Tabela 5.1, em termos percentuais o total de horas de ocorrência com relação ao total de horas do ano (8760 h). A freqüência de ocorrência de nevoeiro nas observações horárias acontece em até 5,3% em Afonso Pena, 1,8 % em Guarulhos e 1,4 % em Salgado Filho na amostra estudada que inclui o

período de verão quando os nevoeiros são raros. Ao analisar o período de abril a agosto dos 03 aeroportos, observa-se que é o período de maior ocorrência. Do total de ocorrências horárias de nevoeiros o período de abril a agosto corresponde em até 67,5 % em Afonso Pena, 85,4 % em Guarulhos e de 63,2 % em Salgado Filho. Essa amostra estudada apresenta as falhas horárias com os dados de Guarulhos e Porto Alegre como mostra a Tabela 5.2, entretanto estas falhas não parecem comprometer o estudo.

Tabela 5.2 – Ausência de registros de observações.

Aeroporto	Ausência de registros de observações	Ano
Guarulhos	09/janeiro das 02 h até 23 h de 31/janeiro; 12/fevereiro das 16 h até 23h de 28/fevereiro; 08/março das 15 as 23 h; 14/abril das 15h até 23 h de 30/ abril; 20/maio das 05 h até 23 h de 31/maio; 01/julho das 09 h até 23h de 31/julho; 19/agosto das 10 h até 23 h de 31/agosto; 09/novembro das 13 h até 23 h de 30/novembro; 06/dezembro até 31/dezembro.	2005
Salgado Filho	Mês de maio.	2004

As freqüências de ocorrências regulares (horárias) de nevoeiros e VisH associada são dadas em horas e meses, como pode ser visto nas figuras que seguem a seguir.

- Afonso Pena

A Figura 5.1 mostra a variação anual das ocorrências – em horas – de nevoeiro observadas no aeroporto de Afonso Pena no período de 2003 a 2005. Esta variação anual indica que as maiores freqüências ocorrem no período de maio a agosto, sendo mais freqüente em junho e as menores freqüências de dezembro a janeiro. Em termos percentuais de um total de 1134 observações regulares que registraram a ocorrência de nevoeiro, a Figura 5.1 mostra que aproximadamente 68 % das ocorrências se concentram nos meses de maio a

agosto, destacando junho com aproximadamente 25 % das ocorrências e 8 % nos meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro.

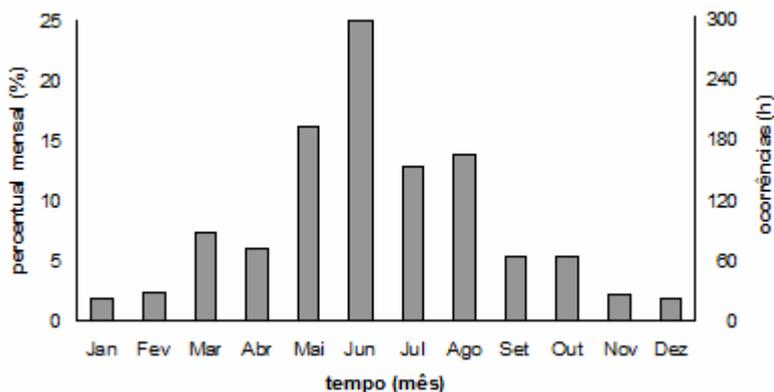


Figura 5.1 – Percentual mensal acumulado e variação anual das observações de ocorrências de nevoeiro no aeroporto de Afonso Pena no período de 2003 a 2005.

A Figura 5.2 mostra a variação diária das ocorrências de nevoeiro observadas no aeroporto de Afonso Pena no período de 2003 a 2005. Nesta figura, pode-se observar que a maioria das ocorrências de nevoeiro ocorre no período da 00 às 09Z. Em termos percentuais a Figura 5.2 indica que de um total de 1134 ocorrências, aproximadamente 92 % se concentram entre a 00 e 12Z, com pico de maior frequência às 07Z e 8 % entre as 19 e 23Z.

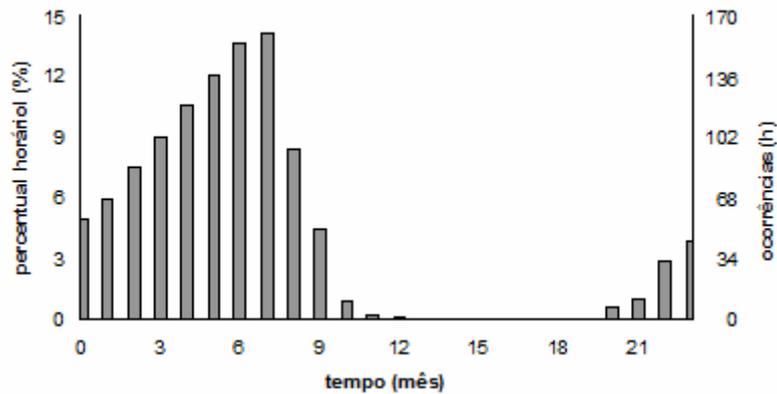


Figura 5.2 - Percentual horário acumulado e variação diária das observações de ocorrências de nevoeiro no aeroporto de Afonso Pena no período de 2003 a 2005.

- Guarulhos

A Figura 5.3 mostra a variação anual e percentual mensal acumulados das ocorrências de nevoeiro observadas no aeroporto de Guarulhos no período de 2003 a 2005. Nessa figura observa-se que a variação anual indica que, de um total de 368 ocorrências, as maiores freqüências (aproximadamente 79 %) ocorrem nos meses de abril a agosto, com predominância em junho, mesmo com as falhas dos meses de abril, maio, julho e agosto de 2005 mostradas na Tabela 5.2, e as menores freqüências (aproximadamente de 8 %) nos meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro.

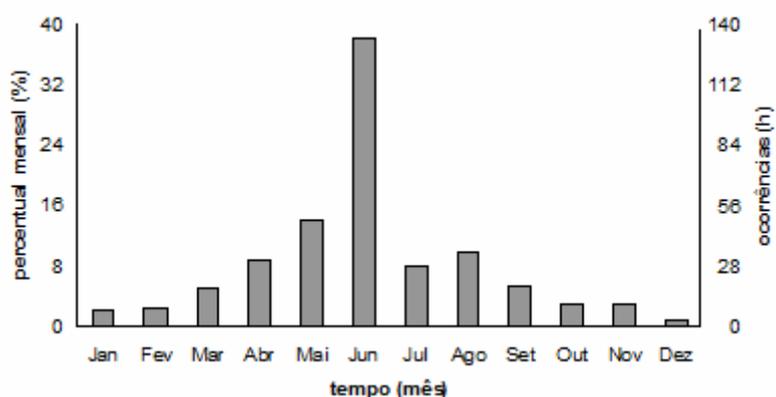


Figura 5.3 - Percentual mensal acumulado e variação anual das observações de ocorrências de nevoeiro no aeroporto de Guarulhos no período de 2003 a 2005.

A variação diária e percentual horária acumulados das ocorrências de nevoeiro observadas no aeroporto de Guarulhos no período de 2003 a 2005 é mostrada na Figura 5.4. Em 368 ocorrências de nevoeiro em Guarulhos, as maiores freqüências, aproximadamente 91 %, ocorrem entre 02 e 09Z, com maior freqüência às 07Z, enquanto, as menores freqüências de ocorrência de nevoeiro, cerca de 2 %, ocorrem entre as 21 e 23Z, como mostra a Figura 5.4.

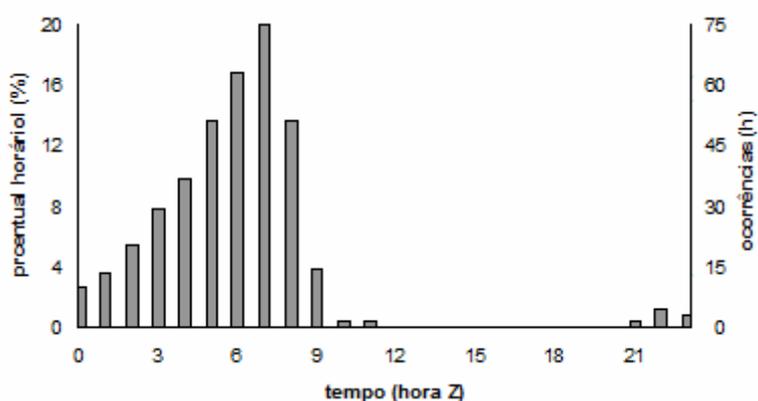


Figura 5.4 - Percentual horário acumulado e variação diária das observações de ocorrências de nevoeiro no aeroporto de Guarulhos no período de 2003 a 2005.

- Salgado Filho

A Figura 5.5 mostra a variação anual e percentual mensal acumulados das ocorrências de nevoeiro observadas no aeroporto de Salgado Filho. Das 296 ocorrências de nevoeiro, as figuras mostram que as maiores freqüências estão concentradas nos meses de abril a agosto (aproximadamente 84 %), com maior predominância em junho e as menores freqüências nos meses de outubro e janeiro em aproximadamente 3 % das ocorrências.

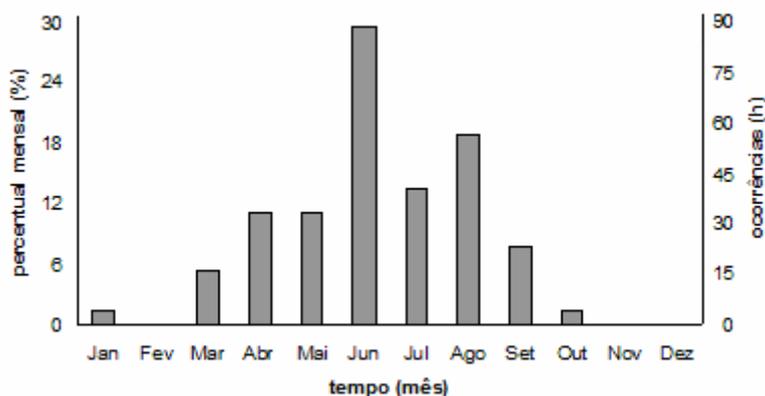


Figura 5.5 - Percentual mensal acumulado e variação anual das observações de ocorrências de nevoeiro no aeroporto de Salgado Filho no período de 2003 a 2005.

O percentual horário acumulado e variação diária das ocorrências de nevoeiro observadas no aeroporto Salgado Filho, no período de 2003 a 2005, são mostradas na Figura 5.6. De um total de 296 ocorrências de nevoeiro, as maiores freqüências em aproximadamente 94 % ocorrem no período da 01 às 10Z, com maior freqüência às 07Z, enquanto, as menores freqüências em cerca de 4 % ocorrem às 11Z e entre as 17 e 22Z.

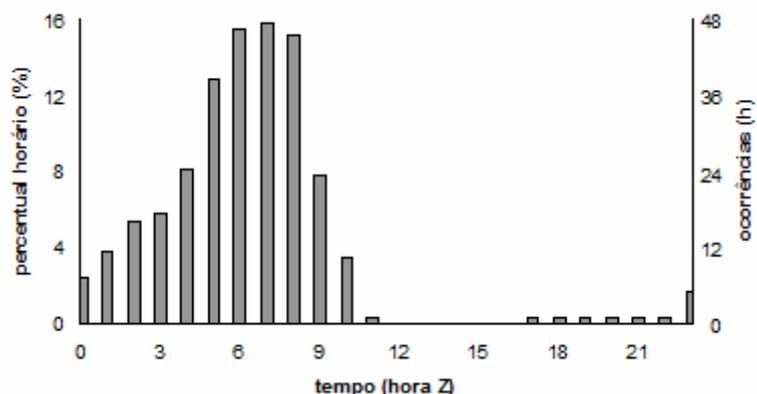


Figura 5.6 - Percentual horário acumulado e variação diária das observações de ocorrências de nevoeiro no aeroporto de Salgado Filho no período de 2003 a 2005.

Ao analisar as ocorrências de nevoeiro pode-se notar que a predominância das freqüências maiores ocorre no período das 05 às 08Z, com aproximadamente 48 % em Afonso Pena, 64 % em Guarulhos e 59 % no Salgado Filho. Este período sugere que o tipo de nevoeiro predominante nos três aeroportos é de radiação e ocorrem nos meses de inverno, com destaque para o mês de junho e horário das 07Z, mês e hora de maior freqüência de ocorrência de nevoeiro nos três aeroportos em estudo. As ocorrências de nevoeiro no início da noite (período 19 às 23 h) ocorrem com maior freqüência no aeroporto Afonso Pena em aproximadamente 8,2 % das observações, enquanto nos aeroportos de Guarulhos e Salgado Filho não ultrapassam a 3% das observações, o que dá indícios de que entre os três aeroportos o de Afonso Pena é que sofre maior influência do nevoeiro tipo advecção.

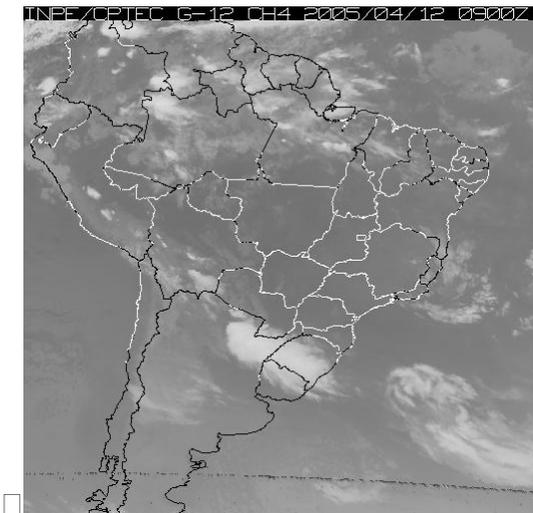
Caracterizado a natureza das ocorrências de nevoeiros nos principais aeroportos das regiões Sudeste e Sul do Brasil, na próxima seção discutem-se os resultados obtidos.

## 5.2 Resultados dos experimentos

Os resultados das integrações de 48 h para os Experimentos numéricos E1, E2, E3 e E4 são descritos no Tópico 4. Os domínios dos experimentos são centrados nos aeroportos de Afonso Pena localizado na grande Curitiba, PR, Guarulhos, SP e Salgado Filho localizado em Porto Alegre, RS, são descritos no Tópico 3. Nesta seção esses aeroportos são denominados de CT, SP e PA, respectivamente. Os eventos de nevoeiro e névoa úmida ocorreram no outono, em 14 de abril, no inverno, em 15 de agosto e na primavera, em 04 de outubro do ano de 2005. A seguir são apresentadas as condições sinóticas dos eventos às 09Z, horário em que há redução da visibilidade horizontal (VisH) por nevoeiros ou névoa úmida e os prognósticos da pressão e superfície das 00Z e 06Z fornecidos a partir do modelo Eta 40 km, em seguida são mostrados os resultados dos experimentos numéricos. Os resultados são validados qualitativamente com produto de detecção de nevoeiros e stratus por imagens do GOES-12 e pontualmente com os registros dos dados observados. Cabe ressaltar que produto elaborado a partir de imagens satélite utilizado neste trabalho, tem melhor eficiência no período noturno, como descrito no Tópico 4.

- Caso 14 de abril de 2005

A situação sinótica às 09Z de 14 de abril de 2005 é caracterizada por um sistema frontal se configurando sobre o Uruguai (Figura 5.7), os preditores desta configuração são indicados pelos prognósticos da pressão da superfície das 00Z e 06Z (Figura 5.8), nos quais está se configurando um cavado desde o Paraguai até o Uruguai. O vórtice ciclônico de altos níveis localiza-se a leste de Vitória, no Espírito Santo, enquanto que a Alta da Bolívia está centrada sobre o estado de Mato Grosso (Climanálise, 2005), em superfície é indicada por uma região de convergência, sistema de baixa pressão (Figura 5.8).



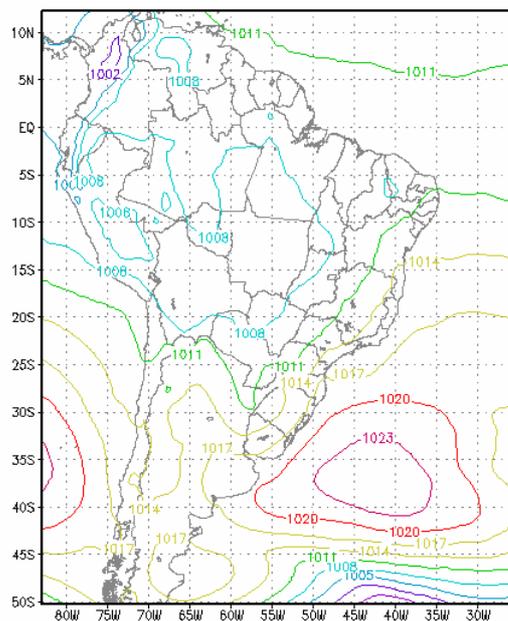
(a)



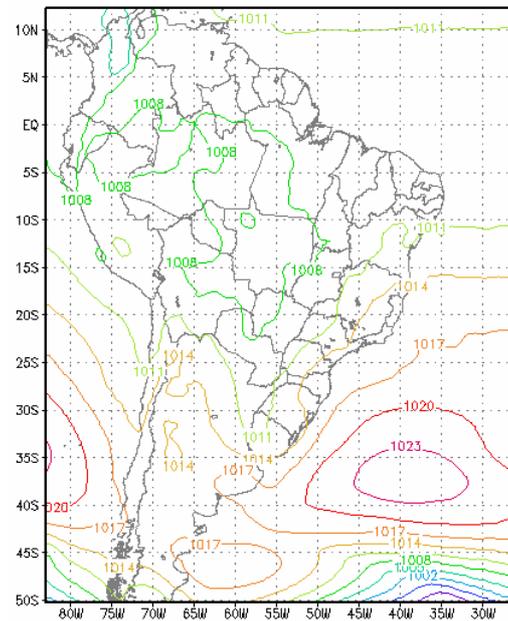
(b)

Figura 5.7 – Imagens do Satélite GOES-12 às 09Z de 14 de abril de 2005, nos canais: (a) infravermelho e (b) vapor de água.

Fonte: INPE (2005) <http://www.cptec.inpe.br>



(a)



(b)

Figura 5.8 – Prognostico da pressão à superfície, obtida pelo modelo Eta 40 km a partir das 12Z do dia 12 de abril para o dia 14 de abril de 2005. a) 00Z e b) 06Z.

As condições meteorológicas predominantes às 09Z de acordo com as mensagens METAR de PA, CT e SP são: nebulosidade baixa e esparsa e VisH acima de 10 km em PA, nevoeiro em CT com redução de VisH de 400 m com céu totalmente encoberto por nuvens baixas e em SP com nebulosidade baixa esparsas com redução de VisH em 6000 m por névoa úmida.

- Caso 15 de agosto de 2005

No dia 15 de agosto de 2005, as 09Z, um sistema frontal atua sobre o Rio Grande do Sul e está associado a um ciclone extratropical a sudeste do Uruguai no Oceano Atlântico (Figura 5.9), também indicados pelos prognósticos da pressão da superfície das 00Z e 06Z (Figura 5.10). As condições meteorológicas reportadas pelas mensagens METAR dos aeroportos de PA, CT e SP são: nublado em PA com nuvens baixas e médias, com VisH de 9000 m devido à névoa úmida; em CT com nevoeiro e VisH a 200 m e com céu totalmente encoberto; e céu totalmente encoberto em SP com VisH de 300 m devido a nevoeiro.

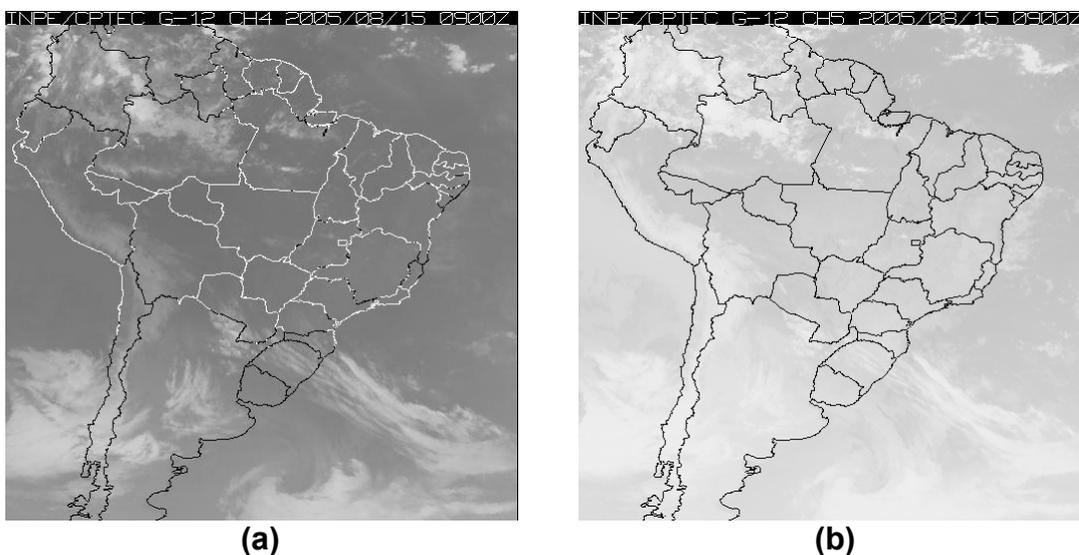
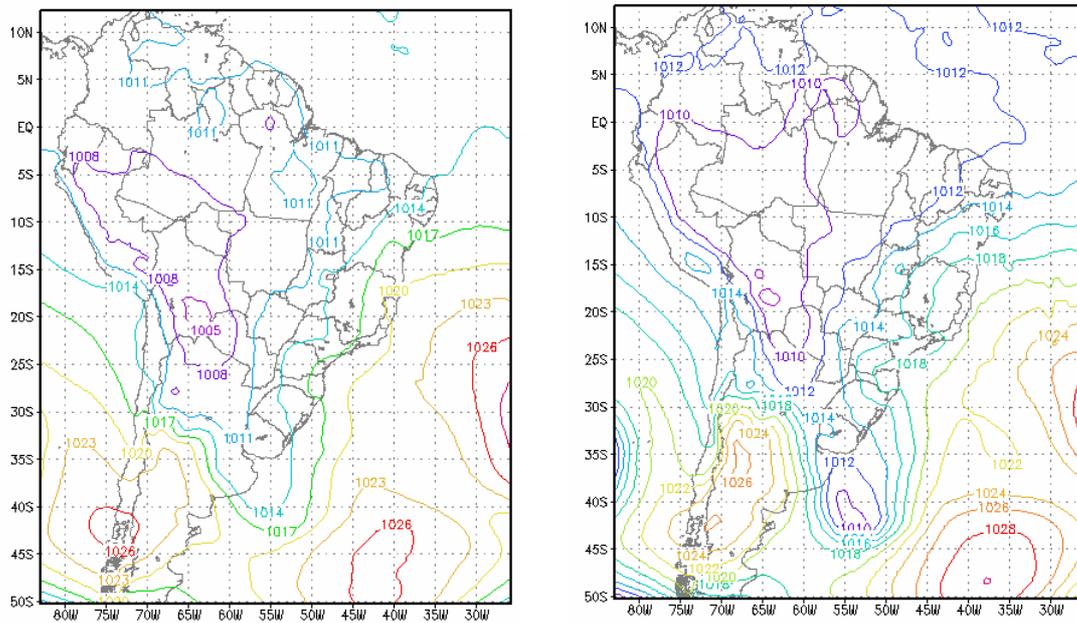


Figura 5.9 – Imagens de Satélite GOES-12 às 09Z de 15 de agosto de 2005, nos canais: (a) infravermelho e (b) vapor de água.

Fonte: INPE (2005) <http://www.cptec.inpe.br>



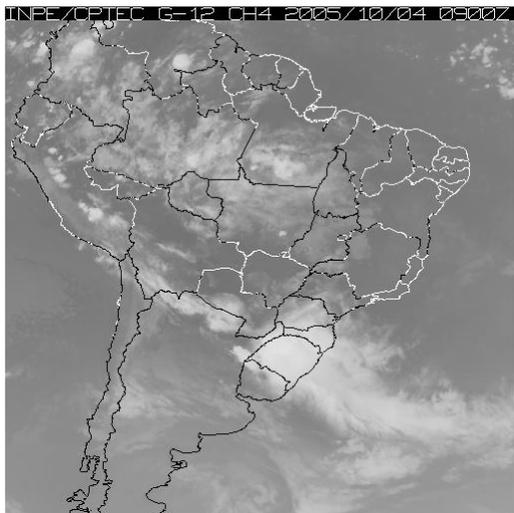
(a)

(b)

Figura 5.10 – Prognóstico da pressão à superfície, obtida pelo modelo Eta 40 km a partir das 12Z do dia 13 de agosto para o dia 15 de agosto de 2005. a) 00Z e b) 06Z.

- Caso 4 de outubro de 2005

No dia 4 de outubro de 2005, um sistema frontal se posiciona sobre o interior e litoral do Rio Grande do Sul e um ciclone centrado a sudeste do Uruguai. A Alta da Bolívia está centrada entre a Bolívia e o Mato Grosso (Figura 5.11), todas essas condições sinóticas também são pronunciadas nos prognósticos da pressão da superfície das 00Z e 06Z (Figura 5.12). Essas condições provocam grande cobertura de nebulosidade em toda a região sul do Brasil e de parte do estado de São Paulo (Climanálise, 2005). Já as condições reportadas pelas mensagens METAR dos aeroportos de PA, CT e SP são: céu encoberto em PA com nuvens baixas e médias e VisH de 5000 m reduzida por chuva, céu nublado em CT com nuvens baixas e VisH de 350 m em virtude de nevoeiro, e nevoeiro em SP com VisH de 200 m e céu nublado com nuvens baixas.

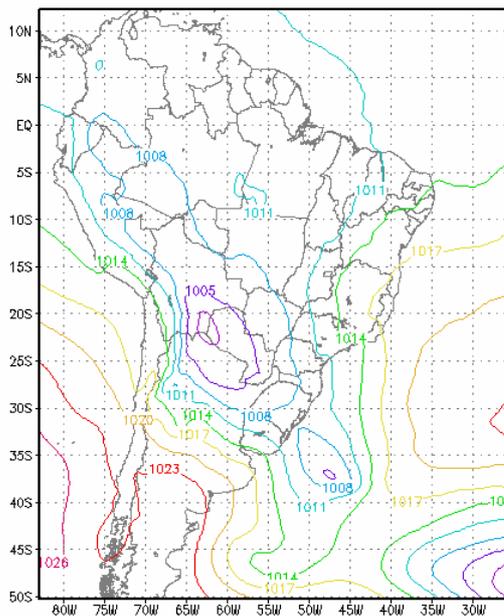


(a)

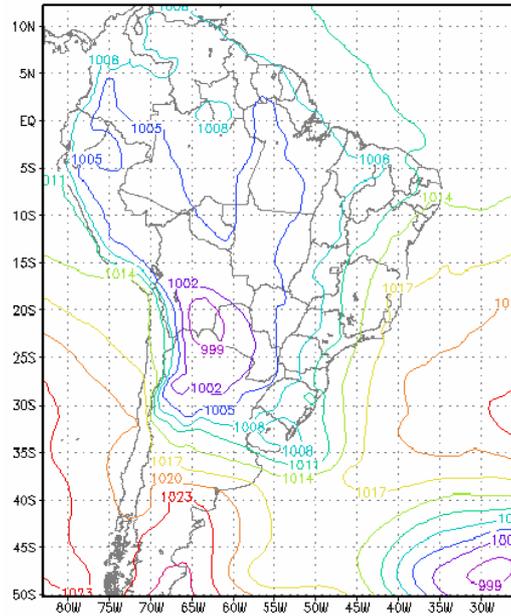


(a)

Figura 5.11 – Imagens de Satélite GOES-12 às 09Z de 4 de outubro de 2005 nos canais: (a) infra-vermelho e (b) vapor de água.  
 Fonte: INPE (2005) <http://www.cptec.inpe.br>



(a)



(b)

Figura 5.12 – Prognóstico da pressão à superfície, obtida pelo modelo Eta 40 km a partir das 12Z do dia 02 de outubro para o dia 4 de outubro de 2005. a) 00Z e b) 06Z.

Nas seções seguintes os resultados de todos os experimentos (E1 ao E4) numéricos são discutidos. Na Seção 5.3 são apresentados os resultados dos experimentos numéricos (centrados no aeroporto de CT) do dia 14 de abril às 08Z para parte do estado do Paraná (regional) e local (área em torno de 20 km<sup>2</sup> de CT). A Seção 5.4 apresenta os resultados regionais da VisH para parte dos estados do Paraná, Rio Grande do Sul e São Paulo, centralizados nos aeroportos de CT, PA e SP, obtidos para cada um dos casos. Na Seção 5.5 são apresentados os resultados do FSI regional – para parte dos estados do Paraná, Rio Grande do Sul e São Paulo – e pontual, centralizados, respectivamente, nos aeroportos de CT, PA e SP. E na Seção 5.6 são apresentados os resultados pontuais da VisH nos aeroportos de CT, PA e SP, no período das 00 às 12Z dos dias 14 de abril, 15 de agosto e 4 de outubro de 2005.

### **5.2.1 Visibilidade horizontal**

Nesta seção são apresentados os resultados da visibilidade horizontal dos Experimentos numéricos E1 ao E4 realizados com o Modelo Eta. Nesta seção todas as simulações dos experimentos numéricos estão centradas sobre o aeroporto de CT para o dia 14 de abril de 2005, partindo das condições iniciais das 12Z do dia 12 de abril de 2005.

Os resultados são obtidos para 08Z e validados qualitativamente com o produto de detecção de nevoeiros e stratus por imagens do GOES-12. São discutidas as variações das estimativas da visibilidade horizontal, dos fluxos de calor latente (L) e sensível (H) – nesta dissertação os valores positivos (negativos) de L e H indicam que os fluxos são do sentido da atmosfera (superfície) para a superfície (atmosfera) –, da temperatura a 2 metros, da umidade relativa do ar e do conteúdo de água líquida resultantes dos experimentos. Os resultados dos campos de visibilidade horizontal são obtidos por comparação do

experimento de controle E1 com os demais experimentos, enquanto os resultados das outras variáveis meteorológicas são obtidos pela diferença dos campos do experimento em estudo menos os campos do experimento de controle E1. Os cálculos aproximados de relação entre áreas são realizados com base na resolução da área de estudo. Assim, a área de estudo com resolução de 200 x 200 km possui 40.000 km<sup>2</sup>, a qual é constituída por 100 regiões com área individual de 400 km<sup>2</sup>, cuja resolução é de 20 x 20 km<sup>2</sup>. Isto facilita o cálculo aproximado de área que é apresentado nos resultados.

### **5.2.1.1 Estimativas de visibilidade horizontal**

A versão do Modelo Eta utilizada neste trabalho emprega a estimativa de visibilidade horizontal proposta por Kunkel (1984), descrita no Tópico 4. Com o objetivo de avaliar o impacto da inclusão da concentração de gotículas na estimativa de VisH, é implementada a metodologia de estimativa de visibilidade horizontal proposta por Gultepe *et al.* (2006), também descrita no Tópico 4.

Os experimentos apresentam valores de VisH estimados pelas metodologias de Kunkel e de Gultepe *et al.*, as quais nesta dissertação são denominadas de VisK e VisG, respectivamente.

A partir dos dados de temperatura e da VisH observada durante os eventos de nevoeiro ocorridos nos 3 aeroportos em estudo, estima-se o valor médio de 155 cm<sup>-3</sup> para a concentração de gotículas. Com estes dados e as Equações 4.2 e 4.3, constroem-se as curvas da Figura 5.13. Essas curvas mostram a dependência de VisK e VisG em relação ao conteúdo de água líquida (LWC). Nestes gráficos, nota-se que para valores de LWC menores que 0,21 gm<sup>3</sup>, a VisK é sempre maior que a VisG, enquanto, para valores maiores a VisK é sempre menor que VisG. A Figura 5.13(a) mostra em detalhes que para LWC menores, por exemplo, igual 0,03 gm<sup>3</sup>, a VisK é de cerca de 550 m e VisG é de cerca de 350 m. Por outro lado, como mostra a Figura 5.13(b) em detalhes, para LWC maiores, como por exemplo, igual ou menor 0,3 gm<sup>3</sup>, a VisG é maior que a VisK na ordem de magnitude de dezena de metro. Esse comportamento

da VisK ser maior (menor) do que a VisG para o LWC menor (maior) 0,21 gm<sup>3</sup> é observado em todos os resultados de todos os experimentos.

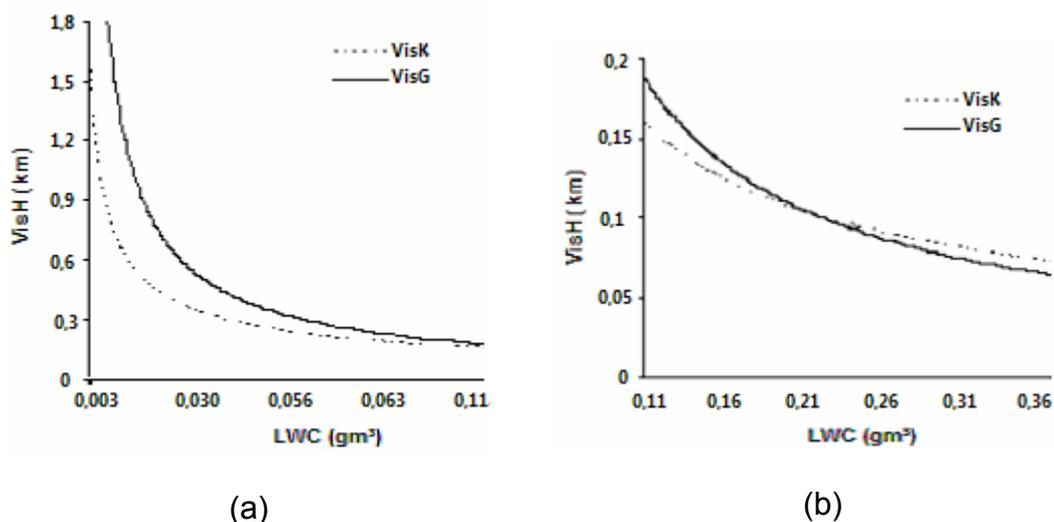


Figura 5.13 - Visibilidade horizontal (km) versus conteúdo de água líquida (gm<sup>3</sup>), a curva mais espessa é obtida da Equação 4.2 e a curva mais delgada é obtida da Equação. 4.3.

Na Figura 5.14 podem ser verificadas as diferenças na distribuição espacial entre a VisK e VisG no E1 para região do estado do Paraná (centralizada no aeroporto de Curitiba) às 08Z do dia 14 de abril de 2005. Observa-se que a área de abrangência da VisG é maior que a de VisK. Há uma ligeira amplificação da área da VisG e relação a VisK. Nota-se também que nesse horário há valores baixos de VisH previstos pelo Modelo Eta que concordam com as áreas indicadas pelo produto de detecção de nevoeiros e stratus por imagens do GOES-12, como mostra Figura 5.15.

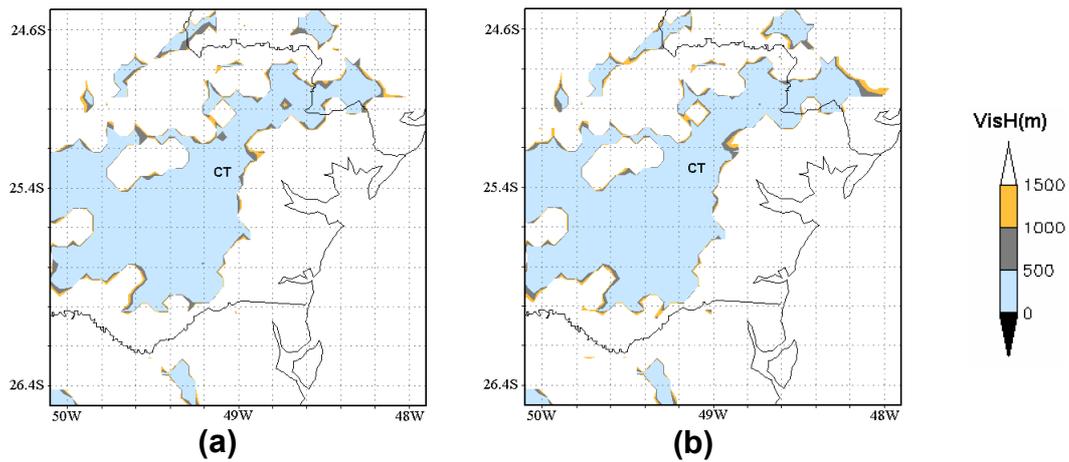


Figura 5.14 - Visibilidade horizontal (m) do E1 às 08Z do dia 14 de abril de 2005 para parte do estado do Paraná centralizada em CT: (a) VisK e (b) VisG.

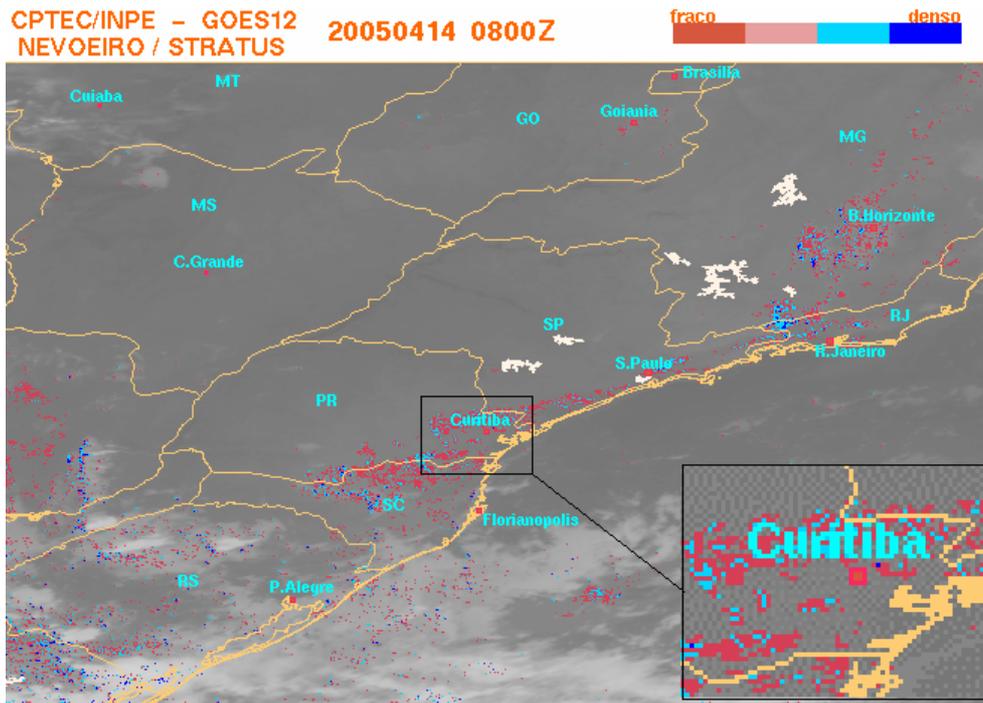


Figura 5.15 - Detecção de nevoeiro e stratus a partir de imagens GOES-12 às 08Z de 14 de abril de 2005 com ênfase na região de CT.

Fonte: INPE (2005) <http://www.cptec.inpe.br>

Como a área de estudo é o aeroporto de CT e com a finalidade de analisar em detalhes essa área, é delimitada uma área ao redor de CT (da ordem de 20 km<sup>2</sup>), como mostra a Figura 5.16(a). Nessa área observa-se que a VisH predominante é menor ou igual 100 m. As variações nesta área são da ordem de magnitudes de unidades e dezenas, conforme explicado anteriormente. Entretanto, em áreas menores são observadas as diferenças entre as duas estimativas de VisH. Por exemplo, ao sul de CT, destaca-se no E1, a área com redução da VisH entre 100 e 200 m. Nota-se que essa área é menor para VisG, na qual os valores da VisH são maiores para VisK do que para VisG como mostram as Figuras 5.16 (b) e (c). Na área de coordenada 25.42° S e 49.10° W VisK tem valor de 100 a 200m e VisG de 0 a 100 m, as diferenças entre os valores da VisH entre as duas metodologias chega a 50 %, concordando com os resultados de Gultepe *et al*, 2006.

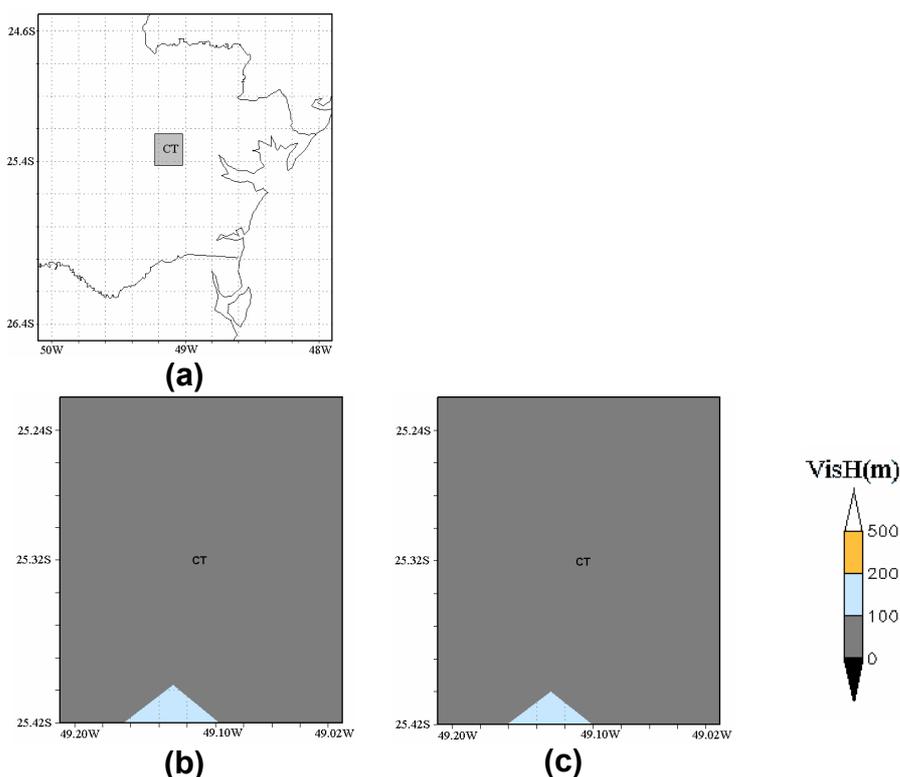


Figura 5.16 - Visibilidade horizontal (m) às 08Z do dia 14 de abril de 2005: (a) área de estudo (sombreada) centralizada em CT, (b) VisK em E1 e (c) VisG em E1.

### 5.2.1.2 Formação de gotículas

O esquema de condensação proposto por Asai (1965), descrito no Tópico 4, depende de um valor crítico de umidade relativa. Este limiar de umidade relativa (LUR) permite ser ajustado para o controle da quantidade de condensação produzida, isto é, a quantidade de gotículas da nuvem. O LUR do E1 é ajustado na resolução de 5 km para condensação ocorrer quando a umidade relativa atinge 98 % e do E2 na resolução de 4 km para condensação ocorrer quando a umidade relativa atinge 100 %, conforme Figura 5.17.

Com o objetivo de diminuir áreas com redução da VisH é realizado o Experimento numérico E2, descrito no Tópico 4

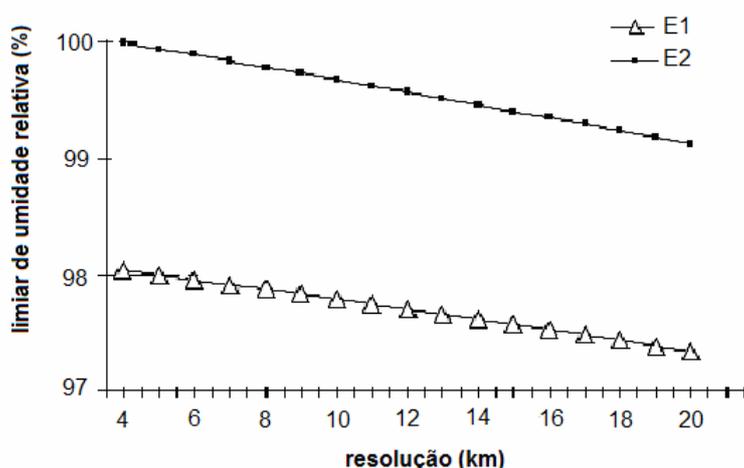


Figura 5.17 - Limiar de umidade relativa (%) proposto para diferentes resoluções horizontais do Modele Eta para os experimentos numéricos E1 e E2.

Os resultados da VisH às 08Z do dia 14 de abril de 2005 são mostrados na Figura 5.18. Os resultados mostram que no E2, há uma ligeira diminuição da área de baixa VisH quando comparado ao E1. Entretanto, existem diferenças na distribuição espacial, como pode ser observada a noroeste de CT (em torno de 24.6° S e 50.0° W), no caso do E1 não há redução da VisH, a qual se nota em E2. Por outro lado, no E1 nota-se baixa VisH, de 0 a 500 m, a nordeste de

CT ( $24.7^{\circ}$  S e  $48.8^{\circ}$  W), conforme Figuras 5.18(a) e (b), por outro lado em E2 a VisH é superior a 1500 m, conforme Figuras 5.18(c) e (d). Os resultados mostram que no E2, há uma ligeira diminuição da área de baixa VisH quando comparado ao E1. Entretanto, existem diferenças na distribuição espacial, como pode ser observada a noroeste de CT (em torno de  $24.6^{\circ}$  S e  $50.0^{\circ}$  W), no caso do E1 não há redução da VisH, a qual se nota em E2. Por outro lado, no E1 nota-se baixa VisH, de zero a 500 m, a nordeste de CT ( $24.7^{\circ}$  S e  $48.8^{\circ}$  W), conforme Figuras 5.18(a) e (b), por outro lado em E2 a VisH é superior a 1500 m, conforme Figuras 5.18(c) e (d).

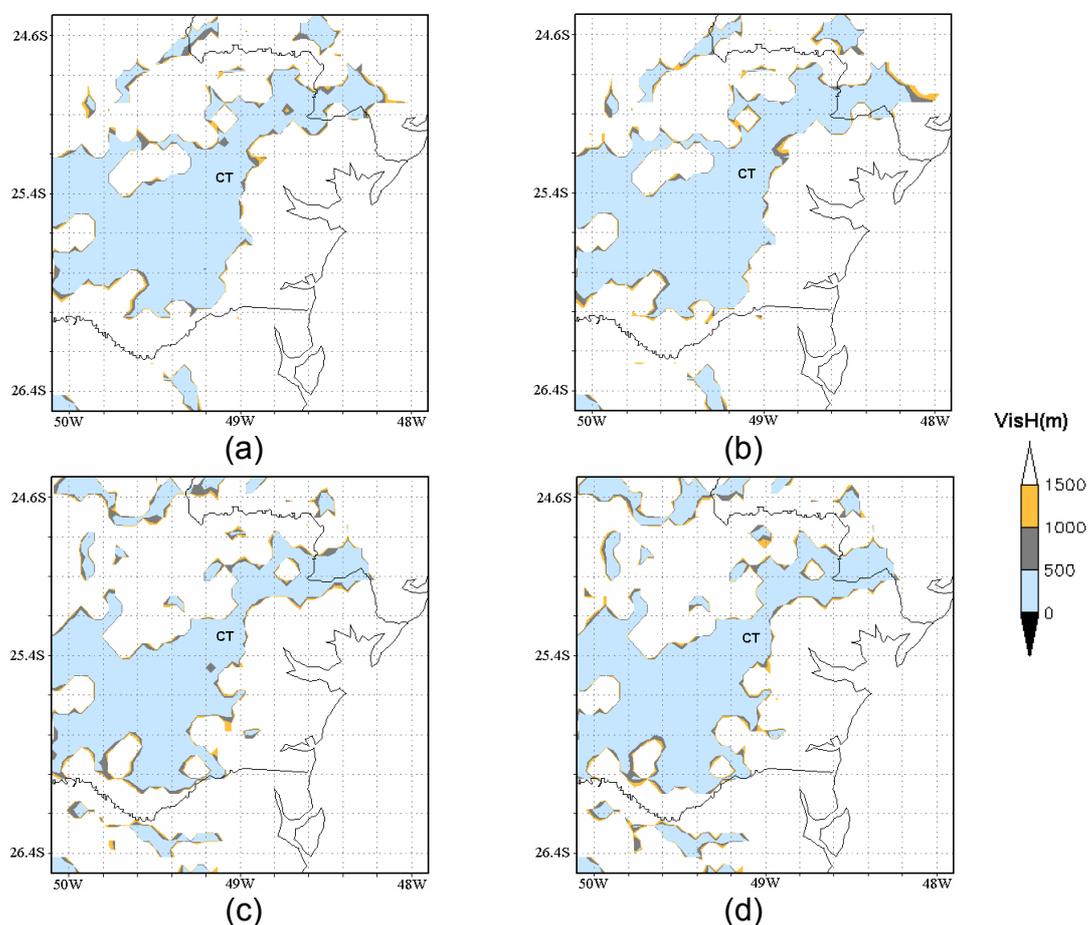


Figura 5.18 - Visibilidade horizontal (m) às 08Z do dia 14 de abril de 2005 para parte do estado do Paraná centralizada em CT, (a) VisK do E1, (b) VisG do E1, (c) VisK do E2 e (d) VisG do E2.

Ao comparar essas mesmas áreas com o produto de detecção de nevoeiros e stratus por imagens do GOES-12 (Figura 5.15) nota-se que o modelo representa bem a distribuição espacial. As diferenças entre E1 e E2 são pequenas, no E2 as áreas são mais esparsas e menores do que no E1, quanto às duas metodologias, a VisG cobre uma maior área nos dois experimentos. Essas diferenças na distribuição espacial são causadas pela variação do LUR que provocou variações na quantidade de gotículas formadas. A VisH é discutida a seguir em detalhe local.

Na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a), observa-se que a VisH predominante é menor que 100 m. As variações nesta área são da ordem magnitude de unidade e dezena - conforme explicado anteriormente. Entretanto, em áreas menores são observadas as diferenças entre as duas estimativas de VisH. Por exemplo, ao sul de CT, destaca-se no E1 a área com redução da VisH entre 100 e 200 m, na qual os valores são maiores para VisK do que para VisG como mostram as Figuras 5.19(b) e (c). Nessa mesma área no E2, como mostram Figuras 5.19(d) e (e), os valores de VisK têm alcance de 100 a 500 m, enquanto, na VisG os valores são de 100 a 200 m.

Assim, embora, a VisH predominante nos dois experimentos seja de valores inferiores a 100 m. O E2 apresenta cerca de 15 % de área com VisH superior a 100 m, enquanto, o E1 apresenta, somente, cerca de 2 % da área com VisH superior a 100 m como indica a Figura 5.19.

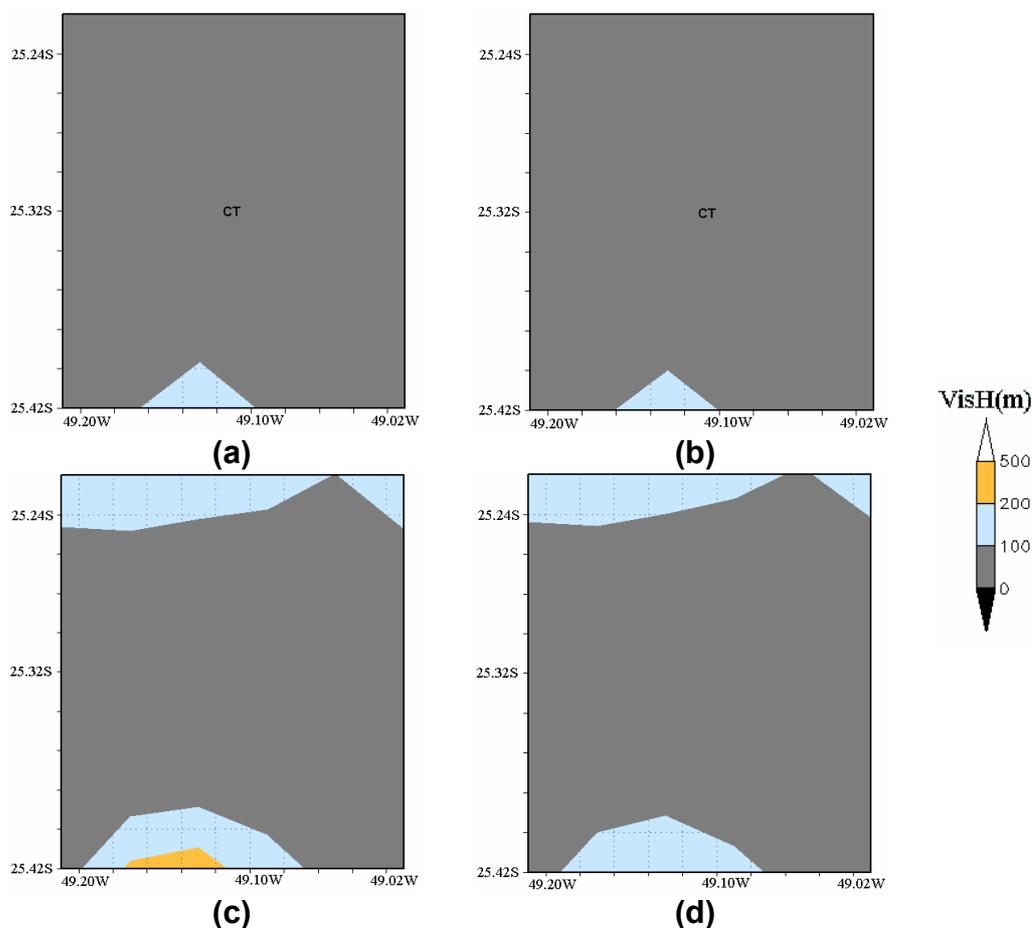


Figura 5.19 - Visibilidade horizontal (m) às 08Z dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). VisK em E1 (a), VisG em E1 (b), VisK em E2 (c) e VisG em E2 (d).

Os fluxos de L, na área em estudo apresentada na Figura 5.16(a), há variações espaciais, tanto no E1 como E2. Neste caso, as variações no geral são pequenas, pois, no horário noturno é os fluxos turbulentos são menores devido à estabilidade atmosférica. A maior diferença entre E1 e E2 se nota na região sudeste da área em estudo, onde L são maiores em E1, a diferença é da ordem de  $20 \text{ W/m}^2$ , enquanto, o E1 na área a sudeste de CT ( $25.38^\circ \text{ S}$  e  $49^\circ \text{ W}$ ) transfere da atmosfera para superfície de 20 a  $26 \text{ W/m}^2$  de energia (ou calor latente por turbulência), o E2 para essa mesma área transfere de 0 a  $5 \text{ W/m}^2$ . Quanto às áreas de cobertura das diferenças positivas e negativas em relação à área de estudo os fluxos de L apresentam diferenças positivas com

valores de 0 a 5 W/m<sup>2</sup>, em aproximadamente 67 % da área de estudo. No restante desta área há diferenças negativas com valores de 0 a - 10 W/m<sup>2</sup> em 20 % e de - 10 a - 20 W/m<sup>2</sup> em 13 % da área de estudo, como mostra a Figura 5.20. Portanto, ao aumentar o LUR nessa área ocorreu uma diminuição na quantidade de gotículas condensadas e conseqüentemente houve um decréscimo de L no sentido da atmosfera para a superfície.

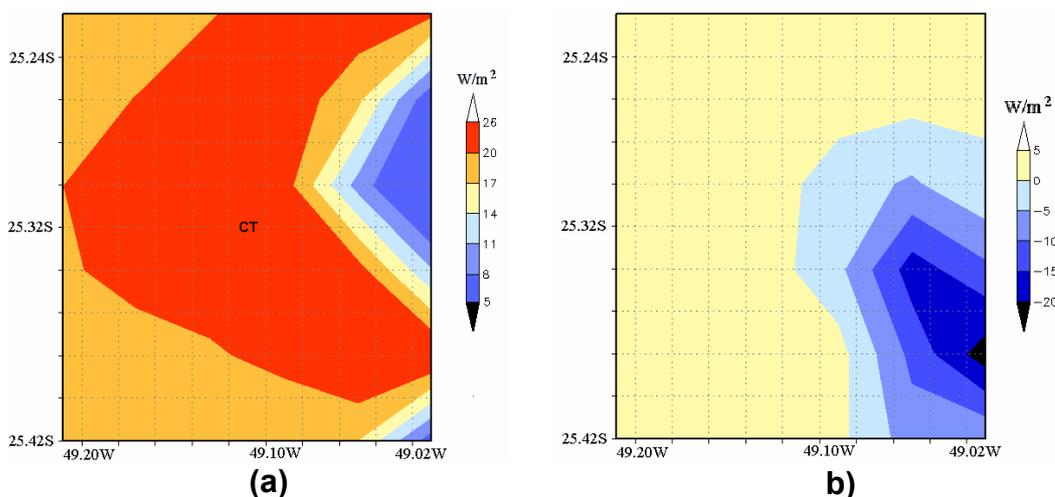


Figura 5.20 - Fluxos turbulentos de calor latente, L, (W/m<sup>2</sup>) às 08Z dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). E1 (a) e diferença dos fluxos de calor latente entre E2 e E1 (b).

Os fluxos de H apresentam poucas diferenças entre E1 e E2, em ambos os casos o sinal dos fluxos de H são positivos (Figura 5.21). As variações são pequenas, no E1 são maiores nas áreas a nordeste e sudeste de CT, onde H do E1 apresenta valores de até 5 W//m<sup>2</sup> a mais que E2. Nas demais áreas, ocorrem o inverso, o fluxo de H é maior em E2, pois, há transferência de calor da atmosfera para a superfície de até 5 W/m<sup>2</sup> a mais que em E1. A distribuição espacial dos fluxos de H na área de estudo é de 70 % para as diferenças positivas, as quais indicam valores de 0 a 5 W/m<sup>2</sup>. No restante da área as diferenças são negativas e indicam valores de 0 a - 5 W/m<sup>2</sup> como mostra a Figura 5.21.

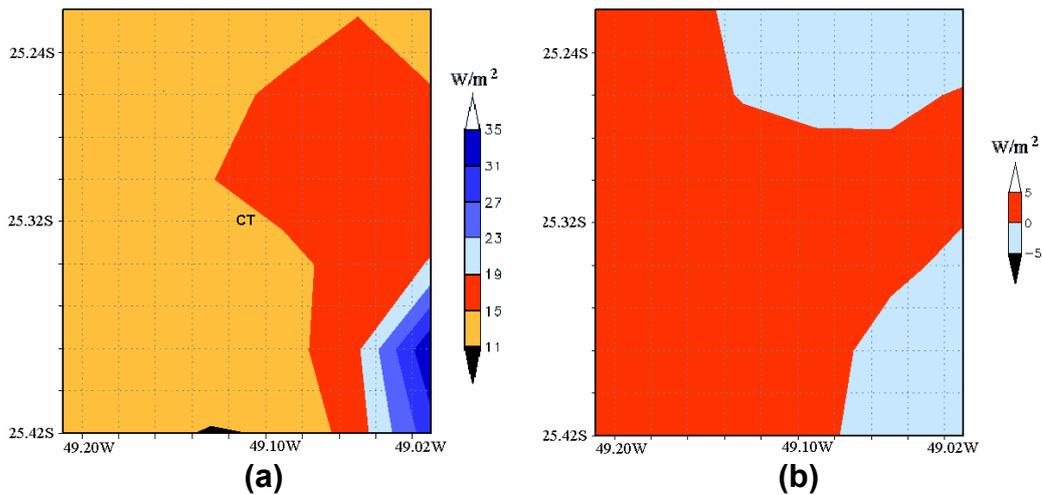


Figura 5.21 – Fluxos de calor sensível,  $H$ , ( $W/m^2$ ) às 08Z dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). E1 (a) e diferença dos fluxos de calor sensível entre E2 e E1 (b).

Na maior parte da área de estudo há um aumento nos campos de temperatura a 2 metros,  $T_{2m}$ , em E2 de até  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  e uma diminuição de  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  a sudeste de CT ( $25.42^{\circ}\text{ S}$  e  $49.02^{\circ}\text{ W}$ ) como mostra a Figura 5.22. Nota-se em CT no E1 que os valores de  $T_{2m}$  estão compreendidos entre  $15,5$  e  $16,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , enquanto que no E2 entre  $16,0$  e  $16,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Estes campos concordam com aumento de  $H$  como mostra a Figura 5.21. Em relação à distribuição espacial o campo de  $T_{2m}$  tem em 97 % da área de estudo diferenças positivas com valores entre  $0$  e  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  - indicando aumento de  $T_{2m}$  em E3 - e no restante desta área as diferenças são negativas - indicando diminuição de  $T_{2m}$  em E3 -, cujos valores atingem até  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , apresentados Figura 5.22.

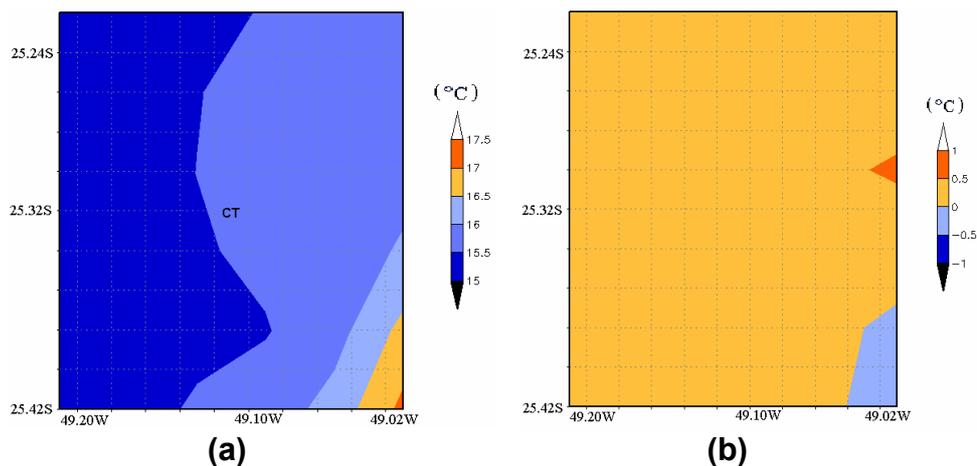


Figura 5.22 – Temperatura do ar a 2m (°C) às 08Z dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). E1 (a) e diferença da temperatura do ar a 2m entre E2 e E1 (b).

As diferenças entre os experimentos E1 e E2 no campo de umidade relativa em 925h Pa apresentam valores positivos em toda a área de estudo. Isto é, houve um aumento de até 3 % no valor da umidade relativa em 925 hPa em E2, como mostra a Figura 5.23.

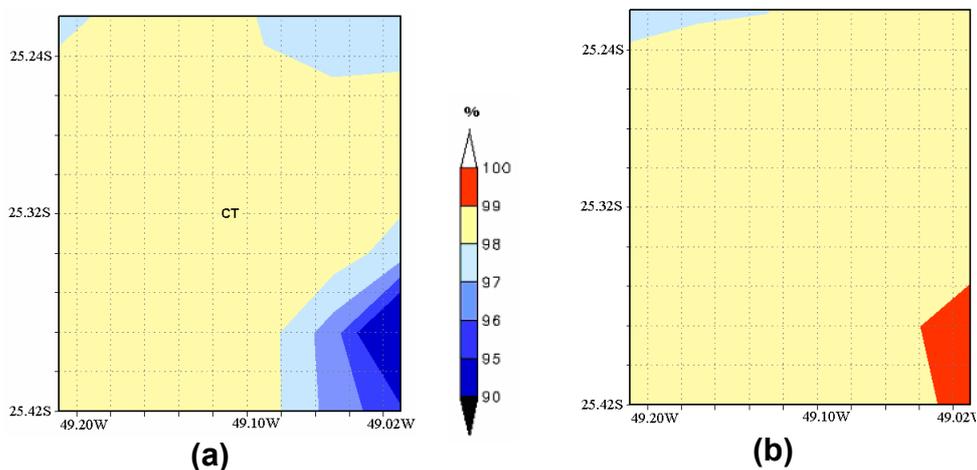


Figura 5.23 – Umidade relativa em 925 hPa (%) às 08Z dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). E1 (a) e diferença da umidade relativa em 925hPa entre E2 e E1 (b).

Este aumento na umidade relativa, representado na Figura 5.23(b), concorda com o campo de  $T_{2m}$ , como exemplo tem-se a área a sudeste de CT ( $25.42^\circ$  S e  $49.02^\circ$  W), na qual há variação positiva da umidade relativa e variação negativa de  $T_{2m}$ . Essas diferenças positivas provocam a saturação em mais de 90 % da área de estudo como pode ser visto na Figura 5.23.

O conteúdo de água líquida em 925 hPa apresenta diferenças positivas na área de estudo com valores de 0 a 0,1 g/kg em aproximadamente 43 % da área e de 0,1 a 0,2 g/kg em menos de 2 % da área. As diferenças negativas indicam valores entre - 0,1 e - 0,2 g/kg em aproximadamente 52 % da área e de - 0,1 a - 0,2 g/kg em menos de 3 % da área como mostra a Figura 5.24.

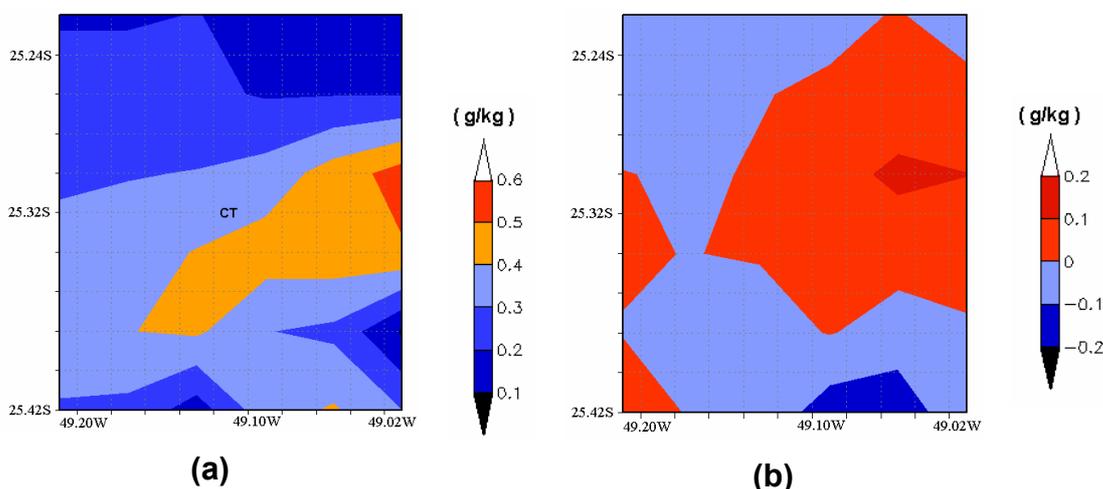


Figura 5.24 – Conteúdo de água líquida em 925 hPa (g/kg) às 08Z dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). E1 (a) e diferença do conteúdo de água líquida entre E2 e E1 (b).

### 5.2.1.3 Umidade do solo

A umidade do solo desempenha um papel importante nos processos de troca (calor e umidade) entre a atmosfera e a superfície e é nessa interface - entre atmosfera e superfície -, que se formam o nevoeiro e a névoa úmida, produzindo valores baixos de VisH. Assim sendo, este experimento numérico (E3) tem por objetivo verificar as variações de VisH em relação à umidade do solo. Essas verificações são realizadas comparando o experimento E1 com a diferença entre E3 e E1.

No E3 há uma ampliação da área de baixa VisH quando comparado ao E1 (Figura 5.25). As diferenças também ocorrem na distribuição espacial, como podem ser observadas em E1 ao sul de CT nas áreas próximas à fronteira do estado do Paraná com Santa Catarina. Nessas áreas não há redução da VisH, os valores de VisH são superiores a 1500 m como mostram as Figuras 5.25(a) e (b). No E3 - nas mesmas áreas de fronteira, há redução da VisH com valores menores que 1000 m como pode ser visto nas Figuras 5.25(c) e (d). Por outro lado, no E1 nota-se baixa VisH, de 0 a 500 m, ao sul de CT ( $24.41^{\circ}$  S e  $49.11^{\circ}$  W), enquanto que em E3 para essa mesma área, a VisH é superior a 1500 m, conforme indicam as Figuras 5.25(c) e (d).

Ao comparar a VisH do E3 na região do estado do Paraná com o produto de detecção de nevoeiros e stratus por imagens do GOES-12 (Figura 5.15), nota-se que o modelo no E3 indica grandes áreas com VisH abaixo de 1000 m, o que sugere ocorrências de nevoeiro e quando comparado com o produto de satélite, verifica-se que as áreas de ocorrências de nevoeiro são menores do que em E3. Assim, pode-se inferir que o modelo está superestimando as áreas com nevoeiros.

As diferenças entre E1 e E3 são significativas, no E3 as áreas com baixa VisH são maiores do que no E1. Em relação às duas metodologias, a VisG cobre uma maior área nos dois experimentos. Portanto, neste caso ao diminuir a

umidade do solo há uma amplificação das áreas com VisH baixa, porém essa amplificação não é homogênea para todas as áreas estudadas do estado do Paraná.

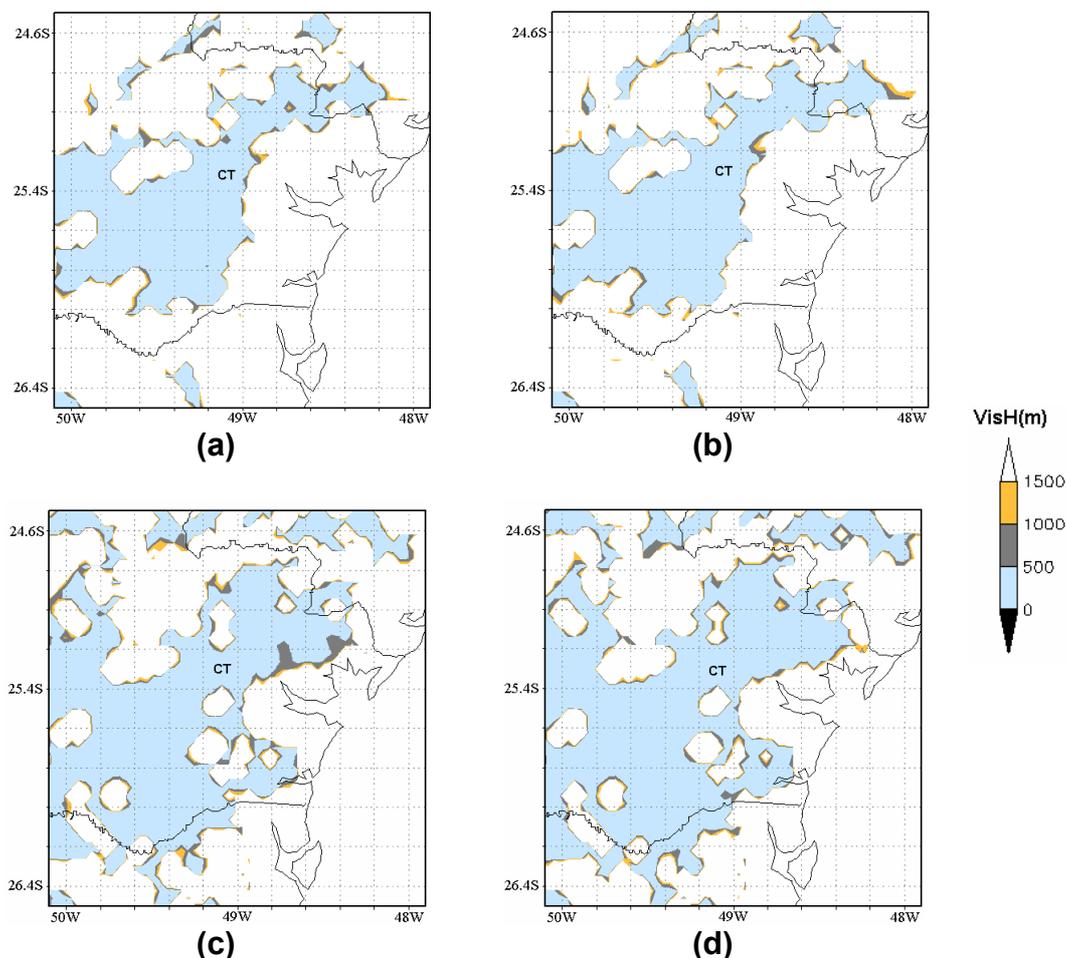


Figura 5.25 - Visibilidade horizontal (m) às 08Z do dia 14 de abril de 2005 na região do estado do Paraná, centrada em CT: (a) VisK do E1, (b) VisG do E1, (c) VisK do E3 e (d) VisG do E3.

Assim como foi realizado nas seções anteriores para um estudo mais detalhado, é delimitada uma área ao redor de CT (da ordem de 20 km<sup>2</sup>) apresentada na Figura 5.16(a). Nessa área observa-se que a VisH tem comportamento bem próximo ao do E2, as diferenças estão localizadas ao sul e a noroeste de CT. No E1 na área ao sul de CT o Modelo Eta indica valores

de VisH entre 100 e 200 m e no E3 indica valores de VisH superiores a 1500 m, como mostra a Figura 5.26. A área a noroeste de CT em E3 em relação ao E1 tem aumento nos valores de VisH.

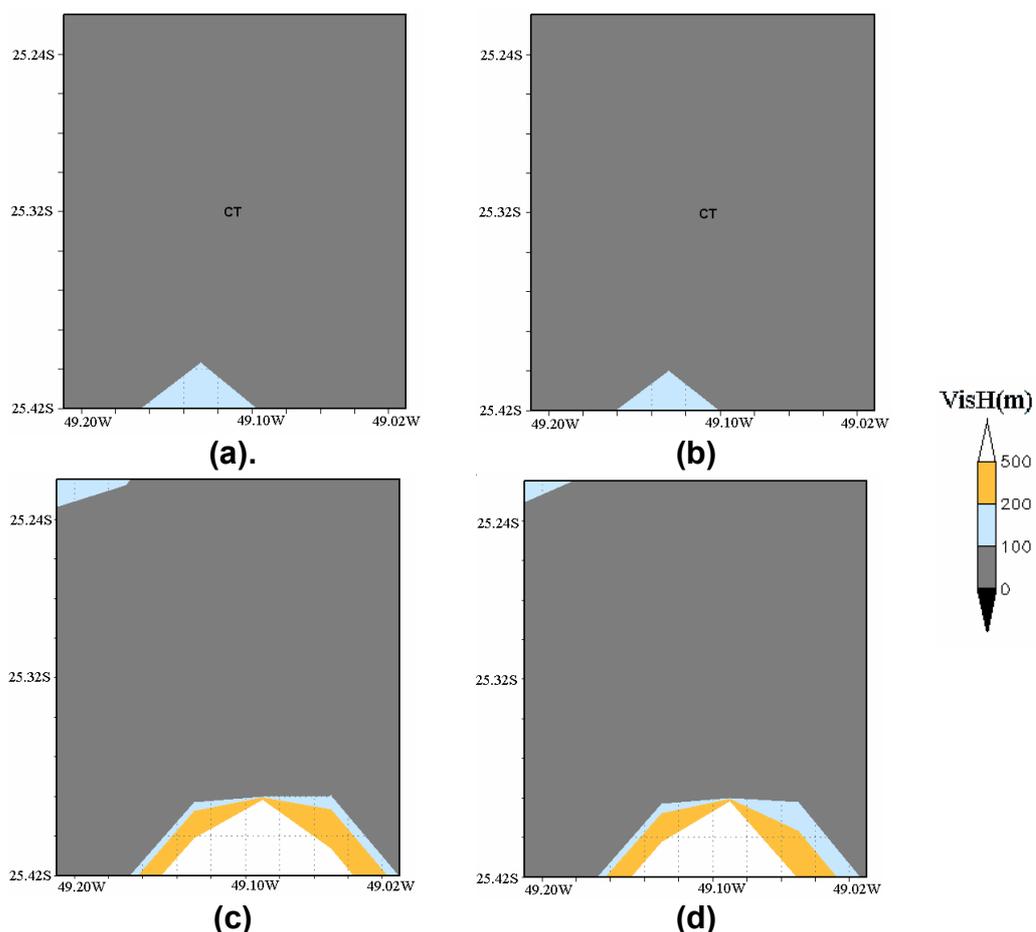


Figura 5.26 - Visibilidade horizontal (m) às 08Z do dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). VisK em E1 (a), VisG em E1 (b), VisK em E3 (c) e VisG em E3 (d).

Assim, para área em estudo, neste caso, ao diminuir a umidade do solo há um aumento nos valores de VisH. Quanto à distribuição espacial há predominância nos dois experimentos de VisH inferior a 100 m, pois no E1 a VisH é superior a 100 m em cerca de 2 % da área de estudo e no E3 o Modelo Eta indica cerca de 12 % com VisH superior a 100 m como mostra a Figura 5.26.

As diferenças da VisH na área de estudo são causadas pela diminuição na umidade do solo. O experimento numérico E3 inicia a rodada (12Z do dia 12 de abril) com a umidade do solo reduzida em 50% do valor climatológico, às 08Z do dia 14 de abril, depois de 45h de integração há somente diferenças negativas no campo de diferença da umidade do solo, indicando que o solo em E3 está menos saturado do que em E1, como mostra a Figura 5.27.

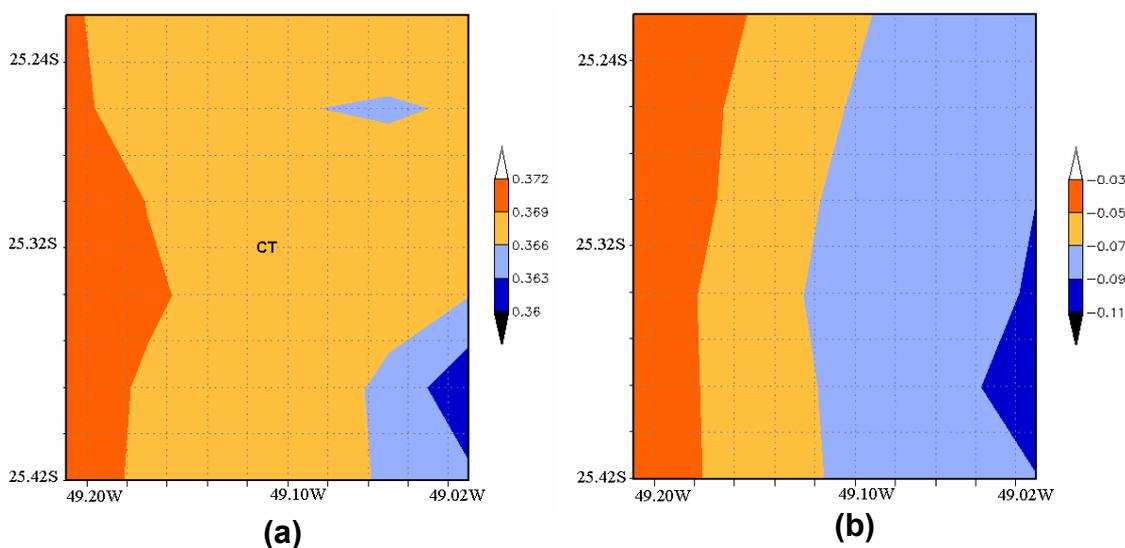


Figura 5.27 - Umidade do solo (adimensional) às 08Z do dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). E1 (a) e a diferença entre E3 e E1 (b).

Nesta mesma região de estudo os fluxos turbulentos de calor Latente,  $L$ , apresentam poucas diferenças entre E3 e E1. As respostas dos fluxos de  $L$  do Modelo Eta em E3 são semelhantes às do E2. As diferenças positivas estão entre 0 e 2  $W/m^2$  (fluxos em E3 maior que em E1) e as negativas entre 0 e -22  $W/m^2$  (fluxos em E3 menor que E1) como mostra Figura 5.28. Em relação à distribuição espacial os fluxos de  $L$  apresentam diferenças positivas com valores de 0 a 2  $W/m^2$ , em aproximadamente 63 % da área de estudo. No restante desta área há somente diferenças negativas com valores de 0 a -10  $W/m^2$  em 27 % e de -10 a -22  $W/m^2$  em 10 % da área como pode ser visto na Figura 5.28.

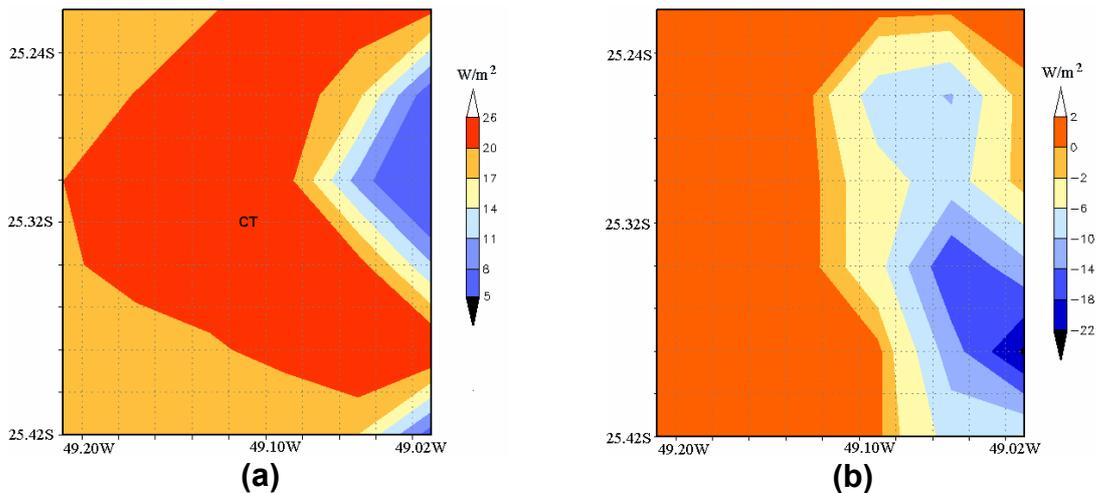


Figura 5.28 – Fluxos turbulentos de calor latente ( $W/m^2$ ) às 08Z do dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). E1 (a) e diferença dos fluxos de calor latente entre E3 e E1 (b).

Os fluxos de H prognosticados pelo Modelo Eta nos experimentos E1 e E3 são positivos (sentido atmosfera para superfície) e apresentam pequenas diferenças entre os mesmos. As diferenças negativas (fluxos em E3 menor que E1) em relação ao experimento E1 predominam em aproximadamente 89 % da área de estudo, indicando diminuição entre 0 e 2  $W/m^2$ . No restante da área (cerca de 11 %) as diferenças positivas (fluxos em E3 maior que E1) indicam que há aumento entre 0 e 1  $W/m^2$  no E3 em relação ao E1, como pode ser visto a sudeste de CT na Figura 5.29. Portanto, a redução da umidade do solo nas condições iniciais no E3, provocou diminuição dos fluxos de H na maior parte da região em estudo.

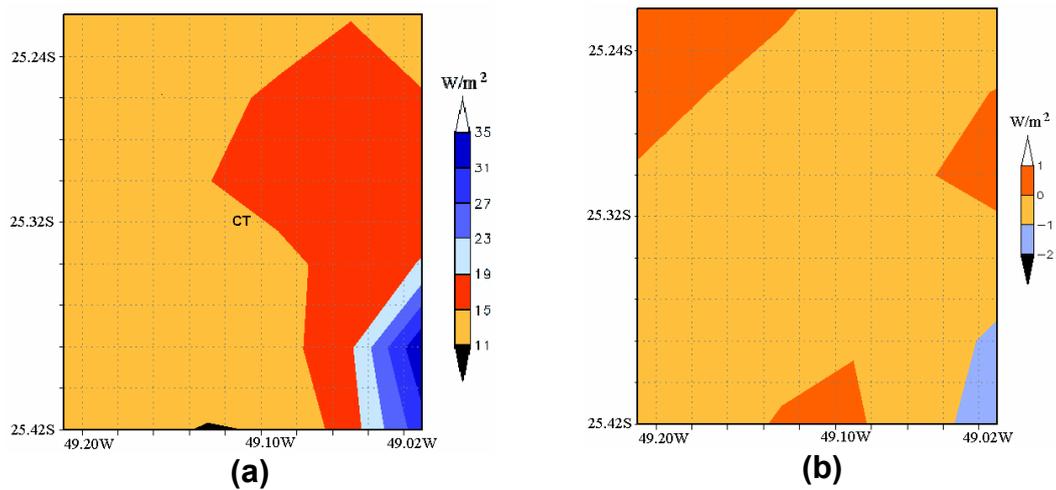


Figura 5.29 – Fluxos turbulentos de calor sensível ( $W/m^2$ ) às 08Z do dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). E1 (a) e diferença dos fluxos de calor sensível entre E3 e E1 (b).

O campo de diferença de  $T_{2m}$  do E3 em relação ao E1 apresenta diferenças positivas entre 0 e 1 °C. Essas indicam um aumento em  $T_{2m}$  entre 0,5 e 1 °C em mais de 99 % da área em estudo. Por outro lado, no restante da área há somente acréscimo de 0 a 0,5 °C (Figura 5.30).

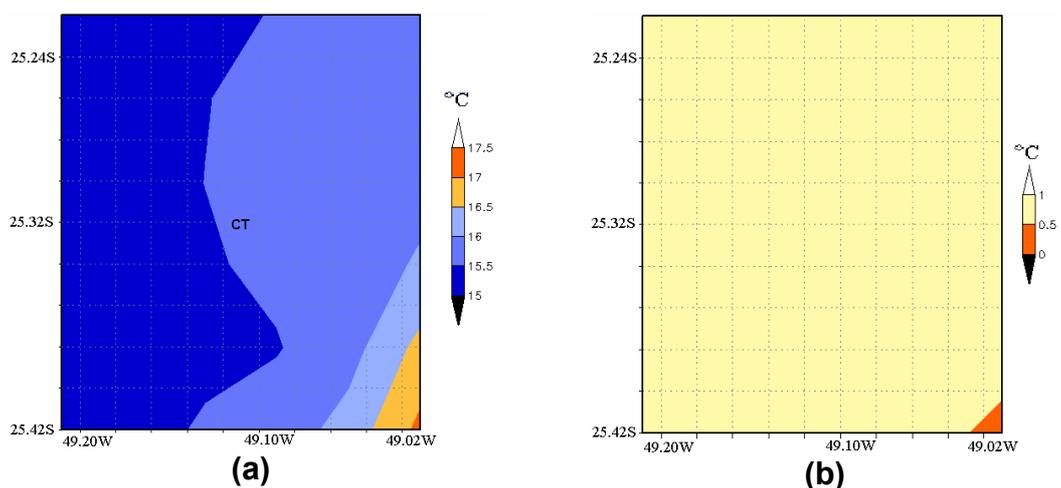


Figura 5.30 – Temperatura do ar a 2m (°C) às 08Z do dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). E1 (a) e a diferença da temperatura do ar a 2m entre E3 e E1 (b).

Desta forma a redução na umidade do solo causou acréscimo na  $T_{2m}$  e, conseqüentemente diminuiu os fluxos de H (sentido atmosfera para superfície) na maior parte da área de estudo no experimento E3, como mostra a Figura 5.29.

Os resultados indicam que as diferenças da umidade relativa em 925 hPa do E3 em relação ao E1 apresentam, somente, diferenças positivas com valores entre 0 a 1 % em aproximadamente 90 % da área em estudo e no restante com valores de 1 a 6 %, como mostra a Figura 5.31. Os acréscimos nos valores da umidade relativa em 925 hPa não são suficientes para saturar nenhuma região da área de estudo em E3.

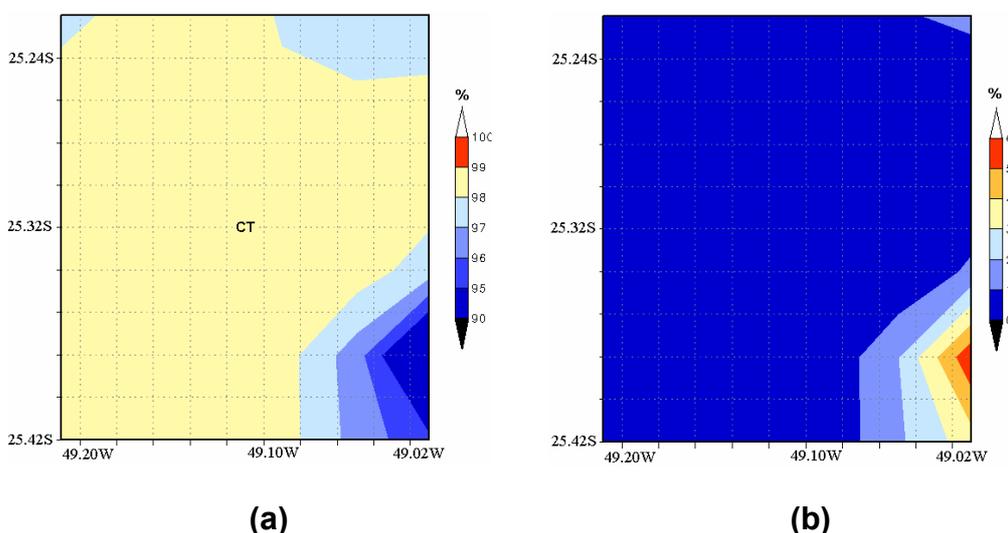


Figura 5.31 – Umidade relativa em 925 hPa (%) às 08Z do dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). E1 (a) e a diferença da umidade relativa em 925 hPa entre E3 e E1 (b).

O campo do conteúdo de água líquida em 925 hPa do E3 em relação ao E1 apresenta valores maiores, pois, há predominância de diferenças positivas na área de estudo, quando se realiza a diferença entre E3 e E1. O E3 apresenta em aproximadamente em 91 % da área de estudo aumento de conteúdo de água líquida entre 0,1 e 0,45 g/kg e entre 0 e 0,1 em 4 % da área de estudo. As diferenças negativas entre E3 e E1, com valores entre 0 e -0,1 g/kg, ocorrem

em aproximadamente 2 %, e diferenças entre -0.1 e -0,25 g/kg ocorrem em menos de 3 % da área em estudo (Figura 5.32). A predominância das diferenças positivas –em aproximadamente 95 % da área - indica que há mais água líquida em 925 hPa no E3 e, portanto, maior possibilidade de formação de nevoeiro e stratus em 925 hPa.

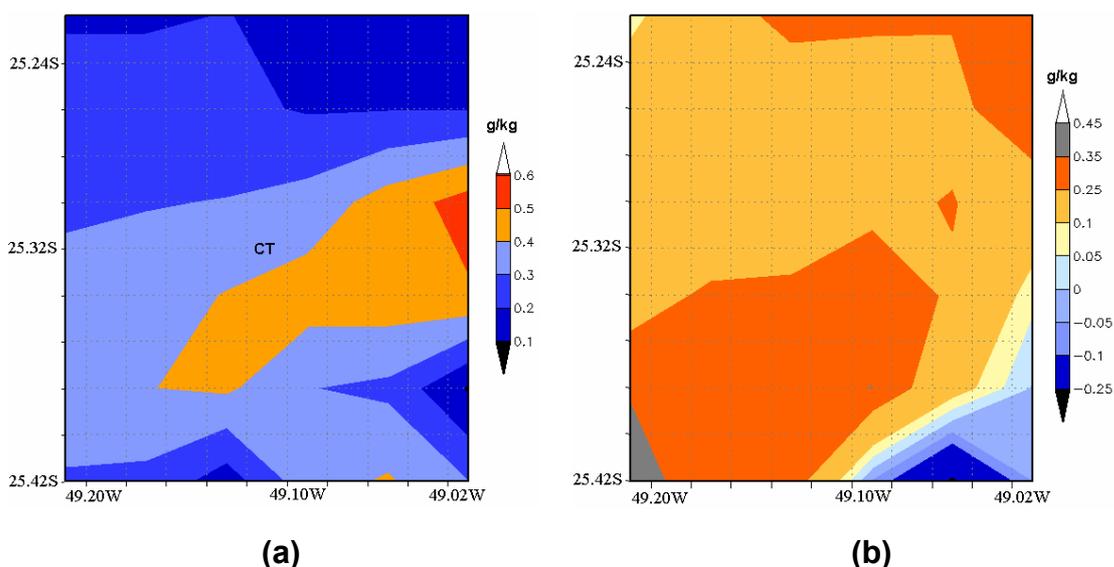


Figura 5.32 – Conteúdo de água líquida (g/kg) em 925hPa às 08Z do dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). E1 (a) e a diferença do conteúdo de água líquida entre E3 e E1 (b).

#### 5.2.1.4 O impacto da mudança simultânea na umidade do solo e na formação de gotículas

Nas seções anteriores foram discutidas individualmente a importância da umidade do solo e a do LUR na formação de gotículas, nesta seção é apresentado o Experimento numérico E4 que consiste na alteração da umidade do solo e do LUR no modelo, simultaneamente, como descrito no Tópico 4. Em detalhes locais os resultados do E1 são comparados com os resultados resultante da diferença entre E4 e E1. Inicialmente os resultados da VisH do experimento E4 são comparados com os do experimento E1. Ao final da seção

são discutidas as diferenças com os outros experimentos E2 e E3 e destacados os efeitos que apresentaram maiores respostas aos testes.

O E4 apresenta um ligeiro aumento nas áreas de baixa VisH e há diferenças na distribuição espacial da VisH em relação ao E1. Observa-se que no E4 há mais áreas de baixa VisH a noroeste e a sudoeste de CT (Figura 5.33).

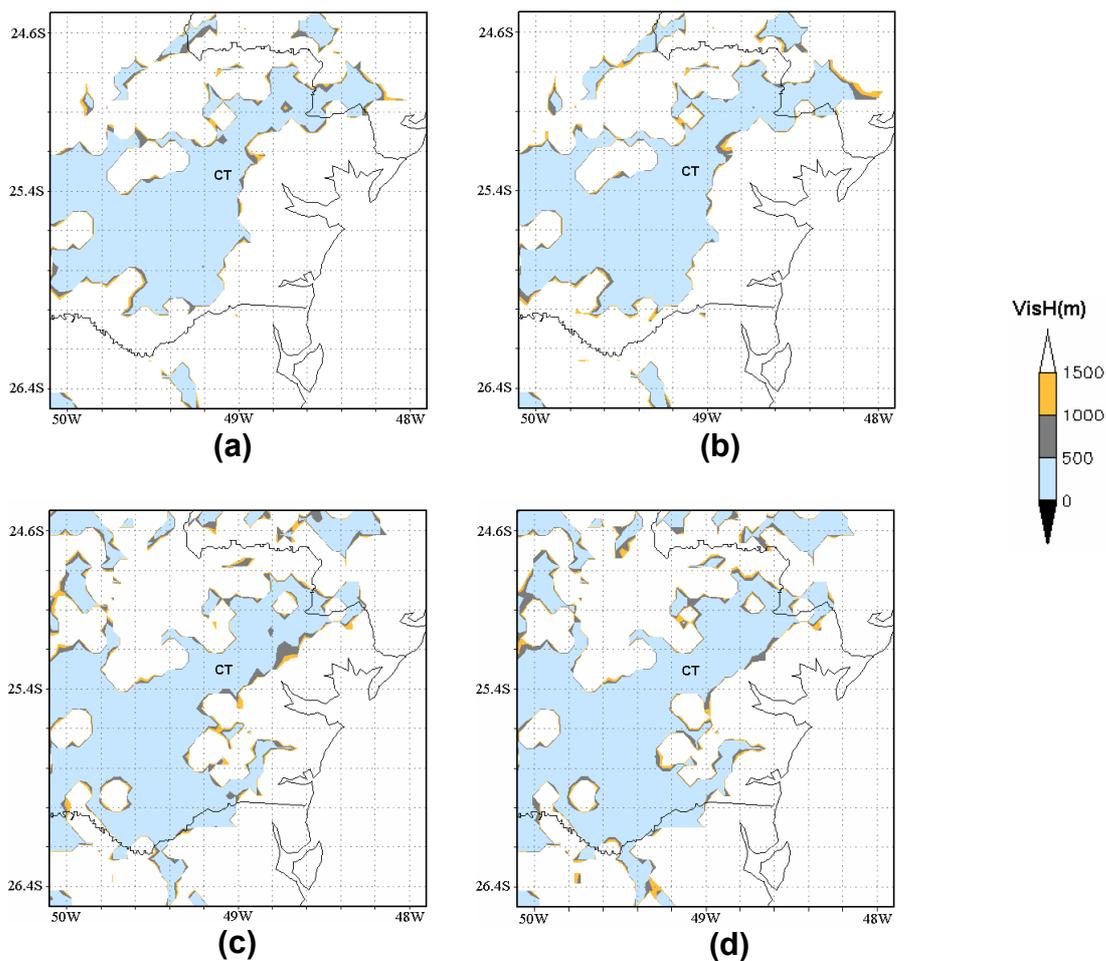


Figura 5.33 - Visibilidade horizontal (m) às 08Z do dia 14 de abril de 2005 na região do estado do Paraná centrada em CT: (a) VisK do E1, (b) VisG do E1, (c) VisK do E4 e (d) VisG do E4.

De uma forma geral, o E4 teve uma ligeira melhora na distribuição espacial do nevoeiro quando comparado ao produto de detecção de nevoeiros e stratus por imagens do GOES-12 (Figura 5.15). Os resultados do E4 indicam em termos

de áreas com VisH abaixo de 1000 m, considerando como ocorrências de nevoeiro, qualitativamente está próximo às áreas de nevoeiros e stratus detectados pelo produto de satélite como mostra a Figura 5.33.

Em uma análise com maiores detalhes na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a), observa-se que: a VisH prognosticada pelo Modelo Eta em E1 indica valores inferiores que 100 m em mais de 97 % na área de estudo, e superiores a 100 m no restante da área, tanto VisK quanto VisG, como mostram as Figuras 5.34(a) e (b).

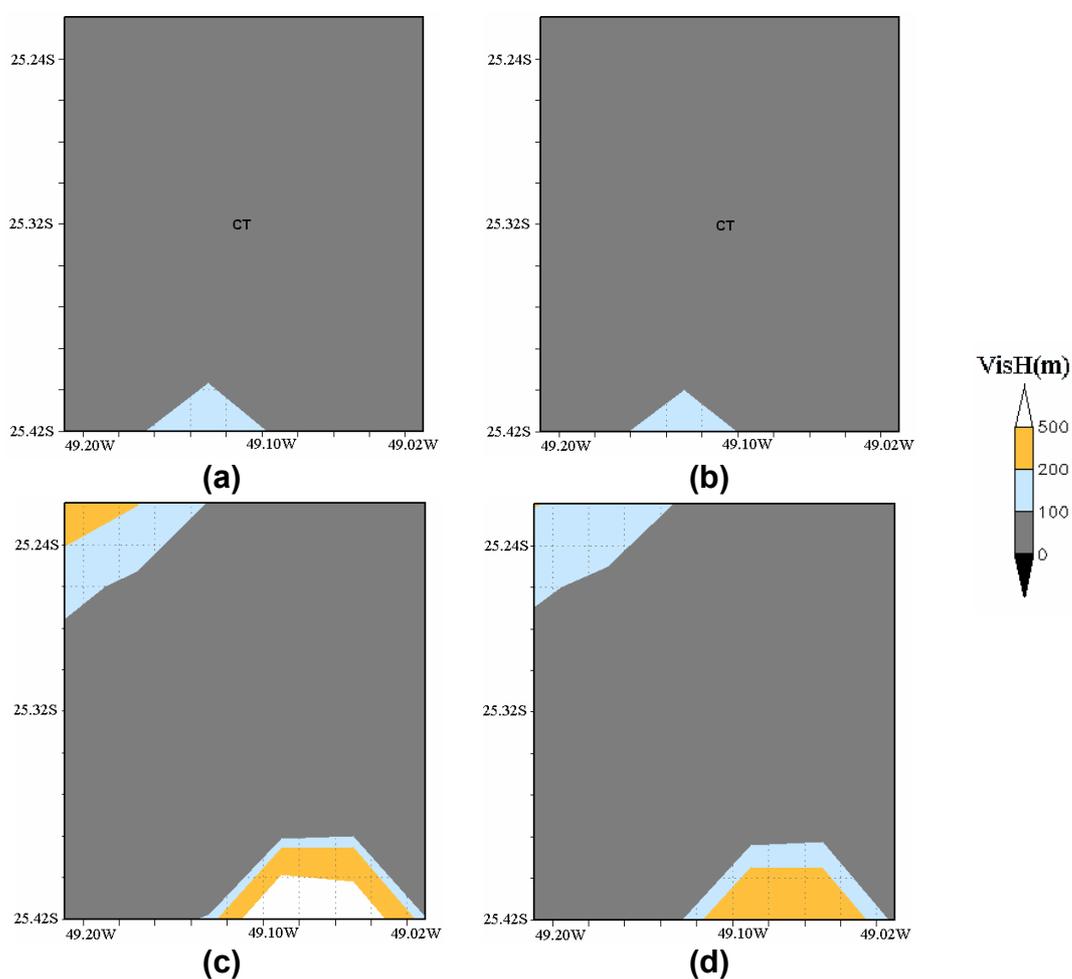


Figura 5.34 – Visibilidade horizontal (m) às 08Z do dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). VisK em E1 (a), VisG em E1 (b), VisK em E4 (c) e VisG em E4 (d).

No experimento E4, diferentemente do E1, há mais áreas com valores de VisH superiores a 100 m em aproximadamente 14 % da área em estudo como podem ser vistas nas Figuras 5.34(c) e (d). No E4 a sudeste de CT é bem ressaltada a diferença entre VisK e VisG, a VisG apresenta valores inferiores a 500 m, enquanto, que a VisK, nessa mesma região, os valores são superiores a 500 m.

Portanto, no experimento E4 as variações da VisH na área de estudo são causadas pela redução em 50 % da umidade do solo e também devido ao acréscimo no LUR. Quando se compara a umidade do solo, após 45 h de integração, no horário das 08Z, nota-se que há somente diferenças negativas, significando que o solo em E4 está menos úmido do que em E1 (Figura 5.35), como era de se esperar.

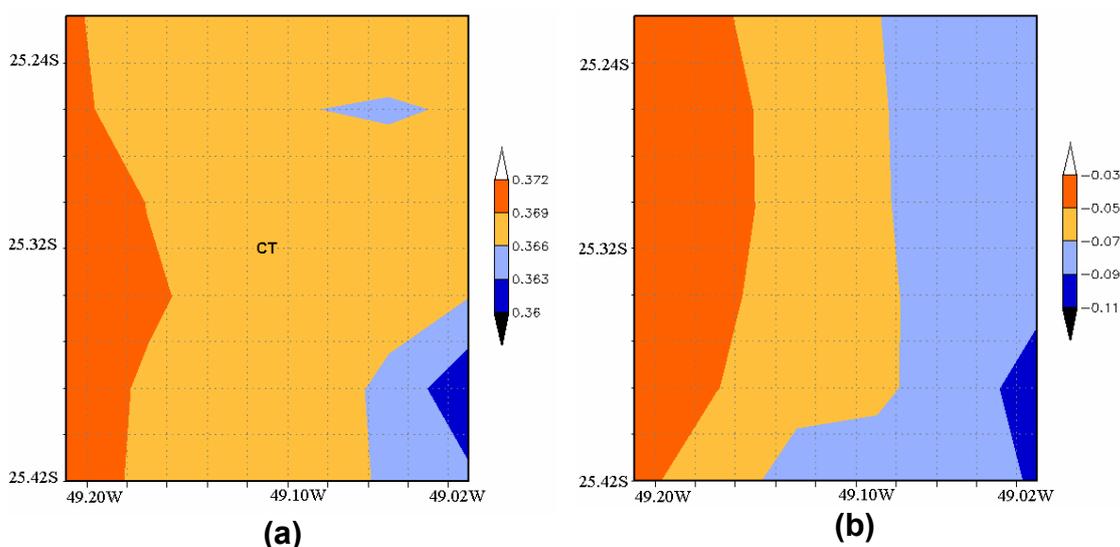


Figura 5.35 - Umidade do solo (adimensional) às 08Z do dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). E1 (a) e a diferença entre E4 e E1 (b).

Nessa mesma área de estudo os fluxos de L apresentam diferenças positivas entre o experimento E4 e o E1 em 47 % da área de estudo, com valores entre

0 e 4  $W/m^2$ , nas quais a maior amplitude é quando os fluxos de L atingem valores de 30  $W/m^2$  em E4 e 26  $W/m^2$  em E1, como mostra a Figura 5.36, indicando que o transporte de umidade e L é maior no E4 no sentido da atmosfera para a superfície. Por outro lado, as diferenças negativas, as quais indicam que E4 em relação ao E1 apresentam uma diminuição de 0 e -10  $W/m^2$ , em aproximadamente 30 % da área de estudo e de -10 a -22  $W/m^2$  em menos de 23 % dessa mesma área. As maiores amplitudes das diferenças negativas são quando os fluxos de L alcançam 4  $W/m^2$  em E4 e 26  $W/m^2$  em E1, indicando que o transporte de umidade e L são maiores em E1 no sentido da atmosfera para a superfície, como mostra a Figura 5.36.

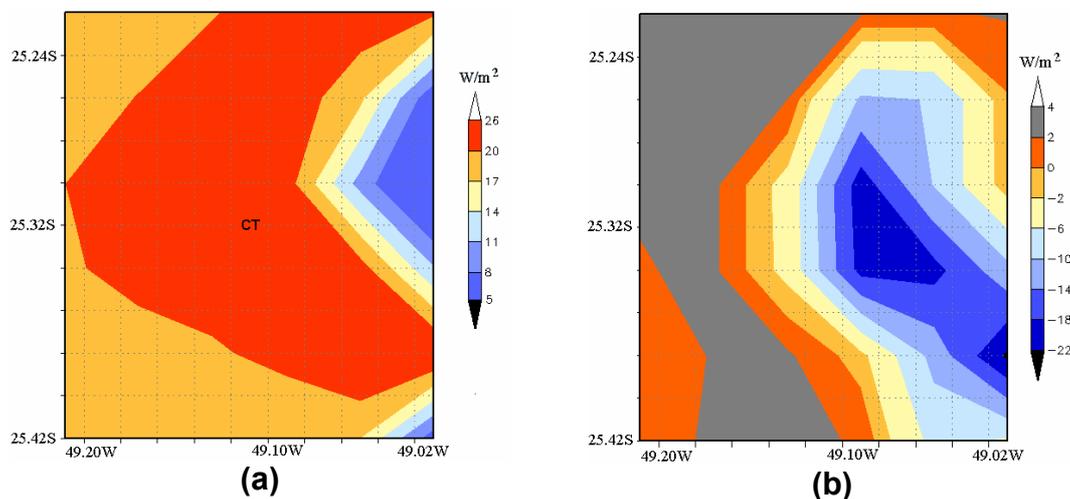


Figura 5.36 – Fluxos turbulentos de calor latente ( $W/m^2$ ) às 08Z do dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). E1 (a) e a diferença dos fluxos de calor latente entre E4 e E1 (b).

Em uma análise detalhada dos fluxos de H, os resultados indicam que as diferenças positivas dos fluxos de H entre E4 e E1 representam cerca de 25 % da área de estudo, as quais indicam um aumento de 0 e 1  $W/m^2$  em E4 em relação ao E1. No restante da área em estudo (aproximadamente 75 % da área), as diferenças negativas indicam que houve uma diminuição de 0 e -3  $W/m^2$  nos fluxos de H em E4 em relação ao E1, como mostra a Figura 5.37.

Portanto, nas áreas em que há diminuição (aumento) dos fluxos de H, menor (maior) quantidade de calor é disponibilizada da atmosfera para a superfície.

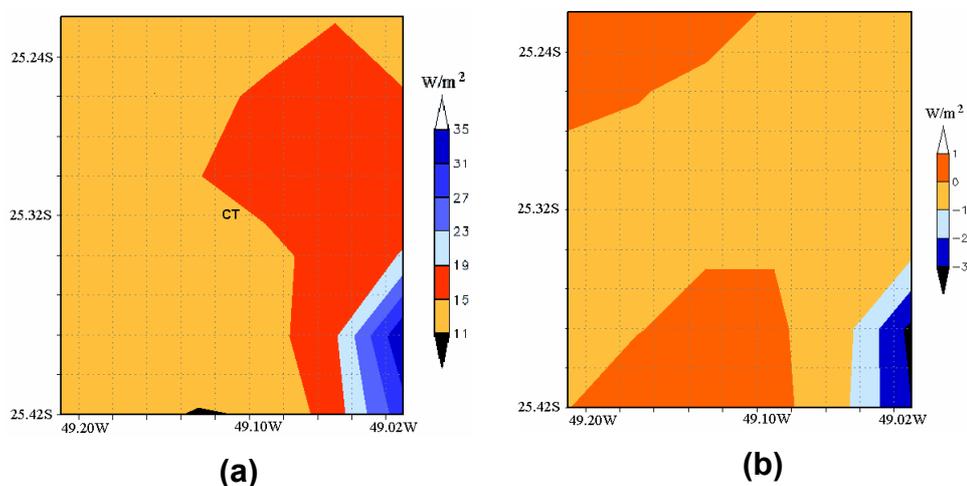
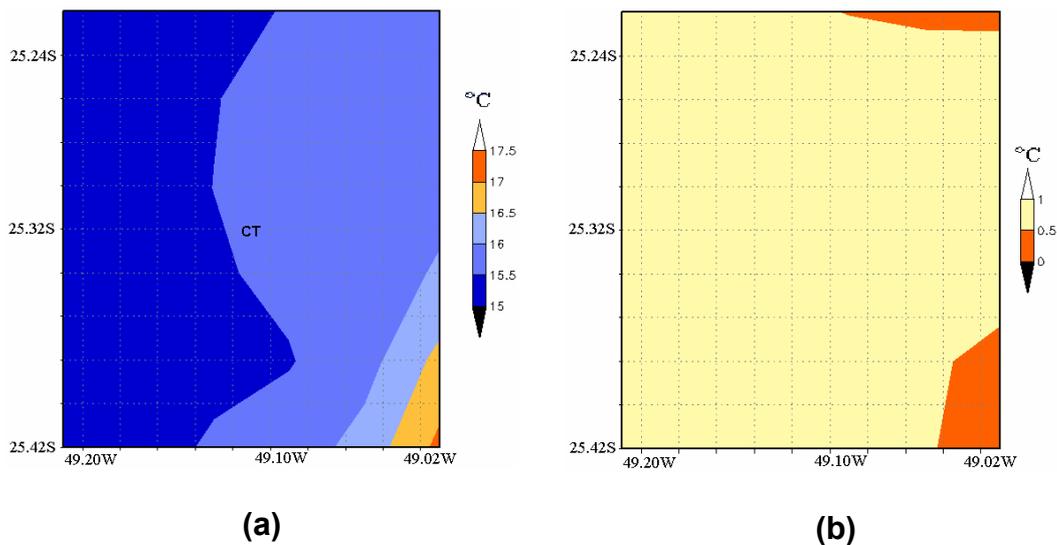


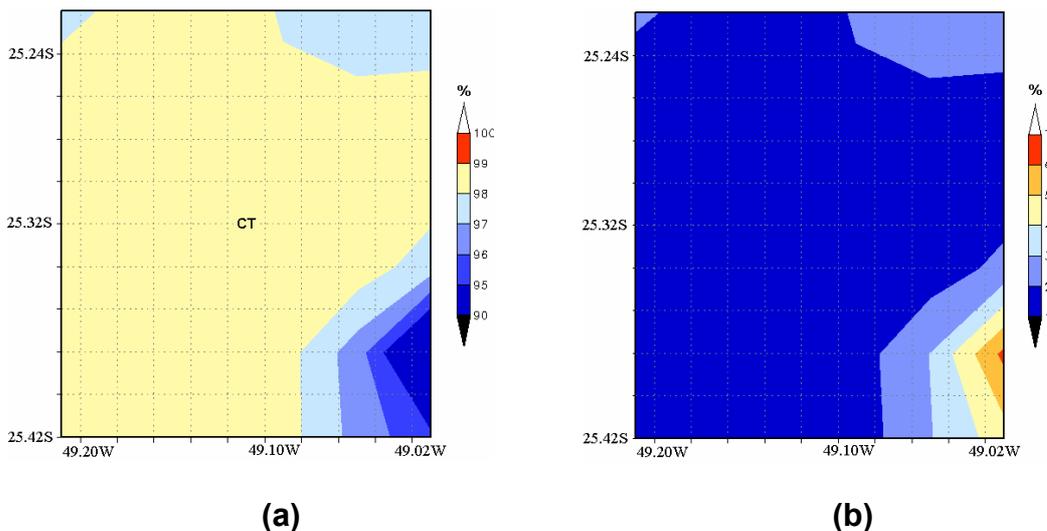
Figura 5.37 – Fluxos turbulentos de calor sensível ( $W/m^2$ ) às 08Z dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). E1 (a) e a diferença dos fluxos de calor sensível entre E4 e E1 (b).

A Figura 5.38 representa  $T_{2m}$  em E1 e as diferenças de  $T_{2m}$  entre os experimentos E4 e E1. Na Figura 5.38(b), somente, há diferenças positivas, indicando que os valores de  $T_{2m}$  em E1 são menores do que em E4, como mostra a Figura 5.41. As diferenças positivas, representando aumento de 0,5 a 1 °C em aproximadamente 95 % da área em estudo e no restante de 0 a 0,5 °C. As áreas em que ocorrem menores diferenças de  $T_{2m}$ , como a sudeste de CT, estão coerentes com as áreas com menores fluxos de H, como mostra a Figura 5.37.

Em relação à umidade relativa a 925 hPa os resultados indicam que as diferenças do experimento E4 em relação ao E1 são diferenças positivas (são maiores em E4), as quais em aproximadamente 88 % da área tem acréscimo de 1 a 2 % e no restante da área de estudo indicam acréscimo de 2 a 7 % ao valor da umidade relativa em 925 hPa.



**(a)** **(b)**  
 Figura 5.38 – Temperatura do ar a 2m (°C) às 08Z do dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). E1 (a) e a diferença da temperatura do ar a 2m entre E4 e E1 (b).



**(a)** **(b)**  
 Figura 5.39 – Umidade relativa em 925 hPa (%) às 08Z do dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). E1 (a) e a diferença da umidade relativa em 925hPa entre E4 e E1 (b).

Esses acréscimos tornam mais de 98 % da área em estudo do E4 saturada, como mostra a Figura 5.39. A única exceção é a área a sudeste de CT

(aproximadamente 25.4° S e 49.0° W) na qual o incremento foi cerca de 7 % e a umidade relativa em 925 hPa atinge valor de 99 %.

Prosseguindo a análise, os resultados indicam que o conteúdo de água líquida em 925 hPa do experimento E4 em relação ao E1 é maior, pois, há diferenças positivas distribuídas em aproximadamente 86 % da área de estudo com um aumento entre 0 e 0,3 g/kg no E4. No restante da área as diferenças são negativas e indicam uma diminuição de 0 a 0,3 g/kg do conteúdo de água líquida em E4 em relação ao E1 como mostra a Figura 5.40.

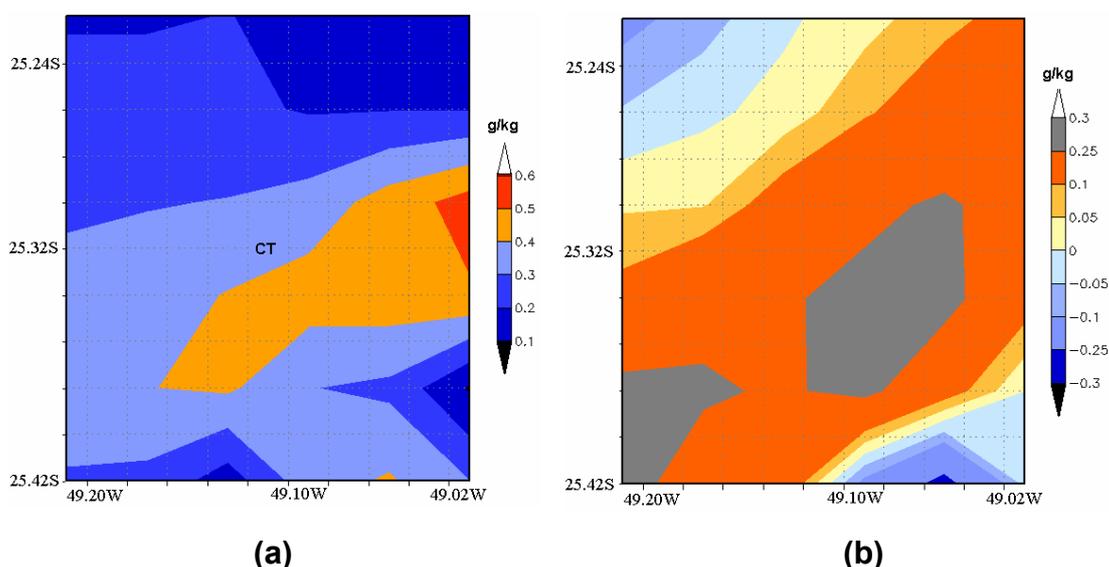


Figura 5.40 – Conteúdo de água líquida (g/kg) em 925hPa às 08Z do dia 14 de abril de 2005 na área de estudo, apresentada na Figura 5.16(a). E1 (a) e a diferença do conteúdo de água líquida entre E4 e E1 (b).

#### -Considerações da Seção 5.2.1

Os resultados mostram em todos os experimentos numéricos que há uma ampliação da área, com diminuição da VisH, quando se compara o emprego da metodologia de Gultepe *et al* (2006) em relação à metodologia de Kunkel (1984). Os resultados também mostram as variações da VisH e de outras variáveis devido as alterações do LUR e da umidade do solo. Com o objetivo de um melhor entendimento da análise dos resultados, fixam-se dois pontos, nos quais ocorrem as variações da VisH. Esses pontos localizam-se ao sul de

CT nas coordenadas 25.42° S e 49.10° W denominado ponto SUL e a noroeste de CT nas coordenadas 25.22° S e 49.20° W denominado de ponto NW.

Os experimentos numéricos E2 e E4 apresentam impactos na VisH com as alterações do LUR em relação ao E1. No ponto Sul e ponto NW há um aumento no valor da VisH do E2 e E4 quando comparados ao E1, como mostram as Figuras 5.19 e 5.34. Esse aumento é justificado pelo aumento do conteúdo de água líquida em 925hPa. Portanto, ao aumentar o LUR de 98 % para 100 %, uma menor quantidade de vapor de água consegue condensar, e os valores de VisH tornam-se maiores. Isto pode ser visto, quando se compara o E4 em relação ao o E1. No ponto SUL, por exemplo, o E4 apresenta diminuição de 0,05 g/kg no conteúdo de água líquida em 925 hPa e valores de VisG de 200 a 500 m (VisK de acima de 1500 m ), enquanto, o E1 apresenta valores de VisG de 0 a 100 m (VisK de 100 a 200 m), como mostram as Figuras 5.34 e 5.40.

Os resultados dos experimentos numéricos do E3 e do E4 indicam impactos, nos fluxos de calor (L e H), na temperatura do ar a 2m ( $T_{2m}$ ), na umidade relativa em 925 hPa e no conteúdo de água líquida em 925 hPa com a redução da umidade do solo. Estes impactos são sugeridos nos experimentos E3 e E4 em relação ao E1, como exemplo, no ponto SUL, há fluxos de H com acréscimos de 0 a 1 W/m<sup>2</sup>, esses acréscimos de calor são transportados pelos fluxos da atmosfera para a superfície. O que contribui para o aumento da  $T_{2m}$  de 0,5 a 1 °C em toda a área de estudo do E4 e E3. Embora ambos os experimentos têm o mesmo acréscimo de  $T_{2m}$ , o mesmo não ocorreu em relação à umidade relativa em 925 hPa. Em E3 ocorre acréscimo de 0 a 1 %, o que não é suficiente para atingir a saturação no ponto SUL e em nenhuma outra parte da área em estudo em 925 hPa. Enquanto, o E4 com acréscimo de 1 a 2 % consegue atingir a saturação no ponto SUL e em quase toda da área de estudo em 925 hPa. Assim, o maior impacto da umidade do solo é na  $T_{2m}$ , notada nos experimentos E3 e E4. O E3 em relação ao E1, no ponto SUL, apresenta um aumento de 0,05 g/kg no conteúdo de água líquida e os valores

de VisH são superior a 500 m, enquanto, no E1 a VisH apresenta valores de 100 a 200 m como mostra as Figuras 5.26 (c) e 5.32.

Ao comparar os resultados do E2 com o E4, nota-se que devido à condição inicial da umidade do solo ser 50 % menor em E4 e após 45h de integração, o solo em E4 está menos saturado do que em E2, o que proporciona diferenças nos fluxos de L e na umidade relativa em 925 hPa. O E2 apresenta maiores fluxos de L e menor aumento da umidade relativa em 925 hPa do que E4, ou seja, maior quantidade de umidade é retirada da atmosfera e transportada para a superfície em E2 comparado a E4. Assim, no ponto SUL, o experimento E2 apresenta VisH (VisK entre 100 m e 200 m) menor do que em E4 (VisK entre 200 m e 500 m), já que a atmosfera fornece maior quantidade de umidade para a superfície em E2, a qual é transportada pelos fluxos de L como mostra as Figuras 5.19(c) e 5.34 (c).

Ao analisar os resultados dos experimentos numéricos E1 ao E4, nota-se que os resultados indicam que as alterações no LUR e na condição inicial da umidade do solo provocam variações nos valores de VisH. Como, por exemplo, ao comparar E2 com E3 em relação ao E1, no ponto SUL, nota-se que os fluxos turbulentos (L e H) de E2 são maiores do que em E3, os aumentos na  $T_{2m}$  são de 0,5 a 1 °C em E3 e de 0 a 0,5 °C no E2. Nesse mesmo ponto, o conteúdo de água líquida em 925 hPa no E3 tem acréscimo de 0 a 0,1 g/kg, enquanto no E2 há decréscimo de - 0,1 a - 0,2 g/kg e a umidade relativa em 925 hPa, em ambos os experimentos, apresenta um acréscimo de 0 a 1%, entretanto, há saturação somente em E2. Essa combinação de resultados justifica os valores de VisK no ponto SUL de 100 a 200 m no E2 e acima de 500 m no E3, Figuras 5.19(c) e 5.26(c). Portanto, da análise dos resultados conclui-se que a VisK é sempre maior do que a VisG para VisH superiores a 100 m, os maiores impactos da LUR na VisH ocorrem na formação de gotículas, presenciada nos experimentos numéricos E2 e E4, os maiores impactos da umidade do solo são na  $T_{2m}$ , notada nos experimentos E3 e E4. Portanto o controle da formação de gotículas, juntamente com a umidade do

solo desempenham papéis importantes na formação de nevoeiros, névoa úmida e conseqüentemente na VisH. Pois, esses dois componentes regulam as trocas dos fluxos turbulentos de calor (L e H) e de conteúdo de água líquida na interface da atmosfera e a superfície.

### **5.2.2 VisH para as regiões dos aeroportos CT, SP e PA**

Os resultados da VisH - nos domínios centralizados nos aeroportos de CT, SP e PA - são apresentados para os dias 14 de abril, 15 de agosto e 04 de outubro de 2005. Os resultados são dos horários em que são observadas as menores VisH, antes do nascer do sol. A validação dos resultados é realizada com o produto de detecção de nevoeiros e stratus por imagens do GOES-12, a qual consiste em comparar, qualitativamente, as áreas com valores de VisH entre 0 e 1500 m com as imagens do produto de satélite.

#### **5.2.2.1 Região do Aeroporto de CT**

- Caso 14 de abril de 2005 às 09Z

Os resultados dos experimentos numéricos E1 ao E4 para o dia 14 de abril de 2005 às 09Z indicam que o modelo Eta detecta a formação de nevoeiro (regiões com VisH menor que 1000 m) e estão coerentes, qualitativamente, com o produto de detecção de nevoeiros e stratus por imagens do GOES-12, como mostram as Figuras 5.41 e 5.46. As diferenças entre os resultados dos experimentos ocorrem quanto à distribuição espacial das regiões de VisH. Em relação ao E1, o E2 é o que apresenta menor área de cobertura com VisH menor que 1500 m, enquanto o E3 é o que apresenta maior área de cobertura com VisH menor que 1500 m. O E4, como uma combinação do E2 e E3, apresenta em termos área de cobertura, neste caso, valor intermediário entre o E2 e E3. As variações das áreas com VisH abaixo de 1500 m nos domínios dos experimentos não são lineares. As regiões indicadas no E4 são as que mais se aproximam, qualitativamente, com as do produto de detecção de nevoeiros e stratus por imagens do GOES-12. Em todos os experimentos tanto

a VisK como a VisG indicam que a VisH no aeroporto de CT está entre 0 e 500 m e a observação registrada pelo METAR é de 400 m às 09Z.

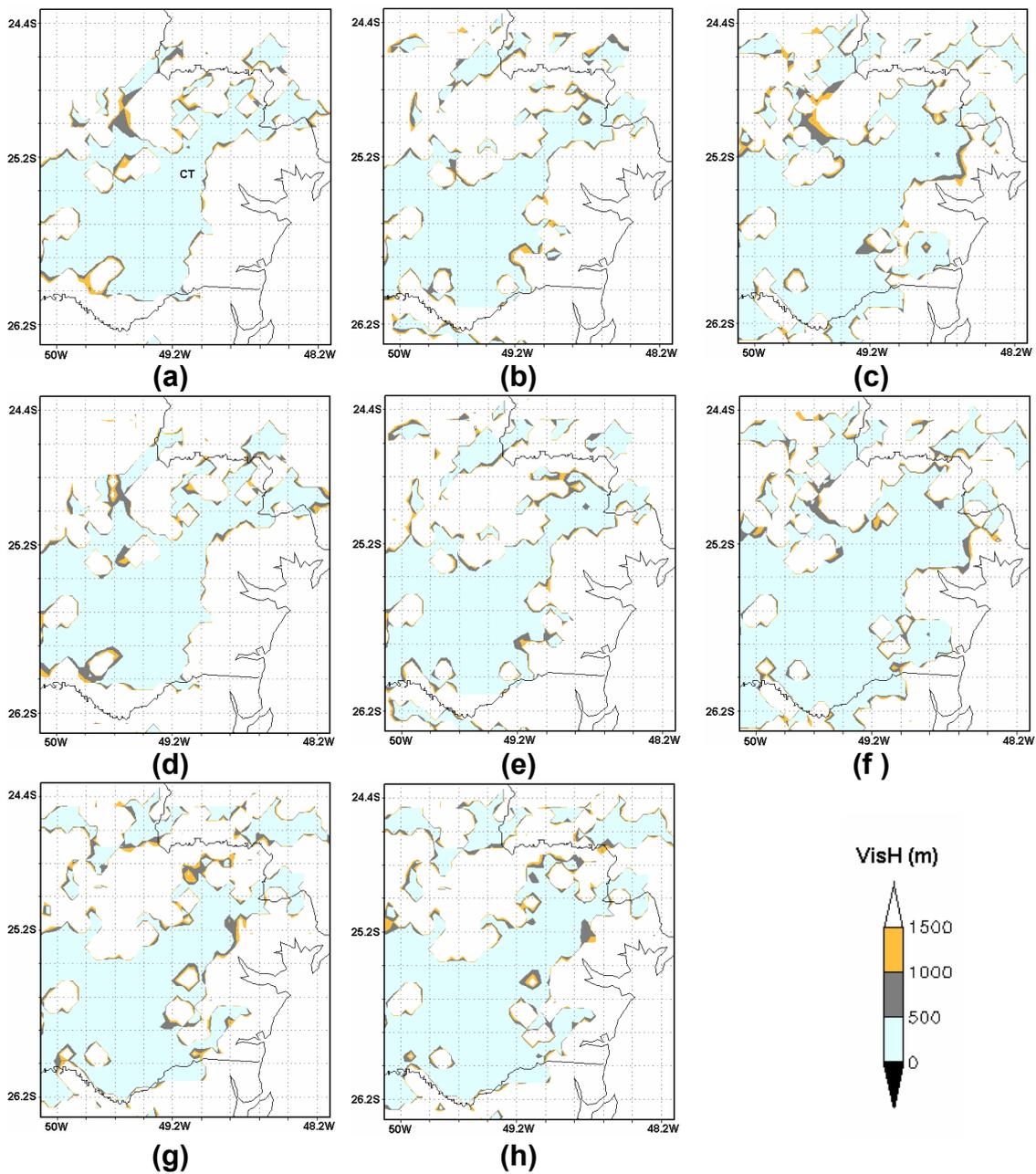


Figura 5.41 – Visibilidade horizontal (m) às 09Z do dia 14 de abril de 2005 para parte do estado do Paraná centralizada em CT: (a) VisK do E1, (b) Visk do E2, (c) VisK do E3 , (d) VisG do E1, (e) VisG do E2, (f) VisG do E3, (g) VisK do E4 e (h) VisG do E4.

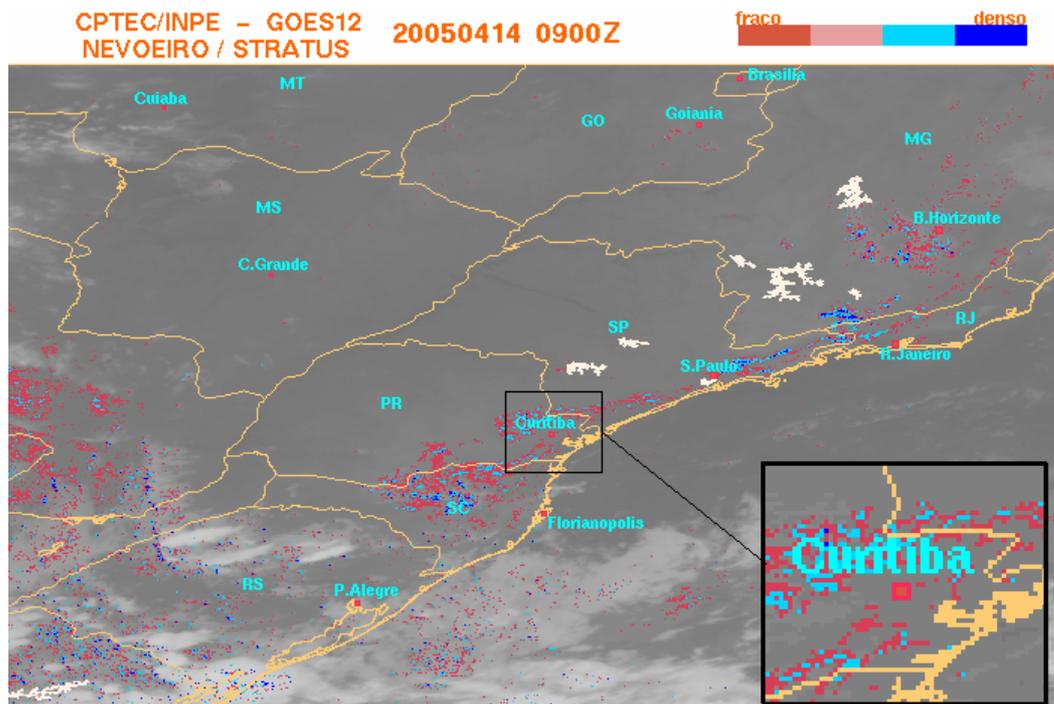


Figura 5.42 - Detecção de nevoeiro e stratus a partir de imagens GOES-12 às 09Z de 14 de abril de 2005 com ênfase na região de CT.

Fonte: INPE (2005) <http://www.cptec.inpe.br>

- Caso 15 de agosto de 2005 às 06Z

Os resultados dos experimentos numéricos E1 ao E4 para o dia 15 de agosto de 2005 às 06Z indicam que o modelo Eta detecta áreas com VisH abaixo de 1500 m, somente, nos experimentos numéricos E1 e E3, quando, qualitativamente, validados com o produto de detecção de nevoeiros e stratus por imagens do GOES-12 como mostram as Figuras 5.43 e 5.44. Os resultados indicam que o E3 em relação ao E1 apresenta uma diminuição nas áreas com VisH menor que 1500 m. Os resultados dos experimentos E2 e E4 não indicam nenhuma área com VisH menor que 1500 m. Os resultados do caso em estudo mostram que as variações nas áreas de VisH nos domínios dos experimentos não são lineares. Neste caso, as áreas de VisH indicadas no E1 são as que

mais se aproximam, qualitativamente, com as do o produto de detecção de nevoeiros e stratus por imagens do GOES-12.

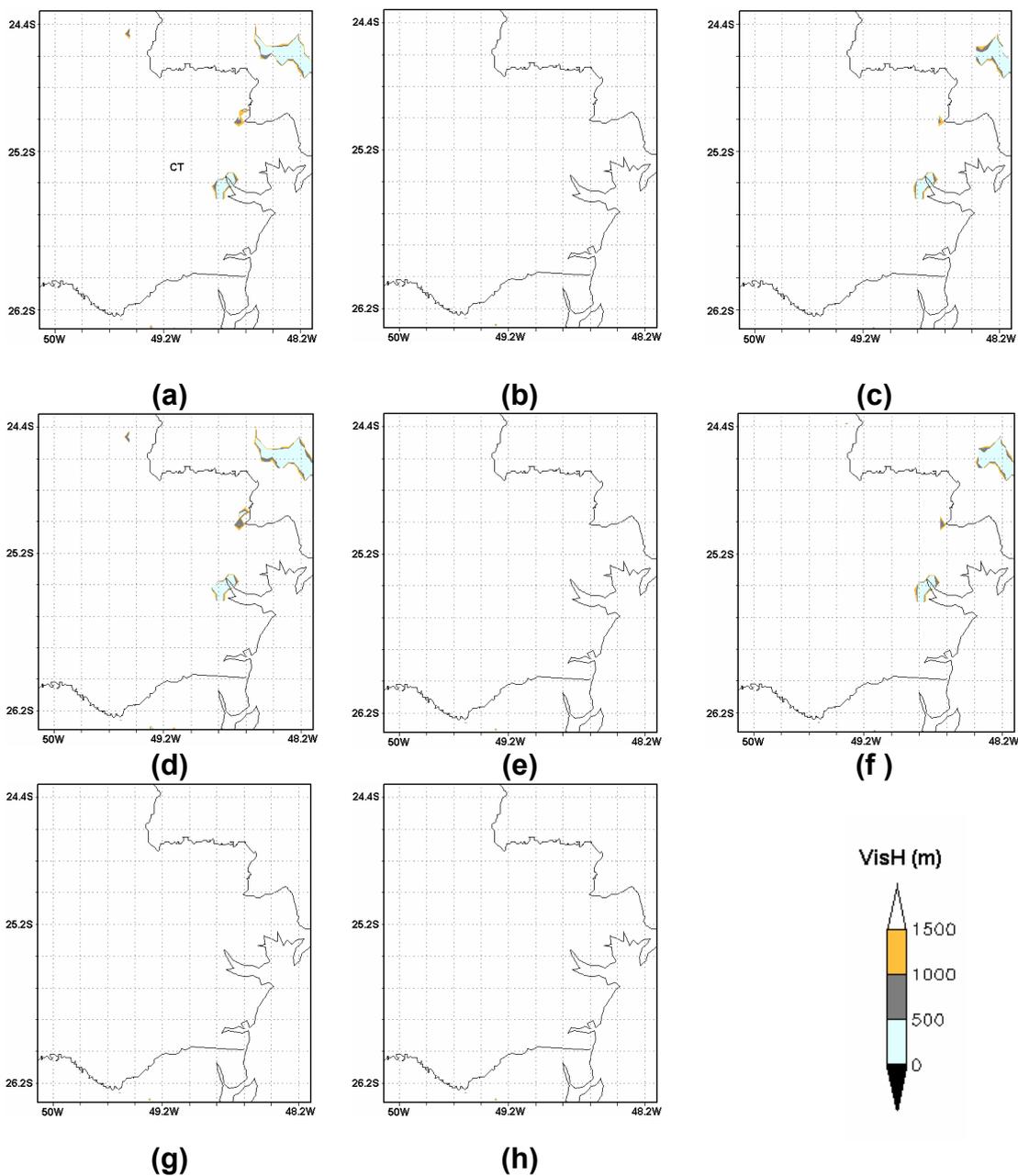


Figura 5.43 - Visibilidade horizontal (m) às 06Z do dia 15 de agosto de 2005 para parte do estado do Paraná centralizada em CT: (a) VisK do E1, (b) VisK do E2, (c) VisK do E3, (d) VisG do E1, (e) VisG do E2, (f) VisG do E3, (g) VisK do E4 e (h) VisG do E4.

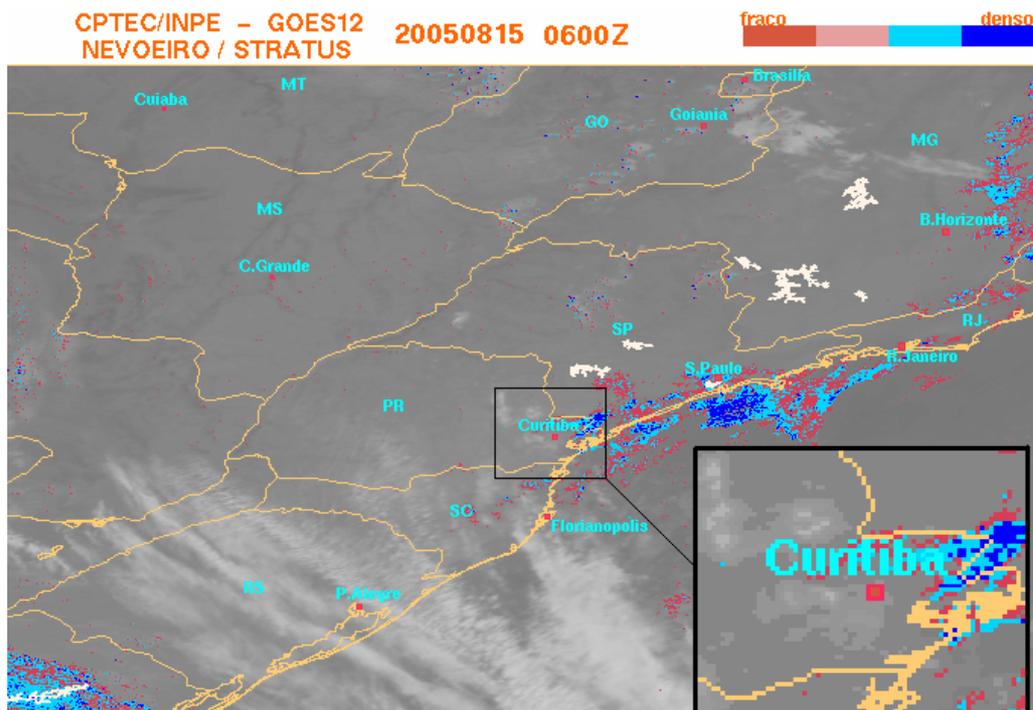


Figura 5.44 - Detecção de nevoeiro e stratus a partir de imagens GOES-12 as 06Z de 15 de agosto de 2005 com ênfase na região de CT.

Fonte: INPE (2005) <http://www.cptec.inpe.br>

Em todos os experimentos tanto a VisK como a VisG indicam, pontualmente, que a VisH no aeroporto de CT é superior a 1500 m e a observação registrada pelo METAR é de 250 m às 06Z. Portanto, neste caso, o modelo não detecta, pontualmente, o nevoeiro no aeroporto de CT, o mesmo acontece o produto de detecção de nevoeiros e stratus por imagens do GOES-12, como pode ser visto na Figura 5.44.

- Caso 04 de outubro de 2005 às 08Z

Os resultados dos experimentos numéricos E1 ao E4 para o dia 04 de outubro de 2005 às 08Z indicam que o modelo Eta detecta áreas com VisH abaixo de 1500 m, entretanto, o produto de detecção de nevoeiro e stratus por imagens do GOES-12 não indica nenhuma área de nevoeiro para o estado do Paraná como mostram as Figuras 5.45 e 5.46.

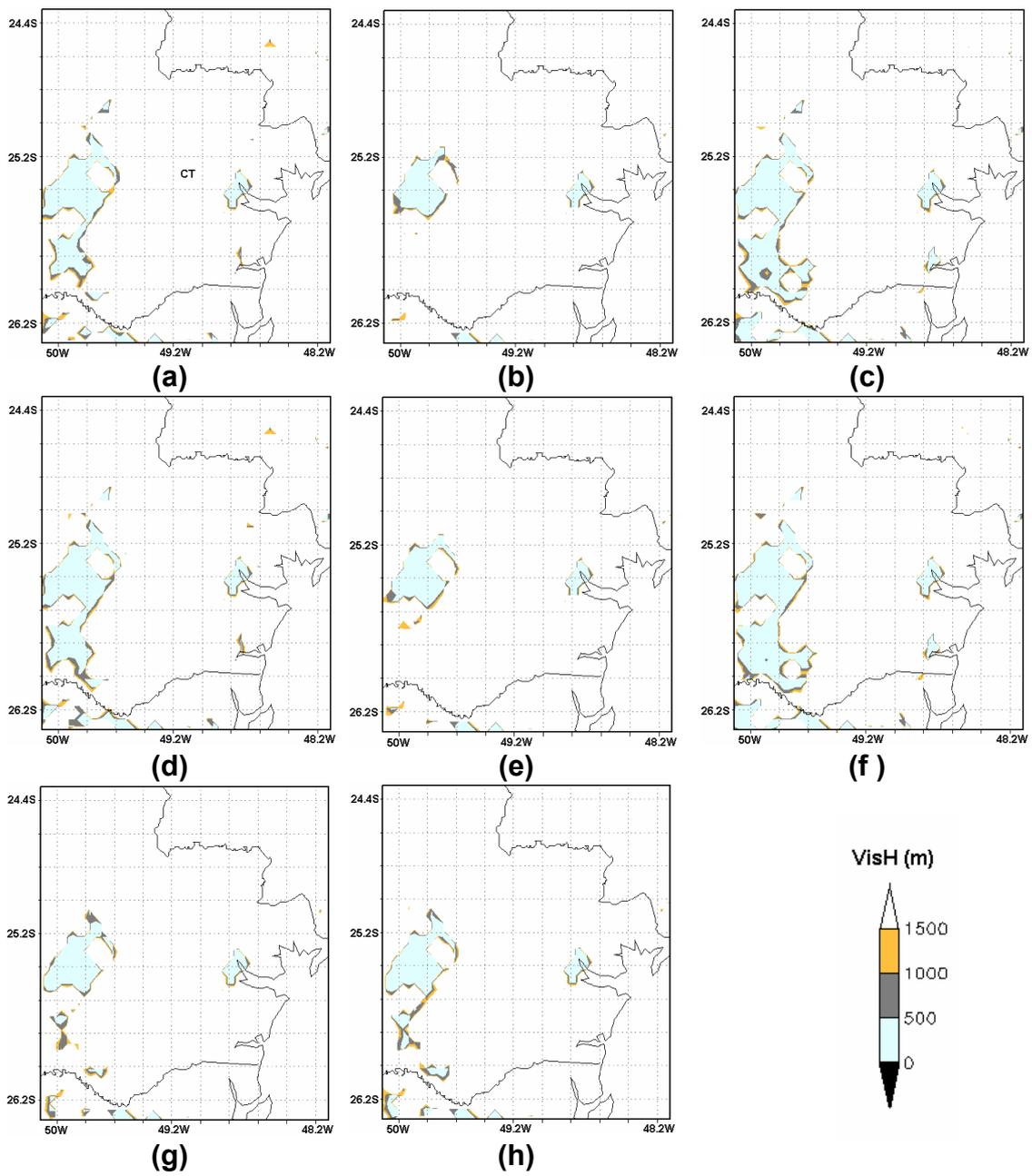


Figura 5.45 - Visibilidade horizontal (m) às 08Z do dia 04 de outubro de 2005 para parte do estado do Paraná centralizada em CT: (a) VisK do E1, (b) Visk do E2, (c) VisK do E3 , (d) VisG do E1, (e) VisG do E2, (f) VisG do E3, (g) VisK do E4 e (h) VisG do E4.

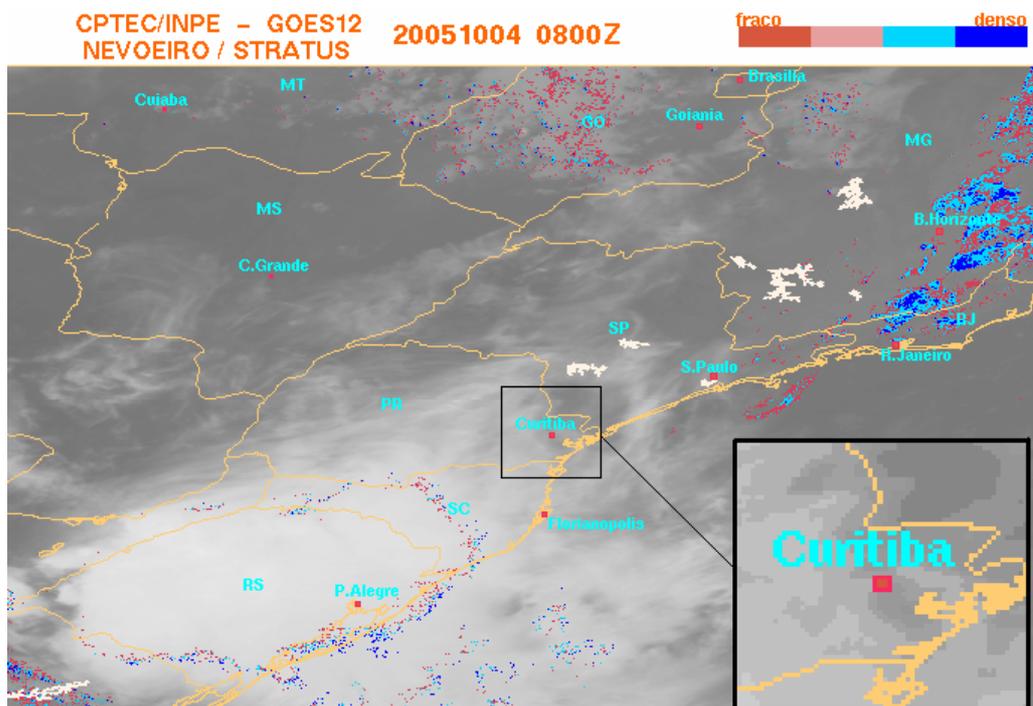


Figura 5.46 - Detecção de nevoeiro e stratus a partir de imagens GOES-12 às 08Z de 04 de outubro de 2005 com ênfase na região de CT.

Fonte: INPE (2005) <http://www.cptec.inpe.br>

Os resultados dos experimentos mostrados na Figura 5.45, diferenciam-se quanto à distribuição espacial das áreas com valores menores que 1500 m para VisH. Em ordem crescente da área de cobertura da VisH ( com valores menores que 1500 m) em relação ao E1 estão E2, E4 e E3. Em todos os experimentos tanto a VisK quanto a VisG indicam que a VisH no aeroporto de CT é superior a 1500 m e a observação registrada pelo METAR é de 2100 m às 08Z. Portanto, pontualmente, para o aeroporto de CT, neste horário, o modelo Eta e o produto de detecção de nevoeiro e stratus por imagens do GOES-12 estão coerentes.

### 5.2.2.2 Região do Aeroporto SP

- Caso 14 de abril de 2005 às 02Z

Os resultados dos experimentos numéricos E1 ao E4 para o dia 14 de abril de 2005 às 02Z indicam que o modelo Eta detecta áreas com valores de VisH abaixo de 1500 m na região em estudo próxima ao aeroporto de SP, assim como o produto de detecção de nevoeiro e stratus por imagens do GOES-12, como podem ser vistos nas Figuras 5.47 e 5.48.

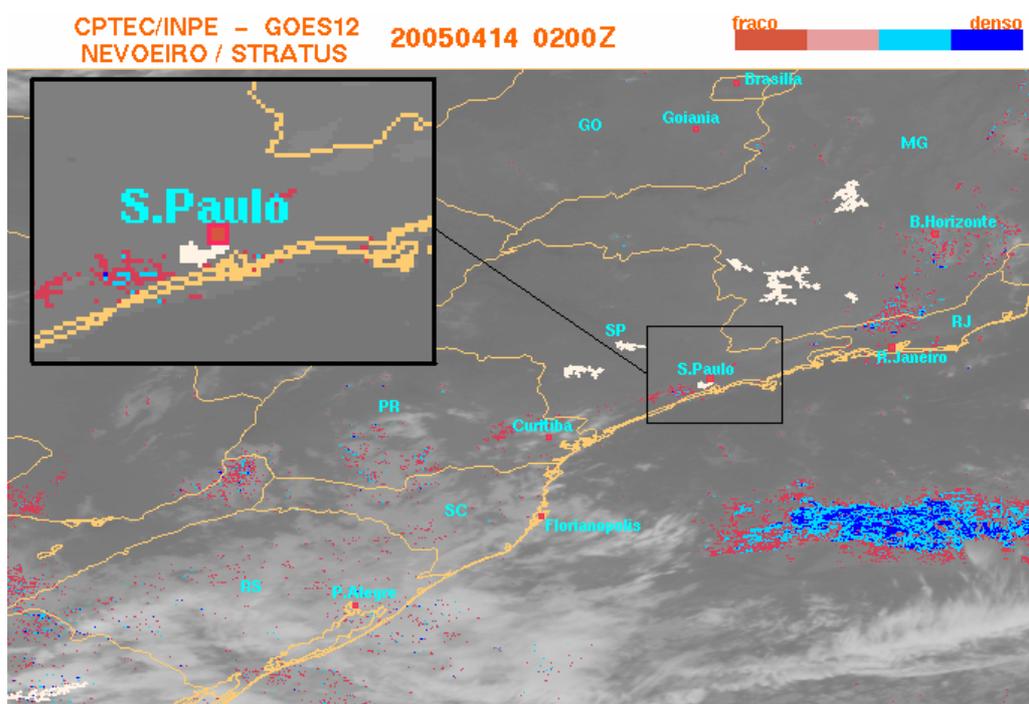


Figura 5.47 - Detecção de nevoeiro e stratus a partir de imagens GOES-12 às 02Z de 14 de abril de 2005 com ênfase na região de SP.

Fonte: INPE (2005) <http://www.cptec.inpe.br>

As diferenças entre os experimentos ocorrem quanto à distribuição espacial da VisH. Em relação ao E1, o E2 é que apresenta menor área com VisH abaixo de 1500 m, enquanto o E3 é que apresenta maior área com VisH abaixo de 1500 m. O E4 (combinação do E2 e E3), apresenta valores intermediários de VisH entre o E2 e o E3. As áreas indicadas de VisH em E2 são as que mais se

aproximam, qualitativamente, do produto de detecção de nevoeiro e stratus por imagens do GOES-12.

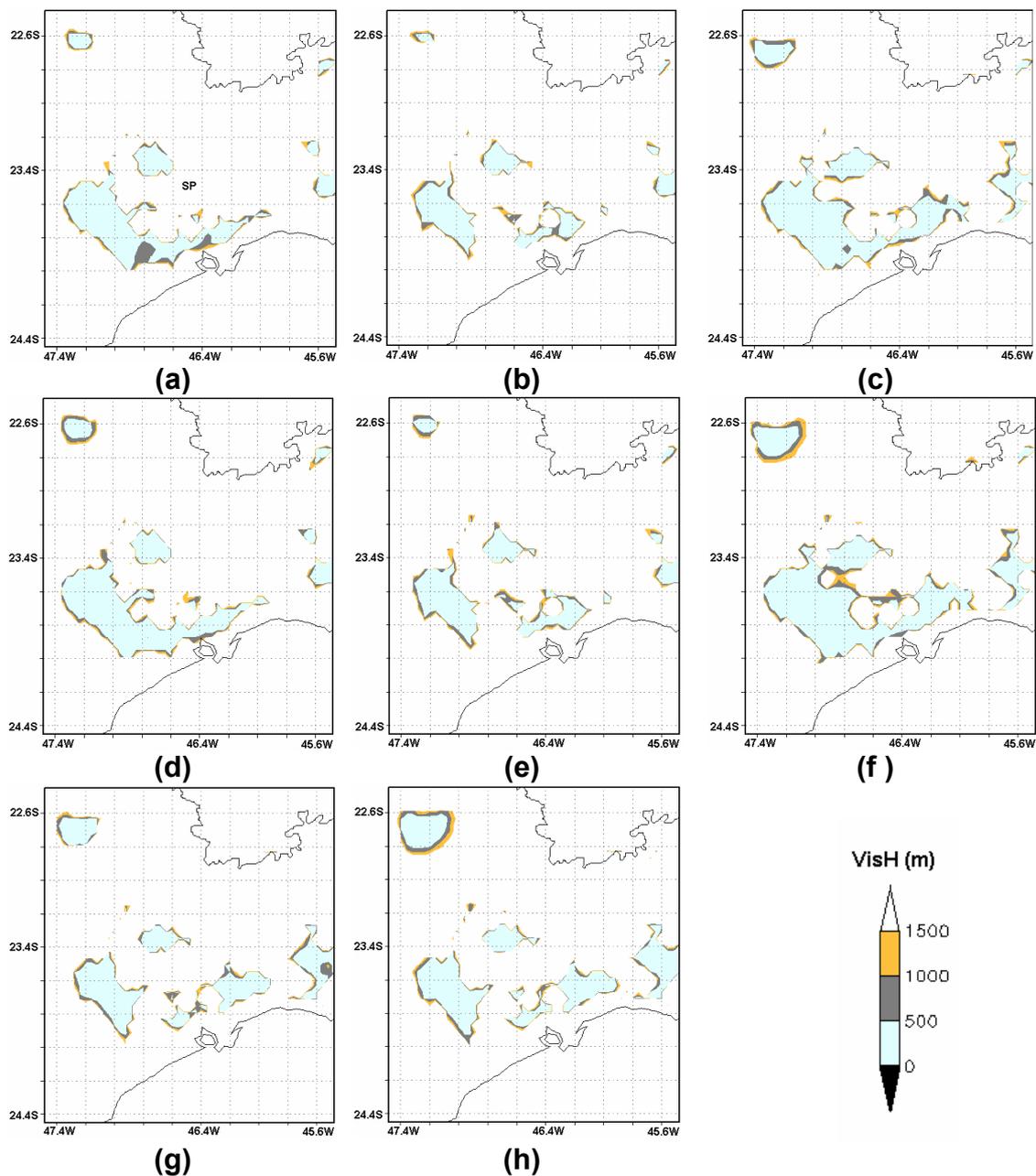


Figura 5.48 – Visibilidade horizontal (m) às 02Z do dia 14 de abril de 2005 para parte do estado de São Paulo centralizada em SP: (a) VisK do E1, (b) VisK do E2, (c) VisK do E3, (d) VisG do E1, (e) VisG do E2, (f) VisG do E3, (g) VisK do E4 e (h) VisG do E4.

Em todos os experimentos tanto a VisK como a VisG indicam que a VisH no aeroporto de SP é superior a 1500 m, como mostra a Figura 5.48, e a observação registrada pelo METAR é de 4000 m às 02Z.

- Caso 15 de agosto de 2005 às 02Z

Os resultados dos experimentos numéricos E1 ao E4 para o dia 15 de agosto de 2005 às 02Z indicam que o modelo Eta detecta áreas com VisH abaixo de 1500 m em todos os experimentos e são aproximadamente similares, excetuando, pequenas diferenças na distribuição espacial. Essas áreas também são, qualitativamente, similares ao do produto de detecção de nevoeiro e stratus por imagens do GOES-12 como podem ser vistos nas Figuras 5.49 e 5.50.

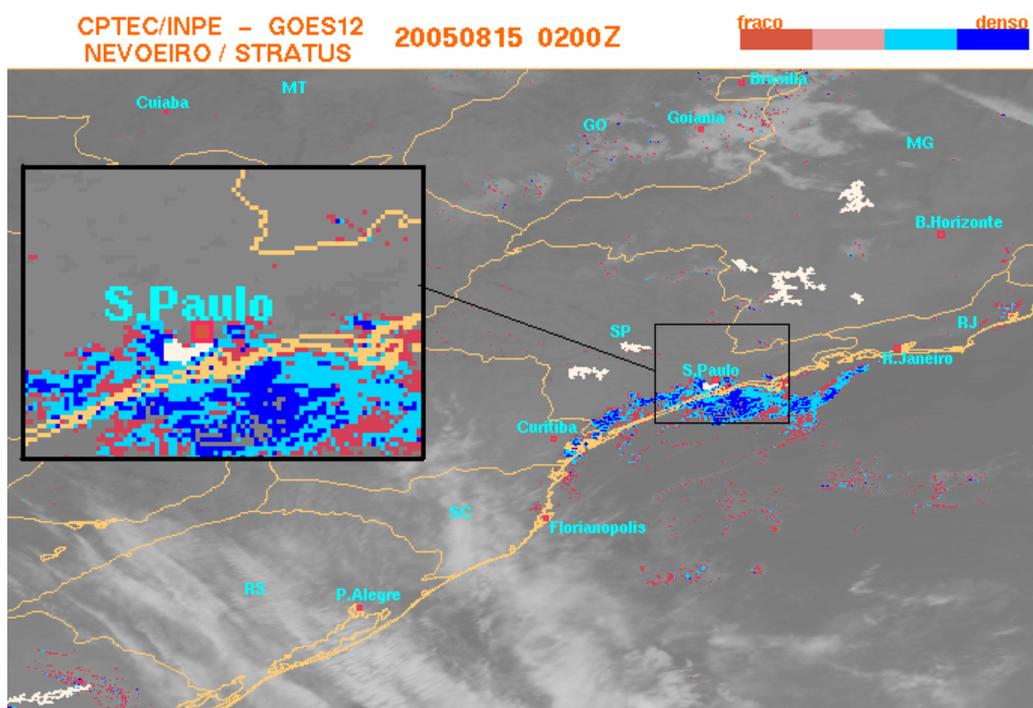


Figura 5.49 - Detecção de nevoeiro e stratus a partir de imagens GOES-12 às 02Z de 15 de agosto de 2005 com ênfase na região de SP.

Fonte: INPE (2005) <http://www.cptec.inpe.br>

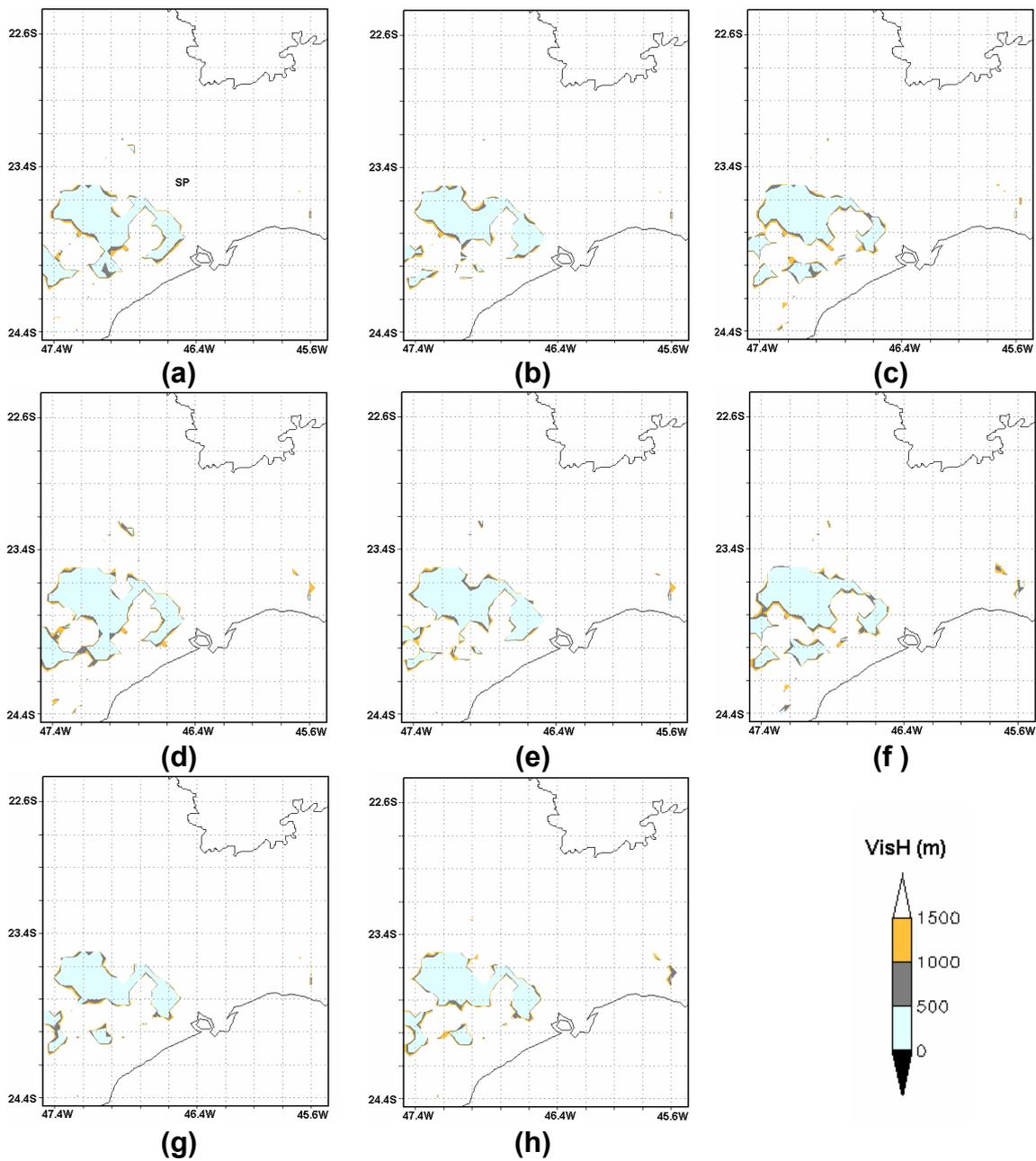


Figura 5.50 – Visibilidade horizontal (m) às 02Z do dia 15 de agosto de 2005 para parte do estado de São Paulo centralizada em SP: (a) VisK do E1, (b) Visk do E2, (c) VisK do E3 , (d) VisG do E1, (e) VisG do E2, (f) VisG do E3, (g) VisK do E4 e (h) VisG do E4

Contudo, neste caso específico, nem o modelo Eta e nem o produto de detecção de nevoeiro e stratus por imagens do GOES-12 é capazes de

detectar, pontualmente, a VisH observada e registrada no METAR das 02Z com valor zero para o aeroporto de SP.

- Caso 04 de outubro de 2005 às 06Z

Os resultados dos experimentos numéricos E1 ao E4 para o dia 04 de outubro de 2005 às 06Z indicam que o modelo Eta detecta áreas com VisH abaixo de 1500 m a nordeste (em todos os experimentos) e sudoeste (em E1 e E3) de SP, enquanto, as imagens do produto de detecção de nevoeiro e stratus por imagens do GOES-12 indica áreas desde SP até o Vale do Paraíba, coerentes com o modelo Eta em relação às áreas localizadas a nordeste de SP, como podem ser vistos nas Figuras 5.51 e 5.52.

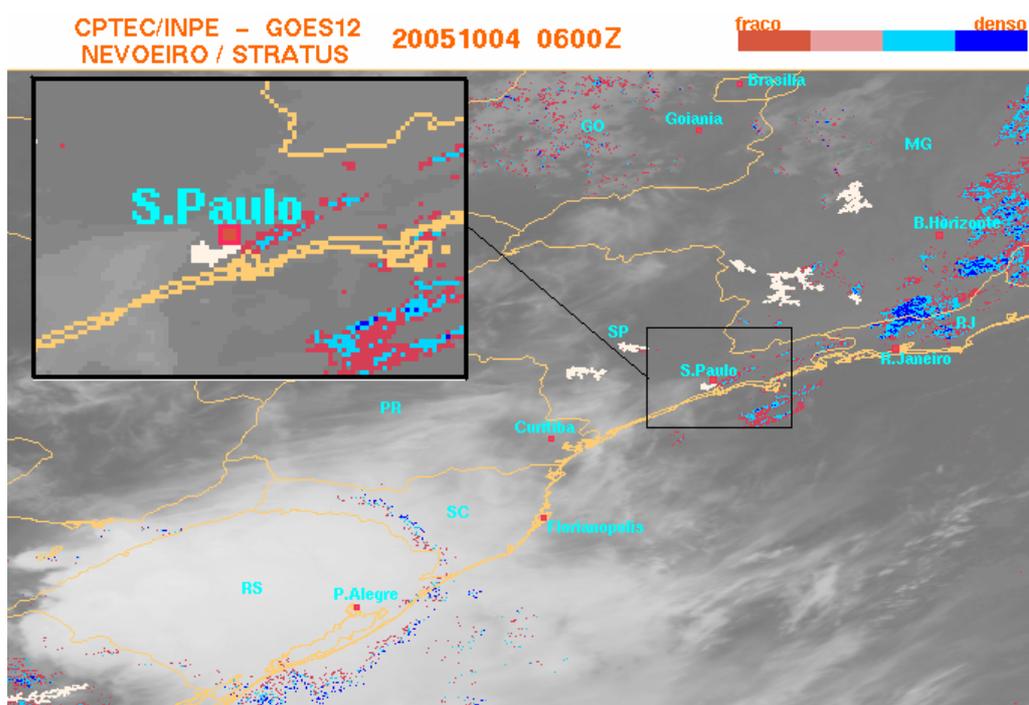


Figura 5.51 - Detecção de nevoeiro e stratus a partir de imagens GOES-12 às 06Z de 4 de outubro de 2005 com ênfase na região de SP. Fonte: INPE (2005) <http://www.cptec.inpe.br>

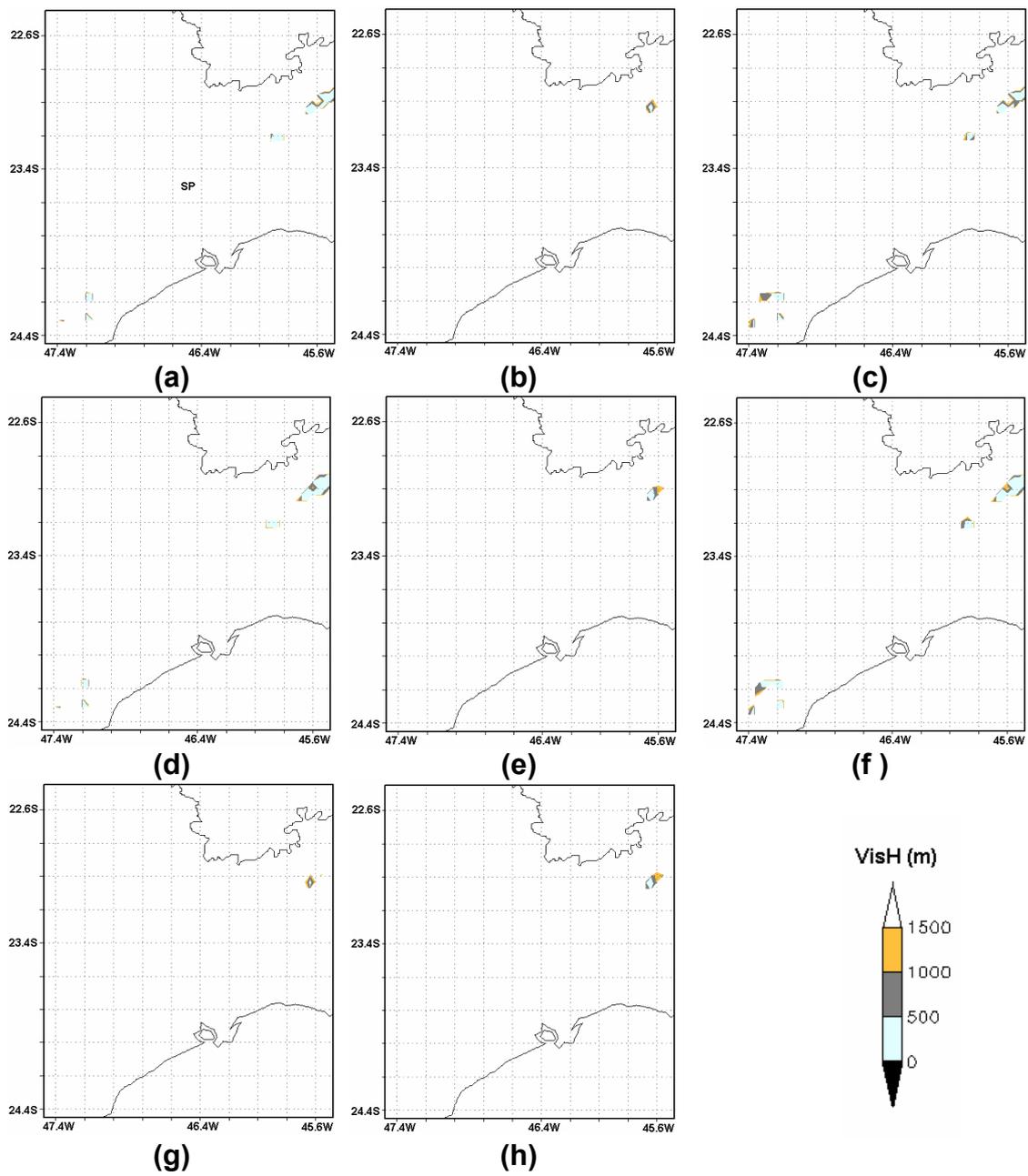


Figura 5.52 - Visibilidade horizontal (m) às 06Z do dia 4 de outubro de 2005 para parte do estado de São Paulo centralizada em SP: (a) VisK do E1, (b) Visk do E2, (c) VisK do E3 , (d) VisG do E1, (e) VisG do E2, (f) VisG do E3, (g) VisK do E4 e (h) VisG do E4.

Neste caso, os resultados que melhor se aproximam, qualitativamente, do produto de detecção de nevoeiro e stratus por imagens do GOES-12 são os do E1 e os do E3. Entretanto, em relação a VisH pontual no aeroporto de SP às 06Z do dia 04 de outubro de 2005 é registrada e observada no METAR com valor de 600 m, enquanto todos os resultados dos experimentos no modelo Eta indicam VisH maior que 1500 m.

### **5.2.2.3 Região do Aeroporto PA**

- Caso 14 de abril de 2005 às 02Z

Os resultados dos experimentos numéricos E1 ao E4, na região do aeroporto de PA e proximidades, indicam que o modelo Eta detecta áreas com valores de VisH abaixo de 1500 m e são similares, em todos os experimentos, excetuando, pequenas diferenças na distribuição espacial das mesmas. As diferenças na distribuição espacial são maiores quando compara-se as duas metodologias de estimativa da VisH. A metodologia da VisG em todos os experimentos é capaz de detectar a formação de áreas com VisH entre 1000 m e 1500 m na Lagoa dos Patos, o que não ocorrem com a metodologia da VisK. Assim, os resultados fornecidos pela VisG estão mais coerentes com as imagens do produto de detecção de nevoeiro e stratus por imagens do GOES-12 como pode ser verificado nas Figuras 5.53 e 5.54.

Neste caso estudado, a VisH pontual do aeroporto de PA observada e registrada no METAR é superior a 8000 m, a qual está de acordo com os resultados do modelo Eta, que indicam VisH superior a 1500 m.

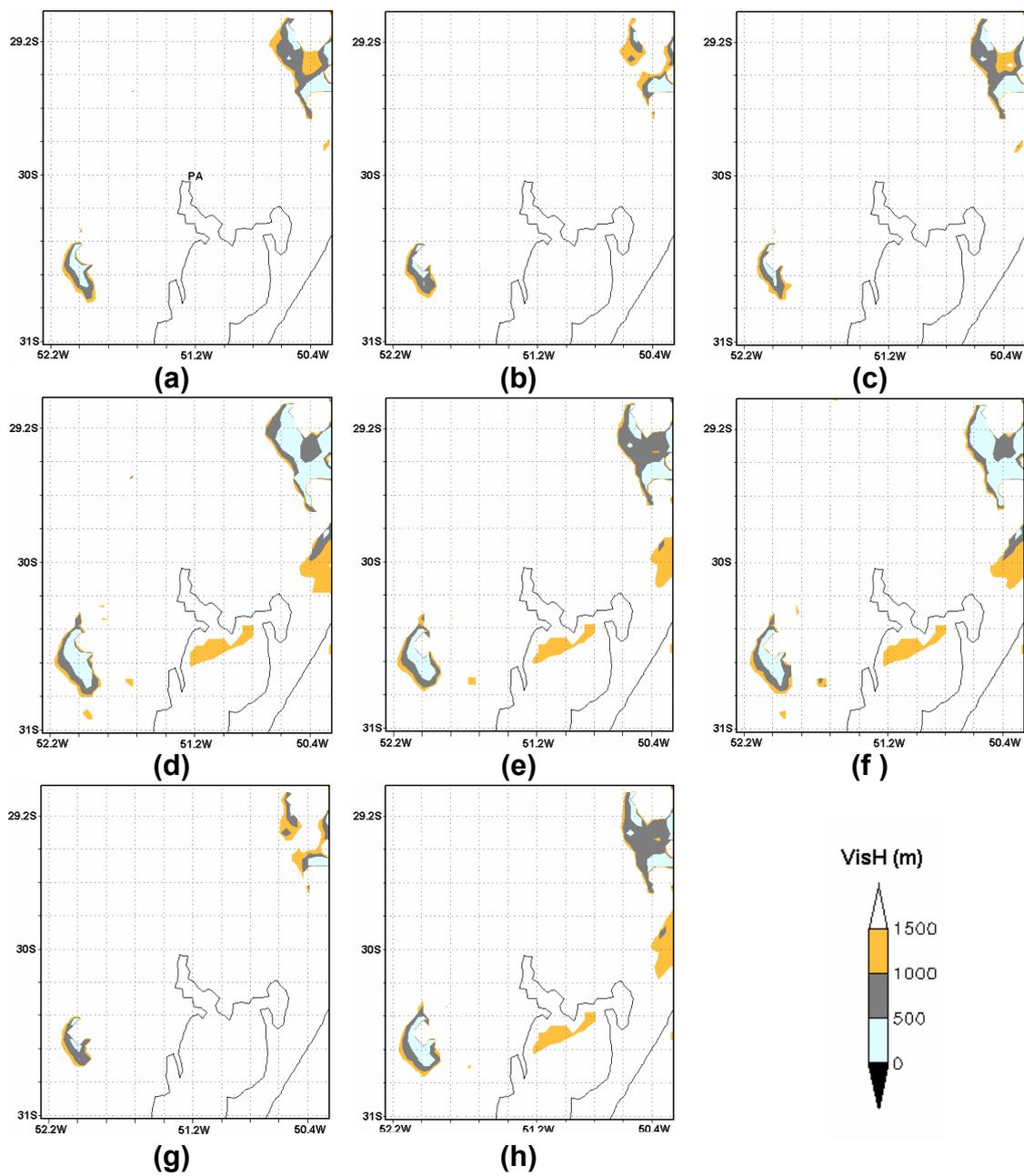


Figura 5.53 - Visibilidade horizontal (m) à 01Z do dia 14 de abril de 2005 para parte do estado do Rio Grande do Sul centralizada em PA: (a) VisK do E1, (b) VisK do E2, (c) VisK do E3, (d) VisG do E1, (e) VisG do E2, (f) VisG do E3, (g) VisK do E4 e (h) VisG do E4.

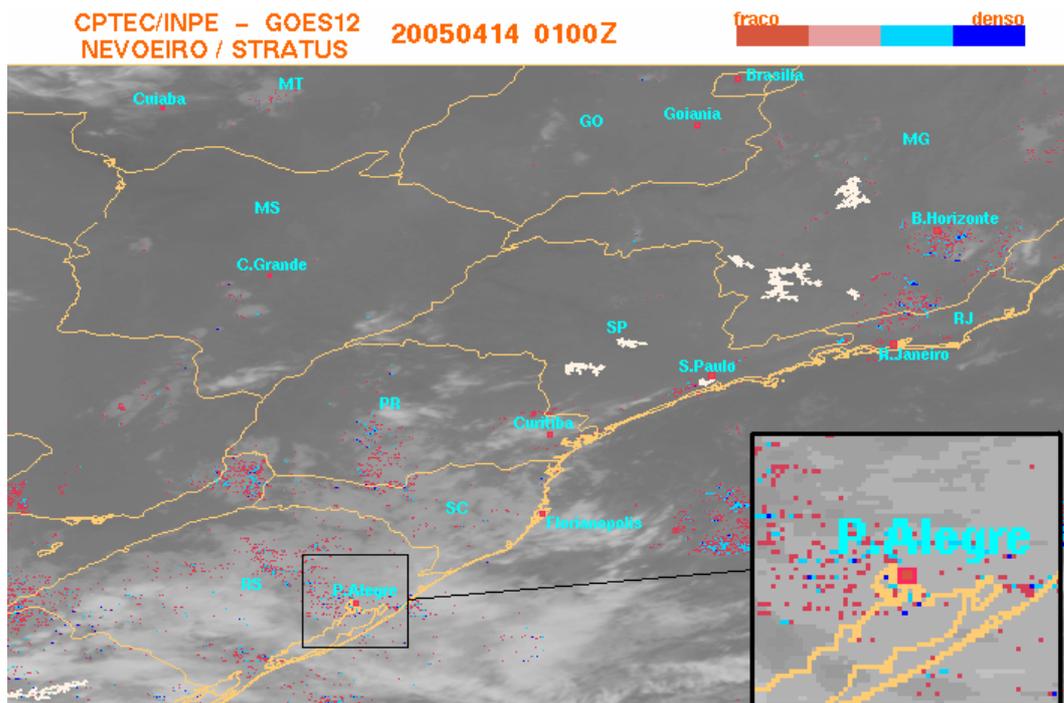


Figura 5.54 - Detecção de nevoeiro e stratus a partir de imagens GOES-12 à 01Z de 14 de abril de 2005 com ênfase na região de PA.

Fonte: INPE (2005) <http://www.cptec.inpe.br>

- Caso 15 de agosto de 2005

Os resultados dos experimentos numéricos E1 ao E4 às 07Z para o dia 15 de agosto de 2005 para a região do aeroporto de PA e o produto de detecção de nevoeiro e stratus por imagens do GOES-12 (Figura 5.55) não detectaram nenhuma área com VisH abaixo de 1500 m ou áreas com nevoeiros/stratus. Contudo, pontualmente é registrada e observada VisH de 5000 m no METAR das 05Z as 09Z para o aeroporto de PA.

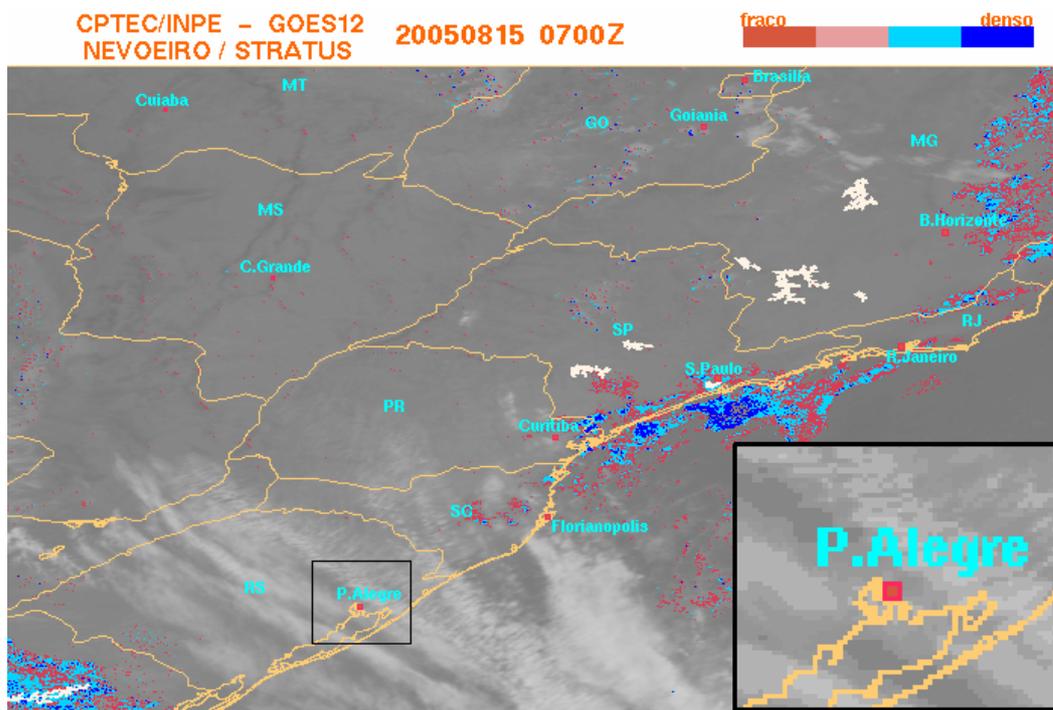


Figura 5.55 - Detecção de nevoeiro e stratus a partir de imagens GOES-12 às 07Z de 15 de agosto de 2005 com ênfase na região de PA.

Fonte: INPE (2005) <http://www.cptec.inpe.br>

- Caso 04 de outubro de 2005 às 08Z

Os resultados dos experimentos numéricos E1 ao E4 para o dia 04 de outubro de 2005 às 08Z indicam que o modelo Eta detecta áreas com valores de VisH abaixo de 1500 m em todo os experimentos numéricos. Essas áreas indicadas são similares, excetuando, pequenas diferenças na distribuição espacial. Em todos os experimentos os resultados indicam a noroeste de PA, áreas com VisH entre 500 m e 1500 m, essas mesmas áreas não são detectadas como nevoeiro/stratus no produto de detecção de nevoeiro e stratus por imagens do GOES-12, como mostram as Figuras 5.56 e 5.57.

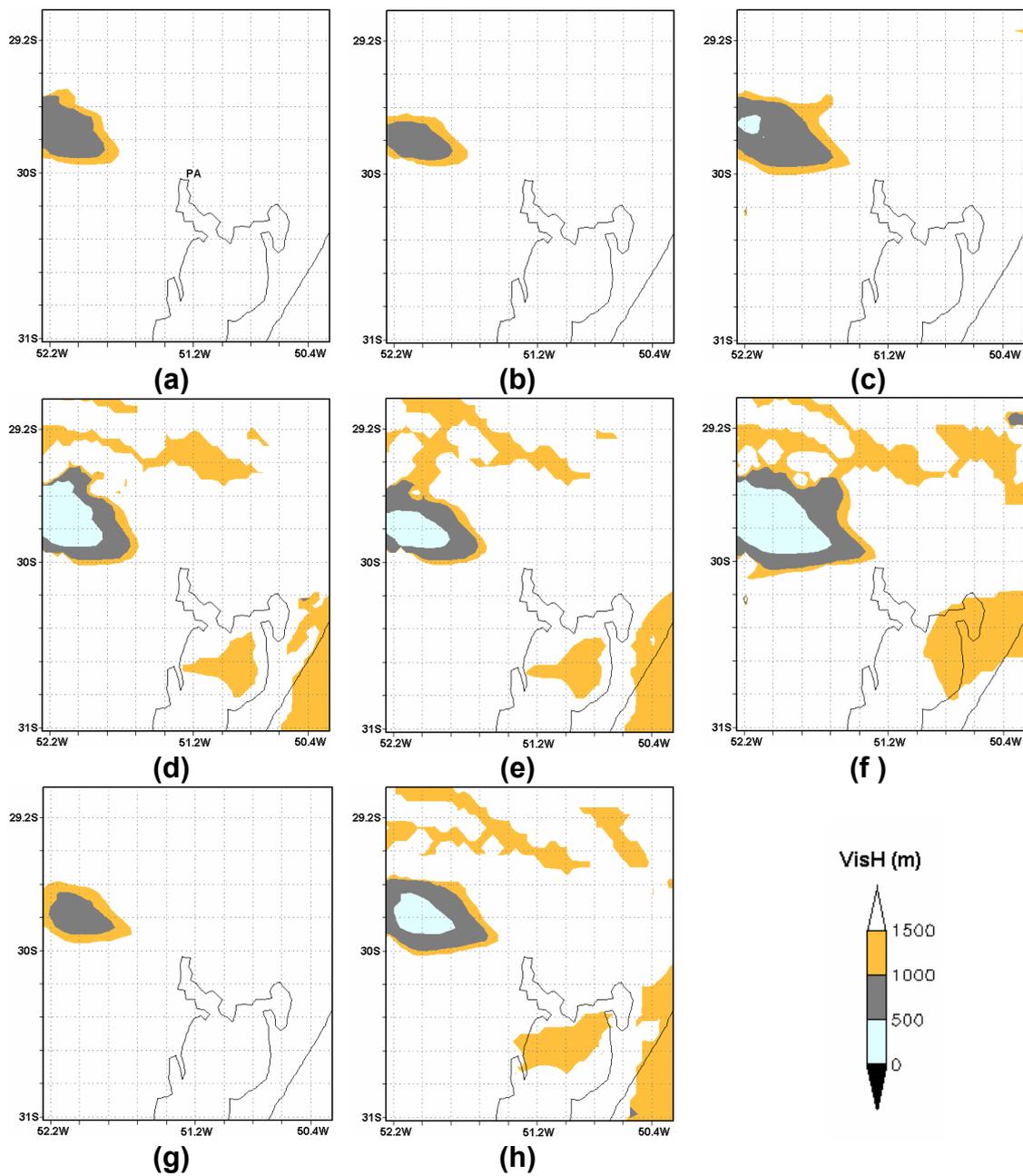


Figura 5.56 - Visibilidade horizontal (m) às 08Z do dia 04 de outubro de 2005 para parte do estado do Rio Grande do Sul centralizada em PA: (a) VisK do E1, (b) Visk do E2, (c) VisK do E3 , (d) VisG do E1, (e) VisG do E2, (f) VisG do E3, (g) VisK do E4 e (h) VisG do E4.

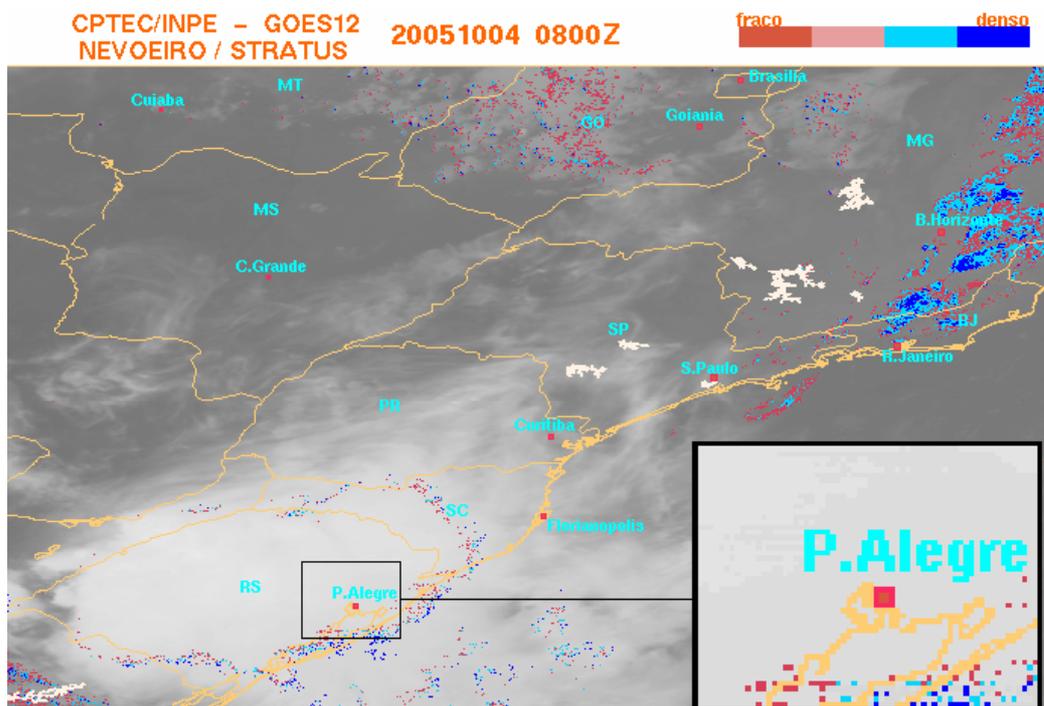


Figura 5.57 - Detecção de nevoeiro e stratus a partir de imagens GOES-12 às 08Z de 04 de outubro de 2005 com ênfase na região de PA.  
Fonte: INPE (2005) <http://www.cptec.inpe.br>

As diferenças na distribuição espacial são maiores quando se comparam as duas metodologias de estimativa da VisH. As áreas de VisG em todo os experimentos é capaz de detectar a formação de áreas com VisH entre 1000 m e 1500 m na Lagoa dos Patos e no litoral, o que não ocorre com as áreas de VisK. Portanto, neste caso, as áreas de VisH indicadas com a metodologia de Gultepe são mais coerentes com as imagens do produto de detecção de nevoeiro e stratus por imagens do GOES-12, como pode ser verificado nas Figuras 5.56 e 5.57. Pontualmente, no aeroporto de PA a VisH observada e registrada no METAR é igual a 5000 m, a qual esta de acordo com os resultados do modelo Eta, os quais indicam VisH superior a 1500 m.

### -Considerações da Seção 5.2.2

Em todos os casos os resultados dos experimentos numéricos E1 ao E4 mostram que a VisG é mais detalhada que a VisK, tal diferença é bem realçada para a região do aeroporto de PA. Nessa região sobre a Lagoa dos Patos, a VisG tem valores de 1000 m a 1500 m, as quais são detectadas pelo produto de detecção de nevoeiro e stratus por imagens do GOES-12 como mostram as Figuras, 5.53, 5.54, 5.56 e 5.57.

Os resultados dos experimentos E2 mostram que ao ajustar o LUR em 2 pontos percentuais – de 98 para 100 % – há uma redução na formação de gotículas, o que provoca redução das áreas com valores de VisH menor que 1500 m e, conseqüentemente, de áreas com nevoeiro e/ou névoa úmida. Os resultados dos experimentos E3 indicam que ao reduzir a umidade do solo em 50 % - em termos de análise regional - há aumento e maior compactação das áreas de cobertura com VisH menor que 1500 m e, conseqüentemente, de áreas com nevoeiro e/ou névoa úmida. Contudo, tal variação não é linear quando se analisa pontualmente, uma vez que há deslocamentos de áreas com VisH menor que 1500 m como mostra a Figura 5.25 na Seção 5.3.

Os resultados dos experimentos E4 mostram que, regionalmente, as áreas com VisH menor que 1500 m, têm características intermediárias entre as do E2 e E3, justificadas uma vez que o E4 é uma combinação do E2 e E3. Contudo, a influência do E2 é maior, como pode ser observado nas Figuras 5.45 e 5.52.

Todos os resultados analisados de forma regional são coerentes com o produto de detecção de nevoeiro e stratus por imagens do GOES-12. Todavia sob o ponto de vista pontual há incoerências entre as observações relatadas no METAR, como por exemplo, no aeroporto de SP às 06Z do dia 04 de outubro de 2005 o modelo Eta indica VisH superior a 1500 m e o METAR indica 600 m. Cabe ressaltar que existem diferenças de representatividade entre os valores observados da VisH nos pontos dos aeroportos e aqueles calculados na área

de grade do modelo Eta com resolução de 4 km. A seguir é apresentado os resultados do FSI para os três casos estudados.

### **5.2.3 Índice de detecção de nevoeiro**

O índice de detecção de nevoeiro, o FSI (descrito no Tópico 3), pode ser utilizado para prever a ocorrências de nevoeiros. Neste trabalho, são apresentados os resultados do FSI de forma regional para parte dos estados do Paraná, Rio Grande do Sul, São Paulo e pontualmente nos aeroportos de CT, SP e PA. Esses resultados são obtidos com modelo Eta (integração da 00Z), o qual fornece os dados das variáveis necessárias para o cálculo do FSI. A verificação pontual é realizada com os dados da radiossondagem das 00Z para os casos dos dias 14 de abril, 15 de agosto e 04 de outubro de 2005. Os dados da radiossondagem são do CPTEC e da Universidade de Wyoming, nos Estados Unidos.

#### **5.2.3.1 FSI na região do Aeroporto CT**

- Caso 14 de abril de 2005

Em termos regionais para o estado do Paraná o FSI indica que na área continental há predominância de áreas com alta probabilidade de ocorrência de nevoeiro ( $FSI < 31$ ) - conforme Tabela 3.1 no Tópico 3 -, em todos os experimentos numéricos. Na área oceânica há predominância de áreas com média probabilidade de ocorrência de nevoeiro ( $31 \leq FSI \leq 55$ ). As diferenças entre os experimentos concentram-se na parte oeste da região em estudo. Em relação ao E1 os resultados indicam que E2 apresenta uma pequena diminuição na área com média probabilidade de ocorrência de nevoeiro, localizada a oeste de CT. Por outro lado, o E3 e E4 em relação ao E1 os

resultados indicam que há um aumento de áreas com média probabilidade de ocorrência de nevoeiro a oeste e a sudoeste de CT, como mostra a Figura 5.58. Com exceção das áreas a oeste de CT, todos os experimentos apresentam resultados, qualitativamente, coerentes com o produto de detecção de nevoeiro e stratus por imagens do GOES-12 dos diversos horários do dia em estudo como mostram as Figuras 5.14, 5.15 5.42 e 5.43.

Em termos pontuais o resultado do FSI observado (radiossondagem) é coerente com os do modelo Eta. Todos os resultados indicam alta probabilidade de ocorrência de nevoeiro (FSI < 31), bem como a observação, como mostra a Tabela 5.3. Os valores das variáveis do E1, que determinam o valor do FSI, em relação aos demais experimentos numéricos apresentam diferenças pequenas. Em relação à temperatura do ar a 2m ( $T_{2m}$  à temperatura do ponto de orvalho a 2m ( $Td_{2m}$ ) e à temperatura do ar em 850 hPa ( $T_{850}$ ) as diferenças estão entre 0, 1 e 0,8 °C, e a velocidade do vento em 850 hPa ( $W_{850}$ ) as diferenças apresentadas são de no máximo de 0,8 kt. Entretanto, quando se comparam os dados da observação com os dos experimentos numéricos observa-se que os valores de  $T_{2m}$  e  $Td_{2m}$  estão subestimados com diferenças de 1,2 a 2,2 °C, bem como a velocidade do vento em 850 hPa também está subestimada em torno de 2 kt. Portanto os resultados dos experimentos numéricos em relação aos dados observados na radiossondagem indicam que há um resfriamento da superfície. Por outro lado, em 850 hPa a  $T_{850}$  e a  $W_{850}$  apresentam resultados coerentes com os dados da radiossondagem.

Tabela 5.3 – FSI do dia 14 de abril de 2005 no aeroporto de CT

	$T_{sfc}$ (°C)	$Td_{sfc}$ (°C)	$T_{850}$ (°C)	$W_{850}$ (kt)	FSI	Probabilidade de ocorrência de nevoeiro
Obs	19,0	18,4	15,0	10,0	19,2	Alta
E1	16,8	16,4	14,8	6,7	11,5	Alta
E2	17,1	16,8	14,7	7,1	12,5	Alta
E3	17,0	16,7	15,3	7,3	11,3	Alta
E4	17,3	17,2	15,2	7,5	11,9	Alta

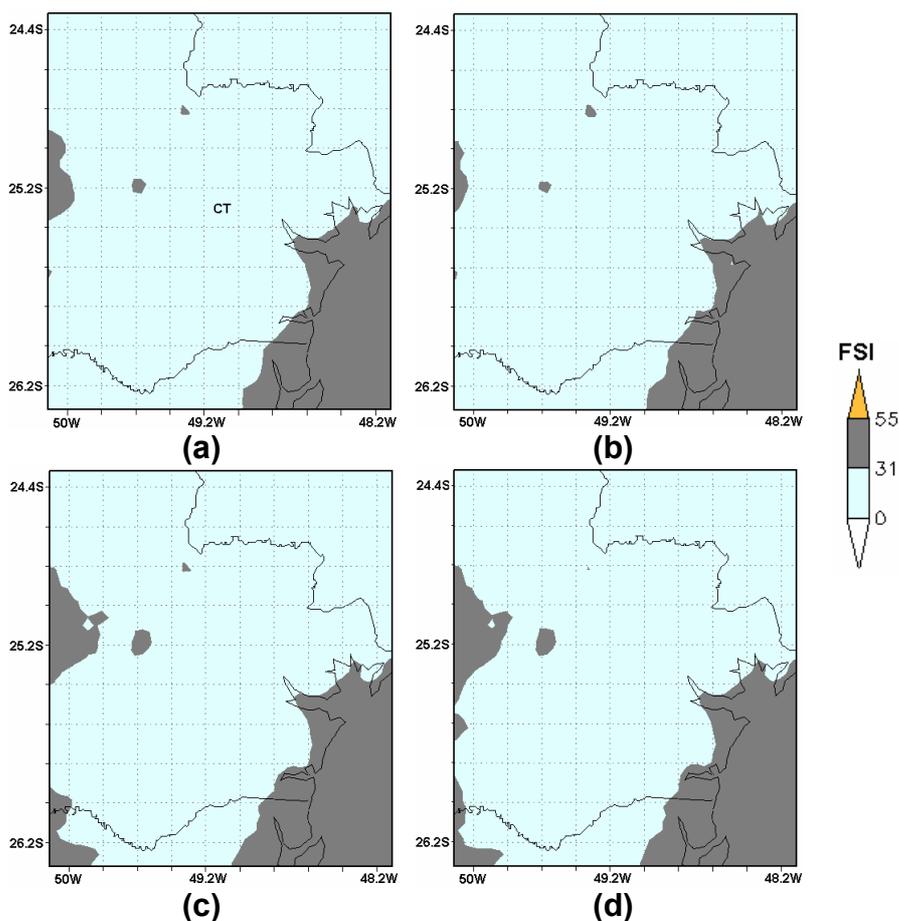


Figura 5.58 – Índice de estabilidade para nevoeiros (FSI) à 00Z do dia 14 de abril de 2005 para parte do estado do Paraná centralizada em CT: (a) E1, (b) E2, (c) E3 e (d) E4.

#### - Caso 15 de agosto de 2005

Como no caso anterior, em termos regionais para o estado do Paraná o FSI indica que na área continental há predominância de áreas com alta probabilidade de ocorrência de nevoeiro ( $FSI < 31$ ) em todos os experimentos numéricos. Na área oceânica há predominância de áreas com média probabilidade de ocorrência de nevoeiro ( $31 \leq FSI \leq 55$ ) como mostra a Figura 5.60. As diferenças entre os experimentos se concentram em uma área a noroeste de CT na região em estudo. Os resultados indicam que áreas de cobertura do FSI do E1 e E2 são semelhantes. Entretanto, o E3 e o E4 em

relação ao E1, os resultados indicam que há um aumento de áreas com média probabilidade de ocorrência de nevoeiro a noroeste de CT. As áreas de cobertura do FSI do E3 e do E4 indicadas pelo modelo são semelhantes. De uma forma geral todos os experimentos apresentam resultados, qualitativamente, coerentes com o produto de detecção de nevoeiro e stratus por imagens do GOES-12 dos diversos horários do dia em estudo sobre o continente. Entretanto, sobre o litoral há ocorrências de nevoeiros e stratus como mostram as Figuras 5.49 e 5.50, no qual os valores do FSI indicam média probabilidade de ocorrência de nevoeiro como mostra a Figura 5.59.

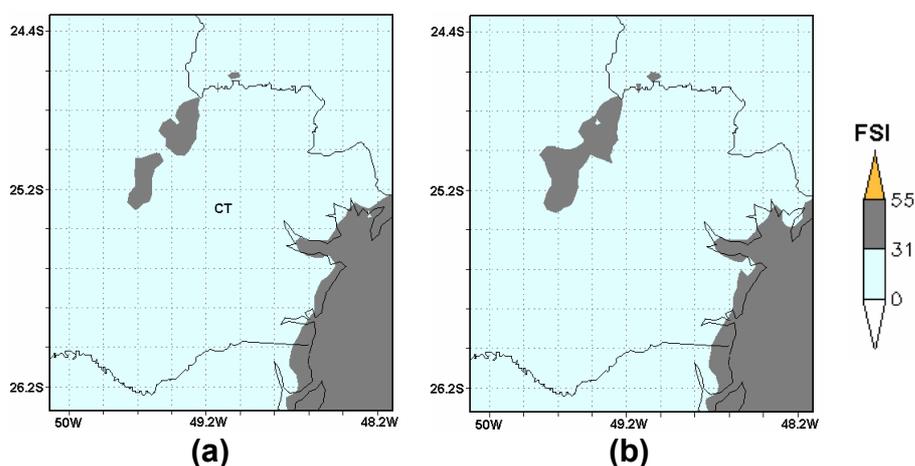


Figura 5.59 – Índice de estabilidade para nevoeiros (FSI) à 00Z do dia 15 de agosto de 2005 para parte do estado do Paraná centralizada em CT: (a) E1 e (b) E3.

Em termos locais, sob ponto de vista pontual, o resultado do FSI observado é coerente com os do modelo Eta. Todos os resultados indicam alta probabilidade de ocorrência de nevoeiro ( $FSI < 31$ ), bem como os da observação como mostra a Tabela 5.4. Os valores das variáveis que determinam o valor do FSI apresentam pequenas diferenças - E1 em relação aos demais experimentos numéricos. Em relação à  $T_{2m}$ ,  $T_{d2m}$  e  $T_{850}$ , as maiores

diferenças são de 0,3 °C e a  $W_{850}$  apresenta o mesmo valor para todos os experimentos numéricos. Entretanto, quando se comparam os dados da observação com os dos experimentos numéricos, observa-se que os valores de  $T_{2m}$  e  $T_{d2m}$  estão superestimados com diferenças de 2,1 a 2,3 °C, como podem ser vistos na Tabela 5.4. Assim, em relação aos dados da observação, os resultados dos experimentos numéricos indicam um aquecimento na superfície e as demais variáveis são coerentes com a observação.

Tabela 5.4 – FSI do dia 15 de agosto de 2005 no aeroporto de CT

	$T_{sfc}$ (°C)	$T_{dsfc}$ (°C)	$T_{850}$ (°C)	$W_{850}$ (kt)	FSI	Probabilidade de ocorrência de nevoeiro
Obs	12,0	11,5	14,0	10,0	7,0	Alta
E1	14,3	13,7	13,9	9,4	11,4	Alta
E2	14,2	13,8	13,8	9,4	11,0	Alta
E3	14,1	13,4	13,6	9,4	11,8	Alta
E4	14,2	13,4	13,6	9,4	12,2	Alta

- Caso 04 de outubro de 2005

Neste caso, em termos regionais para o estado do Paraná o FSI indica que na área continental há predominância de áreas com alta probabilidade de ocorrência de nevoeiro ( $FSI < 31$ ), em todos os experimentos numéricos. Na área oceânica há predominância de áreas com média probabilidade de ocorrência de nevoeiro ( $31 \leq FSI \leq 55$ ). As diferenças entre os experimentos concentram-se na parte oeste e leste de CT, como mostra a Figura 5.60. Em relação ao E1 os resultados regionais indicam que E2 é praticamente igual a E1. Por outro lado, o E3 e E4 em relação ao E1 os resultados indicam que há um aumento de áreas com média probabilidade de ocorrência de nevoeiro na parte oeste da área em estudo e uma diminuição de áreas com média probabilidade de ocorrência de nevoeiro na parte leste, próximo ao litoral. As áreas de cobertura do FSI do E3 e do E4 são praticamente iguais. Portanto, em uma análise regional todos os experimentos, neste caso, apresentam

resultados não coerentes com o produto de detecção de nevoeiro e stratus por imagens do GOES-12 dos diversos horários do dia em estudo, uma vez que este produto não detectou ocorrências de nevoeiros e stratus como mostram as figuras 5.45, 5.46 e 5.60.

Em termos locais (pontual em CT) o resultado do FSI observado é coerente com os do modelo Eta. Todos os resultados indicam alta probabilidade de ocorrência de nevoeiro (FSI < 31), bem como os da observação, como mostra a Tabela 5.5. Os valores das variáveis que determinam o valor do FSI apresentam diferenças pequenas dos resultados do E1 em relação aos demais experimentos numéricos. Em relação à  $T_{2m}$ ,  $Td_{2m}$  e  $T_{850}$  as diferenças não ultrapassam a  $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . A  $W_{850}$  apresenta diferenças que não ultrapassam a  $0,4\text{ kt}$ . Entretanto, quando se comparam os dados da observação com os dos experimentos numéricos, observa-se que os valores de  $T_{2m}$  e  $Td_{2m}$  estão superestimados com diferenças de até  $2,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  e os valores de  $T_{850}$  e  $W_{850}$  estão subestimados em até  $3,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $8,8\text{ kt}$  respectivamente, como podem ser vistos na Tabela 5.5. Assim, observa-se que em relação aos dados observados, os resultados dos experimentos numéricos indicam um aquecimento na superfície e um resfriamento em 850 hPa.

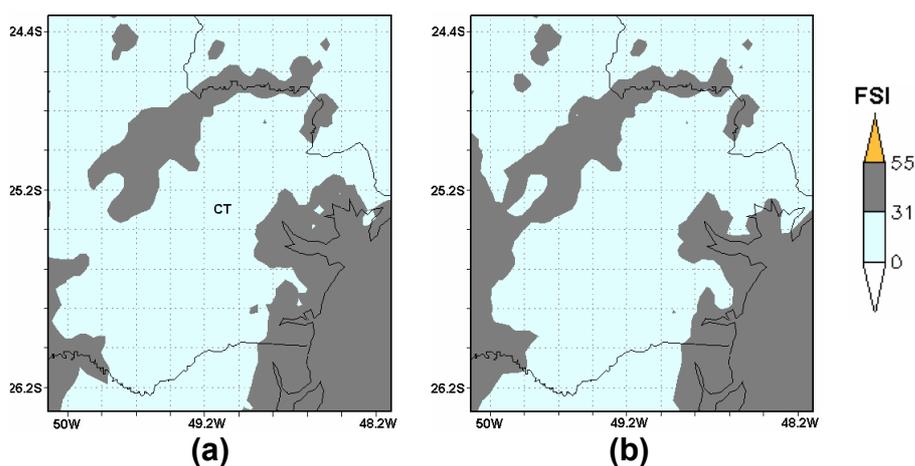


Figura 5.60 – Índice de estabilidade para nevoeiros (FSI) à 00Z do dia 4 de outubro de 2005 para parte do estado do Paraná centralizada em CT: (a) E1 e (b) E3.

Tabela 5.5 – FSI do dia 04 de outubro de 2005 no aeroporto de CT

	T <sub>sfc</sub> (°C)	T <sub>d<sub>sfc</sub></sub> (°C)	T <sub>850</sub> (°C)	W <sub>850</sub> (kt)	FSI	Probabilidade de ocorrência de nevoeiro
Obs	15,5	15,0	18,0	10,0	6,0	Alta
E1	17,7	17,3	14,6	18,8	25,8	Alta
E2	17,6	17,4	14,7	18,8	25,0	Alta
E3	17,6	17,1	15,0	18,4	24,6	Alta
E4	17,5	17,2	15,0	18,6	24,2	Alta

### 5.2.3.2 FSI na região do Aeroporto PA

- Caso 14 de abril de 2005

Os Resultados do FSI de todos os experimentos numéricos indicam que, praticamente, em toda área de estudo do estado do Rio Grande do Sul há média probabilidade de ocorrência de nevoeiro ( $31 \leq \text{FSI} \leq 55$ ). As diferenças entre os experimentos são bem sutis, concentra-se em regiões a nordeste e sudoeste de PA. Nessas regiões os resultados do FSI indicam que há alta probabilidade de ocorrência de nevoeiro ( $\text{FSI} < 31$ ). Em relação ao E1 os resultados dos demais experimentos numéricos indicam similaridade das áreas de probabilidade de ocorrências de nevoeiro na parte continental com pequenas diferenças, como pode ser visto na Figura 5.61. As áreas de FSI com alta probabilidade de ocorrência de nevoeiro são, qualitativamente, coerentes com o produto de detecção de nevoeiro e stratus por imagens do GOES-12 das 06Z, como mostra a Figura 5.44. Entretanto, não é coerente com o das 08Z, no qual são detectadas áreas de nevoeiros e stratus no litoral do estado do Rio Grande do Sul, como mostra a Figura 5.46.

Em termos pontuais os resultados dos experimentos numéricos também são bastante similares. No aeroporto do PA as diferenças em relação ao E1 são pequenas como podem ser vistas na Tabela 5.6. As diferenças da T<sub>2m</sub>, T<sub>d2m</sub> e

$T_{850}$  entre os experimentos numéricos não ultrapassam a  $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a  $W_{850}$  indica diferenças da ordem de  $0,4\text{ kt}$ . Os resultados dos experimentos em PA indicam que em relação à observação há diminuição de até  $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  na  $T_{2m}$ ,  $1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  na  $Td_{2m}$  e  $3,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , na  $T_{850}$  como podem ser vistas na Tabela 5.6. Portanto, os resultados dos experimentos numéricos em relação aos dados observados indicam que há um resfriamento da superfície e em  $850\text{ hPa}$ . Os valores da  $W_{850}$  são coerentes com a observação.

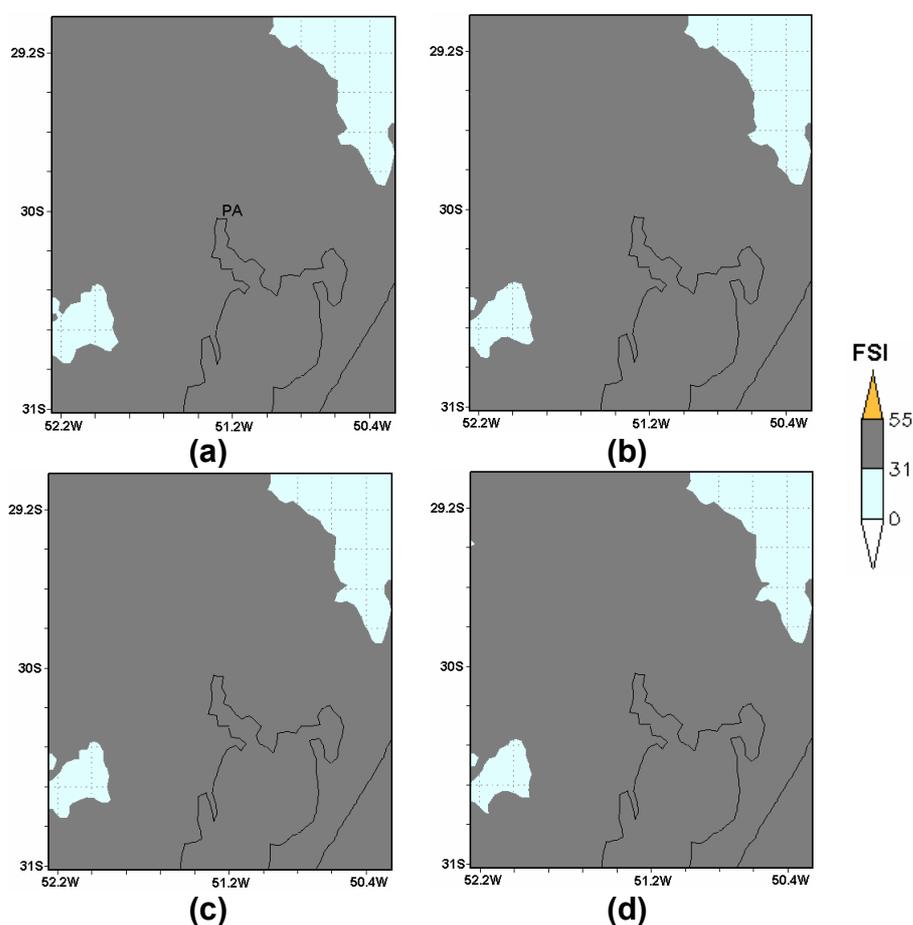


Figura 5.61 – Índice de estabilidade para nevoeiros (FSI) à 00Z do dia 14 de abril de 2005 para parte do estado do Rio Grande do Sul centralizada em PA: (a) E1, (b) E2, (c) E3 e (d) E4.

Tabela 5.6 – FSI do dia 14 de abril de 2005 no aeroporto de PA

	T <sub>sfc</sub> (°C)	T <sub>dsfc</sub> (°C)	T <sub>850</sub> (°C)	W <sub>850</sub> (kt)	FSI	Probabilidade de ocorrência de nevoeiro
Obs	21,4	19,9	16,4	23,0	36,0	Média
E1	20,8	18,7	12,6	21,6	42,2	Média
E2	20,9	18,8	12,6	21,2	42,0	Média
E3	20,9	18,7	12,6	21,6	42,6	Média
E4	21,0	18,7	12,6	21,6	43,0	Média

- Caso 15 de agosto de 2005

Os resultados dos experimentos numéricos no caso estudado indicam que, regionalmente, há áreas com média e alta probabilidade de ocorrência de nevoeiro no dia 15 de agosto para a área de estudo do estado do Rio Grande do Sul. Os resultados dos experimentos E1 são idênticos aos do E2, nestes há predominância das áreas com alta probabilidade de ocorrência de nevoeiro (FSI < 31). Os resultados do FSI no E3 indicam que a um aumento das áreas com média probabilidade de ocorrência de nevoeiro ( $31 \leq \text{FSI} \leq 55$ ) na parte oeste da região em estudo e um aumento das áreas com alta probabilidade de ocorrência de nevoeiro (FSI < 31) na Lagoa dos Patos e litoral do Rio Grande do Sul, em relação aos resultados do E1. Tanto que os resultados do FSI no E4 indicam que há um aumento das áreas com média probabilidade de ocorrência de nevoeiro ( $31 \leq \text{FSI} \leq 55$ ) na parte oeste de PA em relação aos resultados do E1, como mostra a Figura 5.62. As áreas de cobertura do FSI indicadas por todos os experimentos, neste caso, não são coerentes com o produto de detecção de nevoeiro e stratus por imagens do GOES-12 dos diversos horários do dia em estudo, pois, o produto de satélite não detecta formação de nevoeiro ou stratus, como pode ser observado nas Figuras 5.44, 5.49 e 5.55.

Em termos pontuais, o resultado do FSI observado (calculado com a radiossondagem) não é coerente com os do modelo Eta. Neste caso os resultados dos experimentos indicam média probabilidade de ocorrência de

nevoeiro ( $31 \leq \text{FSI} \leq 55$ ), enquanto a observação indica alta probabilidade de ocorrência de nevoeiro ( $\text{FSI} < 31$ ) como mostra a Tabela 5.7.

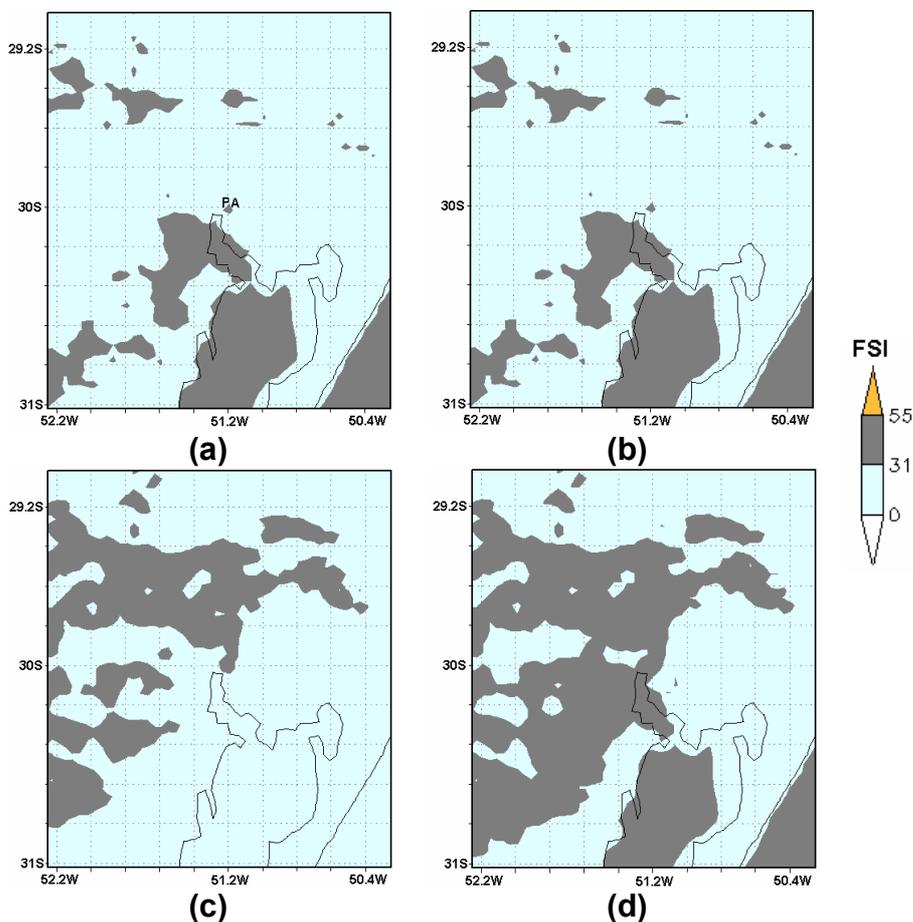


Figura 5.62 – Índice de estabilidade para nevoeiros (FSI) à 00Z do dia 15 de agosto de 2005 para parte do estado do Rio Grande do Sul centralizada em PA: (a) E1, (b) E2, (c) E3 e (d) E4.

Tabela 5.7 – FSI do dia 15 de agosto de 2005 no aeroporto de PA

	T <sub>sfc</sub> (°C)	T <sub>dsfc</sub> (°C)	T <sub>850</sub> (°C)	W <sub>850</sub> (kt)	FSI	Probabilidade de ocorrência de nevoeiro
Obs	18,0	15,8	12,8	15,0	29,8	Alta
E1	20,2	15,3	13,8	16,1	38,7	Média
E2	20,2	15,3	13,8	16,1	38,7	Média
E3	19,3	12,5	13,9	15,7	40,1	Média
E4	20,6	13,8	13,8	15,7	42,9	Média

Os valores das variáveis que determinam o valor do FSI apresentam diferenças pequenas do E1 em relação aos demais experimentos numéricos. As maiores diferenças são do E3 em relação ao E1 em que a  $T_{2m}$  apresenta diferença de  $0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $Td_{2m}$  de  $2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Entretanto, quando se realiza a verificação entre a observação e os resultados dos experimentos numéricos, observa-se que os valores de  $T_{2m}$ ,  $Td_{2m}$  e  $T_{850}$  dos experimentos estão superestimados com diferenças de  $0,5$  até  $2,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , como podem ser vistos na Tabela 5.7. Assim, em relação aos dados da observação os resultados dos experimentos numéricos indicam um aquecimento em  $850\text{ hPa}$  e um aquecimento com menor quantidade de umidade na superfície, pois, há aumento da diferença entre  $Td_{2m}$  e  $T_{2m}$ , com superestimativa em  $T_{2m}$  (entre  $1,3$  e  $2,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) e subestimativa em  $Td_{2m}$  (entre  $0,5$  e  $1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

- Caso 04 de outubro de 2005

Os resultados dos experimentos numéricos para o caso em pauta indicam que há uma predominância das áreas com média probabilidade de ocorrência de nevoeiro ( $31 \leq \text{FSI} \leq 55$ ) em toda a área de estudo do estado do Rio Grande do Sul. Os resultados dos experimentos, quanto às áreas do FSI, se diferenciam nas regiões a nordeste e a sudoeste ( $\text{FSI} < 31$ ) e ao sul ( $55 < \text{FSI}$ ) de PA. Em relação ao E1, os resultados do E2 indicam uma diminuição da área com alta probabilidade de ocorrência de nevoeiro ( $\text{FSI} < 31$ ) a nordeste PA. Para essa mesma região os resultados do E3 e E4 indicam um aumento da área com alta probabilidade de ocorrência de nevoeiro ( $\text{FSI} < 31$ ). Na região da Lagoa dos Patos o FSI indica áreas com baixa probabilidade de ocorrência de nevoeiro ( $55 < \text{FSI}$ ) em todos os experimentos numéricos, a única exceção é o E3, no qual o FSI indica áreas com média probabilidade de ocorrência de nevoeiro ( $31 \leq \text{FSI} \leq 55$ ), como pode ser visto na Figura 5.63. As regiões que o FSI indica como áreas com probabilidades média e baixa de ocorrências de nevoeiro são coerentes, qualitativamente, com o produto de detecção de nevoeiro e stratus por imagens do GOES-12 das 06Z e 08Z como mostram as

Figuras 5.51e 5.57, pois, neste horário o produto de satélite não detecta nenhuma área com nevoeiro na região em estudo.

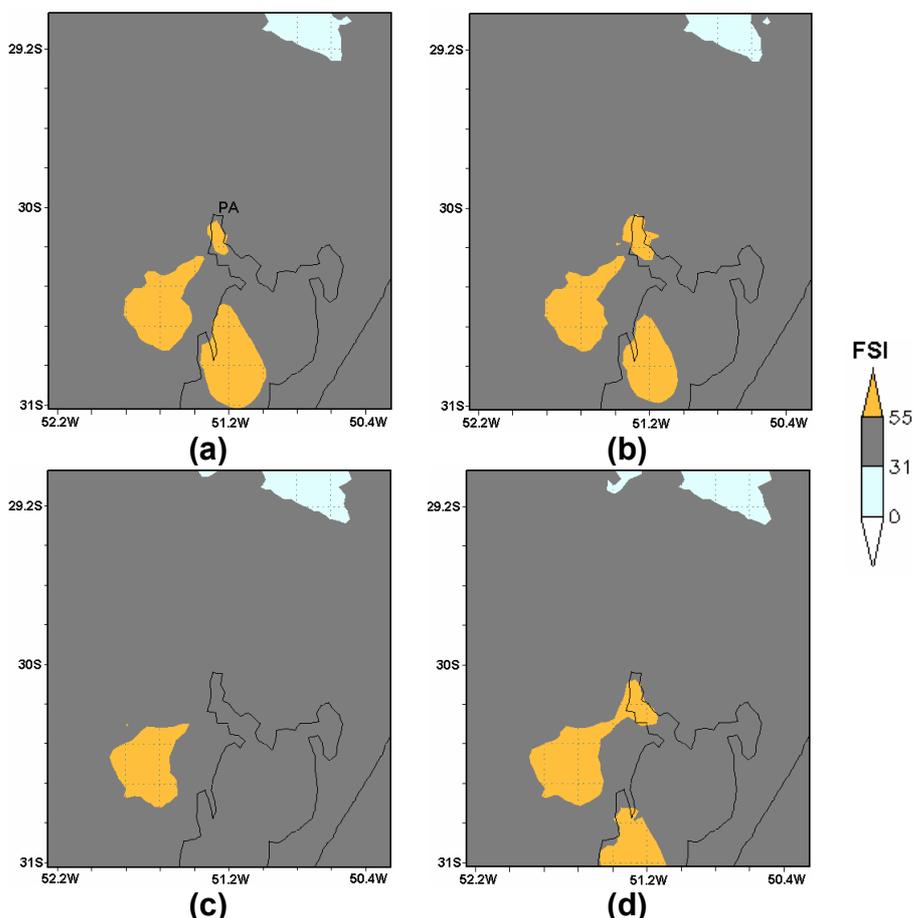


Figura 5.63 – Índice de estabilidade para nevoeiros (FSI) à 00Z do dia 04 de outubro de 2005 para parte do estado do Rio Grande do Sul centralizada em PA: (a) E1, (b) E2, (c) E3 e (d) E4.

Em termos pontuais os resultados do FSI dos experimentos numéricos são coerentes com o FSI da observação, pois, todos indicam que o aeroporto de PA tem média probabilidade de ocorrência de nevoeiro ( $31 \leq \text{FSI} \leq 55$ ) como mostra a Tabela 5.8. Os valores das variáveis que determinam o valor do FSI apresentam diferenças pequenas do E1 em relação aos demais experimentos, com exceção do vento em E4 que apresenta uma diminuição de 3,9 kt em

relação ao E1 e a  $T_{2m}$  do E3 que apresenta uma diminuição de 1,9 °C em relação ao E1. Entretanto, quando se realiza a verificação entre a observação e os resultados dos experimentos numéricos, observa-se que os valores de  $T_{2m}$ ,  $T_{d2m}$  e  $T_{850}$  dos experimentos estão superestimados com diferenças de 1,3 até 1,4 °C, exceto a  $T_{2m}$  do E3 que é subestimada em 0,6 °C como pode ser visto na Tabela 5.8. Assim, em relação aos dados da observação os resultados dos experimentos numéricos E1, E2 e E4 indicam um resfriamento em 850 hPa e um aquecimento com menor quantidade de umidade na superfície, uma vez que há aumento da diferença entre  $T_{d2m}$  e  $T_{2m}$ . Enquanto no E3 indicam um resfriamento na superfície e em 850 hPa.

Tabela 5.8 – FSI do dia 04 de outubro de 2005 no aeroporto de PA

	$T_{sfc}$ (°C)	$T_{dsfc}$ (°C)	$T_{850}$ (°C)	$W_{850}$ (kt)	FSI	Probabilidade de ocorrência de nevoeiro
Obs	23,4	20,2	19,2	18,0	32,8	Média
E1	24,7	20,8	12,8	21,6	53,2	Média
E2	24,9	20,6	12,7	20,8	53,8	Média
E3	22,8	20,8	12,6	21,4	45,8	Média
E4	24,8	20,3	12,4	17,7	51,5	Média

### 5.2.3.3 FSI na região do Aeroporto SP

- Caso 14 de abril de 2005

Os resultados do FSI de todos os experimentos numéricos, neste caso, indicam que há predominância em toda área de estudo do estado de São Paulo de alta probabilidade de ocorrência de nevoeiro ( $FSI < 31$ ). As diferenças entre os experimentos estão localizadas nas regiões a nordeste, noroeste de SP e litoral do estado de São Paulo. Nessas regiões os resultados do FSI indicam que há média probabilidade de ocorrência de nevoeiro ( $31 \leq FSI \leq 55$ ). Em relação ao E1 os resultados do FSI do E2 indicam que há uma diminuição das áreas com média probabilidade de ocorrência de nevoeiro ( $31 \leq FSI \leq 55$ ) nas regiões a

nordeste e noroeste de SP. Nessas mesmas regiões no E3 e E4, os resultados do FSI indicam que há um aumento das áreas com média probabilidade de ocorrência de nevoeiro ( $31 \leq \text{FSI} \leq 55$ ) em relação ao E1, sendo este aumento maior em E3 do que em E4, como pode ser visto na Figura 5.64. As áreas do FSI com alta probabilidade de ocorrência de nevoeiro são, qualitativamente, coerentes com o produto de detecção de nevoeiro e stratus por imagens do GOES-12 de diversos horários, uma vez que este detecta as ocorrências de nevoeiro e stratus nas regiões a nordeste e sudoeste de SP como mostram as Figuras 5.15, 5.42, 5.47 e 5.54.

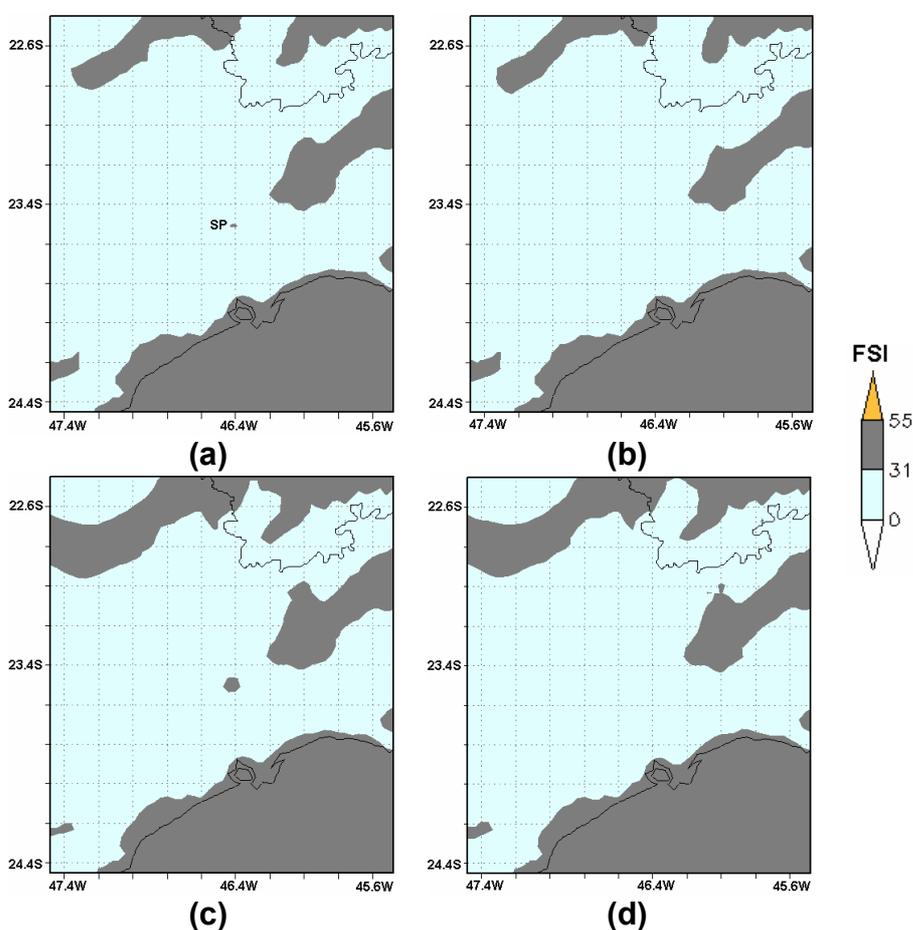


Figura 5.64 – Índice de estabilidade para nevoeiros (FSI) à 00Z do dia 14 de abril de 2005 para parte do estado de São Paulo centralizada em SP: (a) E1, (b) E2, (c) E3 e (d) E4.

Em uma análise pontual os resultados dos experimentos numéricos são bastante similares. Os resultados dos FSI de todos os experimentos numéricos indicam que o aeroporto de SP tem alta probabilidade de ocorrência de nevoeiro ( $FSI < 31$ ). Os valores das variáveis que determinam o valor do FSI apresentam diferenças pequenas do E1 em relação aos demais experimentos, com exceção do  $W_{850}$  que apresenta diferenças de 0,4 até 3,5 kt entre o E1 e os demais experimentos. Entretanto, o FSI da observação (radiossondagem) indica média probabilidade de ocorrência de nevoeiro ( $31 \leq FSI \leq 55$ ) para esse mesmo aeroporto. Em relação à observação os resultados dos experimentos superestimam a  $T_{850}$  em até 1,9 °C e subestimam a  $T_{2m}$  em até 3,5 °C e a  $W_{850}$  em até 9,2 kt. Os resultados dos experimentos em SP indicam que em relação à observação há resfriamento na superfície e em 850 hPa como podem ser vistas na Tabela 5.9, bem como um aumento na umidade relativa na superfície, uma vez que as diferenças entre  $T_{2m}$  e a  $Td_{2m}$  são menores que o da observação.

Tabela 5.9 – FSI do dia 14 de abril de 2005 no aeroporto de SP

	$T_{sfc}$ (°C)	$Td_{sfc}$ (°C)	$T_{850}$ (°C)	$W_{850}$ (kt)	FSI	Probabilidade de ocorrência de nevoeiro
Obs	22,6	16,6	17,0	21,0	44,2	Média
E1	19,4	18,4	14,6	12,2	23,8	Alta
E2	19,3	18,5	14,6	11,8	22,8	Alta
E3	19,1	18,2	14,5	15,7	26,7	Alta
E4	19,1	18,2	14,8	13,7	24,1	Alta

#### - Caso 15 de agosto de 2005

Os resultados do FSI de todos os experimentos numéricos, neste caso, indicam, regionalmente, que há predominância em toda área de estudo do estado de São Paulo de alta probabilidade de ocorrência de nevoeiro ( $FSI < 31$ ). As diferenças entre os experimentos estão localizadas nas regiões a nordeste e noroeste de SP. Nessas regiões os resultados do FSI indicam que há média probabilidade de ocorrência de nevoeiro ( $31 \leq FSI \leq 55$ ). Em relação

ao E1, os resultados do FSI do E2, E3 e E4 indicam que há um aumento das áreas com média probabilidade de ocorrência de nevoeiro ( $31 \leq \text{FSI} \leq 55$ ) nas regiões litorâneas, a noroeste e nordeste de SP, sendo este aumento maior (ordem crescente) em E2, E3 e E4 como pode ser visto na Figura 5.65.

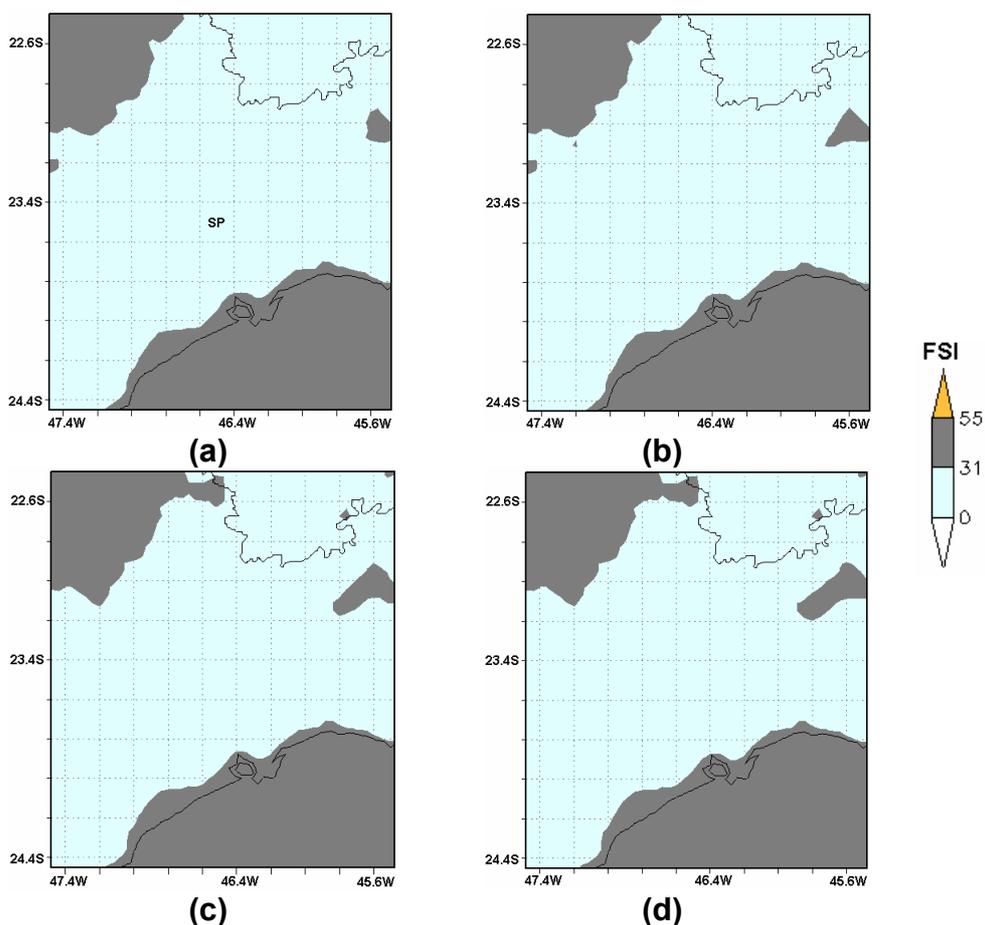


Figura 5.65 – Índice de estabilidade para nevoeiros (FSI) à 00Z do dia 15 de agosto de 2005 para parte do estado de São Paulo centralizada em SP: (a) E1, (b) E2, (c) E3 e (d) E4.

As áreas de FSI com alta probabilidade de ocorrência de nevoeiro são, qualitativamente, coerentes com o produto de detecção de nevoeiro e stratus por imagens do GOES-12 de diversos horários, uma vez que este detecta as ocorrências de nevoeiro e stratus nas regiões a nordeste e sudeste de SP, como mostram as Figuras 5.44, 5.49 e 5.55, com a ressalva que este produto

também detecta nevoeiros e stratus no litoral, região que o FSI indica como área de média probabilidade de ocorrência de nevoeiro ( $31 \leq \text{FSI} \leq 55$ ).

Em uma análise pontual os resultados dos experimentos numéricos são bastante similares. Os resultados dos FSI de todos os experimentos numéricos indicam que o aeroporto de SP tem alta probabilidade de ocorrência de nevoeiro ( $\text{FSI} < 31$ ) coerente com o FSI observado que indica o mesmo. Os valores das variáveis que determinam o valor do FSI apresentam diferenças pequenas do E1 em relação aos demais experimentos. Em relação à observação os resultados dos experimentos superestimam a  $T_{d2m}$  em até 4,4 °C e subestimam a  $T_{2m}$  em 0,9 °C, e a  $T_{850}$  em 5,7 °C. A  $W_{850}$  dos experimentos numéricos são coerentes com a observação. Assim, os resultados dos experimentos em SP, neste caso, indicam que em relação aos dados da observação há resfriamento na superfície e em 850 hPa como mostra a Tabela 5.10, bem como um aumento na umidade relativa na superfície, uma vez que as diferenças entre  $T_{2m}$  e a  $T_{d2m}$  são menores que o da observação.

Tabela 5.10 – FSI do dia 13 de agosto de 2005 no aeroporto de SP

	$T_{sfc}$ (°C)	$T_{dsfc}$ (°C)	$T_{850}$ (°C)	$W_{850}$ (kt)	FSI	Probabilidade de ocorrência de nevoeiro
Obs	19,0	13,0	18,6	6,0	18,8	Alta
E1	18,1	17,4	12,9	5,9	17,7	Alta
E2	18,1	17,4	12,9	5,9	17,7	Alta
E3	18,1	17,1	13,1	5,9	17,9	Alta
E4	18,1	17,1	13,2	6,3	18,1	Alta

#### - Caso 04 de outubro de 2005

Os resultados do FSI de todos os experimentos numéricos, neste caso, indicam que há predominância em toda área de estudo do estado de São Paulo de média probabilidade de ocorrência de nevoeiro ( $31 \leq \text{FSI} \leq 55$ ). As diferenças entre os experimentos estão localizadas nas regiões paralelas ao litoral paulista (faixa de nordeste a sudoeste abrangendo desde o Vale do Paraíba até o Vale do Ribeira). Nessas regiões os resultados do FSI indicam que há alta

probabilidade de ocorrência de nevoeiro (FSI < 31). Em relação ao E1 os resultados do FSI do E2, E3 e E4 indicam que há um aumento das áreas com média probabilidade de ocorrência de nevoeiro ( $31 \leq \text{FSI} \leq 55$ ) na região paralela ao litoral paulista, sendo este aumento maior (ordem crescente) em E2, E4 e E3 como podem ser vistos na Figura 5.66. As áreas de cobertura com alta probabilidade de ocorrência de nevoeiro são, qualitativamente, coerentes com o produto de detecção de nevoeiro e stratus por imagens do GOES-12 de diversos horários, uma vez que este detecta as ocorrências de nevoeiro e stratus nas regiões dos vales do Paraíba e do Ribeira, como mostram as Figuras 5.46, 5.51 e 5.57.

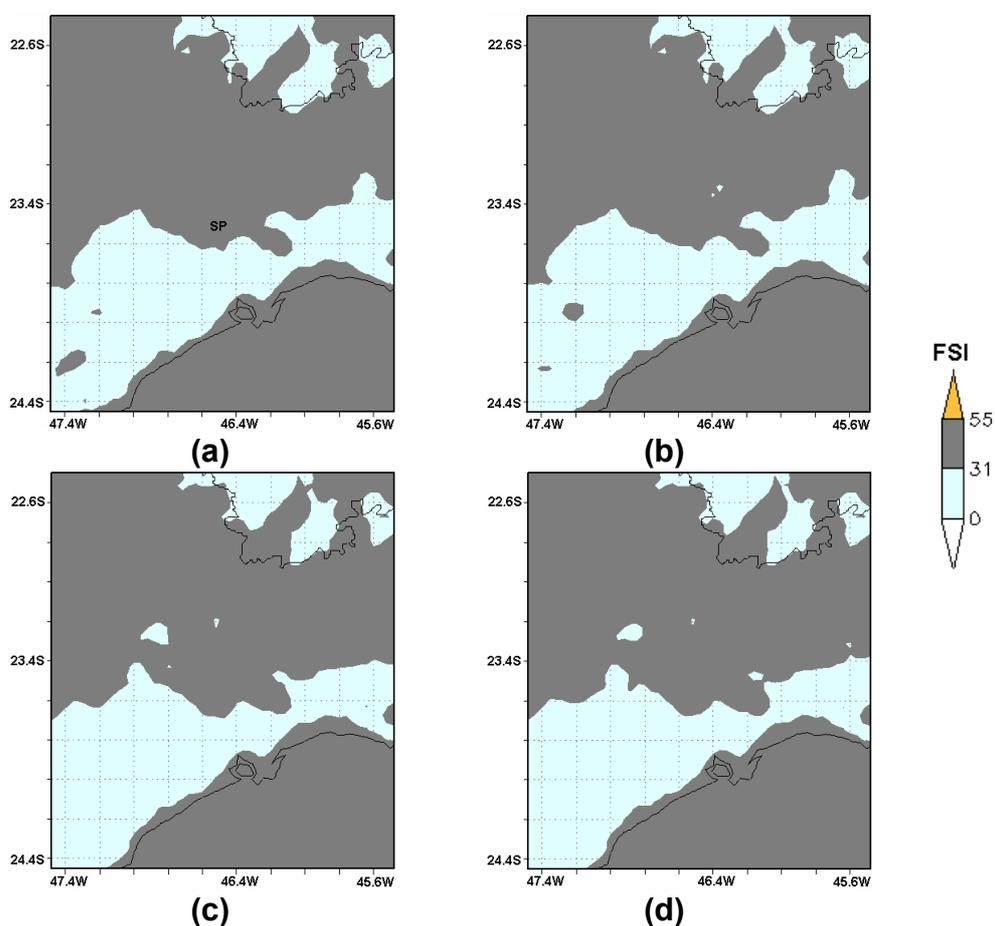


Figura 5.66 – Índice de estabilidade para nevoeiros (FSI) as 00Z do dia 4 de outubro de 2005 para parte do estado de São Paulo centralizada em SP: (a) E1, (b) E2, (c) E3 e (d) E4.

Em uma análise pontual os resultados dos experimentos numéricos são bastante similares. Os resultados do FSI de todos os experimentos numéricos indicam que o aeroporto de SP tem média probabilidade de ocorrência de nevoeiro ( $31 \leq \text{FSI} \leq 55$ ), a qual não está coerente com o FSI observado nos dados da radiossondagem, pois, este indica alta probabilidade de ocorrência de nevoeiro ( $\text{FSI} < 31$ ). Os valores das variáveis que determinam o valor do FSI apresentam diferenças pequenas do E1 em relação aos demais experimentos, exceto, em relação aos experimentos E3 e E4 que apresentam diferenças na  $T_{d2m}$  em até  $1,1\text{ }^\circ\text{C}$ . Em relação à observação, os resultados dos experimentos na superfície são coerentes. Entretanto, em relação ao nível de 850 hPa os experimentos numéricos subestimam a  $T_{850}$  em até  $3,7\text{ }^\circ\text{C}$ . Assim, os resultados dos experimentos em SP, neste caso, indicam que em relação à observação há pequeno aquecimento na superfície e um resfriamento em 850, como mostra a Tabela 5.11.

Tabela 5.11 – FSI do dia 04 de outubro de 2005 no aeroporto de SP

	$T_{sfc}$ ( $^\circ\text{C}$ )	$T_{dsfc}$ ( $^\circ\text{C}$ )	$T_{850}$ ( $^\circ\text{C}$ )	$W_{850}$ (kt)	FSI	<b>Probabilidade de ocorrência de nevoeiro</b>
Obs	21,0	17,2	17,6	12	26,4	Alta
E1	21,4	18,3	14,1	14,1	34,9	Média
E2	21,4	18,2	14,2	13,7	34,5	Média
E3	21,6	17,2	13,9	12,9	37,1	Média
E4	21,5	17,2	14,0	12,9	36,5	Média

### -Considerações da Seção 5.2.3

Os resultados mostram que FSI é um bom índice de previsão de ocorrências de nevoeiro, principalmente, quando utilizado para regiões sobre o continente. Nos casos analisados, na maioria vezes, as regiões que o modelo Eta indica FSI com alta probabilidade de ocorrência de nevoeiro são coerentes com o produto de detecção de nevoeiro e stratus por imagens do GOES-12, uma vez que este consegue detectar nevoeiro nessas mesmas regiões. O resultados dos experimentos apresentam distribuição das áreas com valores de FSI com

similaridades. As diferenças são pequenas entre os resultados do E1 e E2, bem como entre E3 e E4. As maiores diferenças em relação ao E1 são causadas devido à alteração na umidade do solo, presentes no E3 e E4. Quando isto acontece, na maioria das vezes, a um aumento (diminuição) das áreas com média (alta) probabilidade de ocorrência de nevoeiro. A alteração na LUR, presente no E2, provoca poucas mudanças na distribuição espacial do FSI. Na maioria dos casos são bem parecidas com as do E1. Assim quanto à distribuição espacial do FSI as maiores variações ocorrem quando se reduz a umidade do solo.

O FSI também pode ser utilizado para previsão pontual de ocorrências de nevoeiros. Os resultados mostram que o FSI é eficiente para os aeroportos de CT, PA e SP, principalmente, quando indicam alta probabilidade de ocorrência de nevoeiro.

No caso do aeroporto de CT os FSI observados (resultantes dos dados da radiossondagem) e os do modelo Eta para os dias 14 de abril e 15 de agosto de 2005 indicavam alta probabilidade de ocorrência de nevoeiro nas 12 h seguintes. Fatos que ocorreram das 08 às 11Z no dia 14 de abril e das 04 às 11Z do dia 15 de agosto no aeroporto de CT, todos observados e registrados no METAR. O mesmo não aconteceu no dia 04 de outubro de 2005, neste tanto o FSI observado quanto o do modelo Eta indicavam alta probabilidade de ocorrência de nevoeiro nas 12 horas seguintes. Ocorrência que não se concretizou, uma vez que as menores VisH ocorreram entre as 07 e 11Z, nas quais foram observadas e registradas no METAR VisH entre 3000 a 5000 m restringidas por névoa úmida.

No caso do aeroporto de PA os FSI observados e os do modelo Eta para os dias 14 de abril, 15 de agosto e 04 de outubro de 2005 indicavam média probabilidade de ocorrência de nevoeiro nas 12 horas seguintes, a única exceção foi o FSI observado do dia 15 de agosto que indicava alta probabilidade de ocorrência de nevoeiro. Nesses dias nos informes do METAR

em nenhum caso há registros de ocorrências de nevoeiros e sim apenas de névoa úmida com VisH entre 5000 a 8000 m.

No caso do aeroporto de SP os FSI observados (resultantes da radiossondagem) e os do modelo Eta para os dias 14 de abril e 15 de agosto de 2005 indicavam alta probabilidade de ocorrência de nevoeiro nas 12 horas seguintes, com a exceção do FSI observado do dia 14 de abril que indicava média probabilidade de ocorrência de nevoeiro. No dia 14 de abril o FSI observado foi mais eficaz que os FSI do modelo Eta, uma vez que neste dia não teve ocorrências de nevoeiros e a VisH registrada no METAR indica, no período das 03 às 11Z, valores de 3000 a 5000m, restringida por névoa úmida. No dia 15 de agosto tanto o FSI observado, quanto os FSI do modelo Eta foram eficazes, pois, houve ocorrências de nevoeiros no período das 02 às 11Z, observadas e registradas no METAR do período. No dia 04 de outubro o FSI observado indicava alta probabilidade de ocorrência de nevoeiro nas 12 horas seguintes, enquanto os FSI dos experimentos numéricos no modelo Eta indicavam média probabilidade. Novamente o FSI observado foi mais eficaz, uma vez que houve ocorrência de nevoeiro às 06Z, observada e registrada no METAR.

Assim, do exposto acima conclui-se que o FSI é um bom parâmetro que pode ser utilizado na previsão de ocorrências de nevoeiros tanto regionalmente quanto pontualmente. Na seção seguinte são analisados os resultados pontuais da VisH.

#### **5.2.4 Resultados pontuais nos aeroportos**

Os resultados pontuais obtidos da VisH na integração do modelo Eta são discutidos, como nas seções anteriores, para os três casos nos aeroportos de CT, PA e SP. Inicialmente são apresentados os resultados da VisH dos dias 15 de agosto, 04 de outubro 2005 e 14 de abril de 2005. O caso do dia 14 de abril

para o aeroporto de CT é discutido com mais detalhes, uma vez que é o caso que o modelo melhor representou a ocorrência de nevoeiro. Os valores da VisH integrados pelo modelo são limitados a 20 km, assim como os dados observados e registrados da VisH. Nesta dissertação são consideradas restrições da VisH quando esta apresentar valores menores que 20 km. A VisH é representada pela VisK e VisG, as quais nesta seção são representadas como VisK1 e VisG1 para E1, VisK2 e VisG2 para E2, VisK3 e VisG3 para E3 e VisK4 e VisG4 para E4.

-Caso do dia 15 de agosto de 2005

Os resultados de todos experimentos numéricos do dia 15 de agosto para os aeroportos de CT, PA e SP no período das 00 às 12Z não indicam nenhuma restrição da VisH. Entretanto, foram observadas e registradas no METAR ocorrências de restrição da VisH por nevoeiro e/ou névoa úmida entre as 04 e 12Z em CT, PA e SP.

-Caso do dia 04 de outubro de 2005

No aeroporto de CT, nesse dia, foram observadas e registradas no METAR – em todo período das 00 às 12Z - restrições da VisH causadas pelas ocorrências de névoa úmida. Neste mesmo período, os resultados de todos os experimentos numéricos indicam ocorrências de nevoeiros entre 00 e 03Z e nenhuma restrição da VisH entre 06 e 12Z, como mostra a Figura 5.67. Os resultados indicam melhor eficácia do experimento E4 no período das 00 às 06Z. Desta forma o modelo consegue detectar VisH abaixo de 1000 m, entretanto, o mesmo está subestimando a VisH em relação à observação no período das 00 às 03Z, o que indica que o modelo está superestimando o conteúdo de água líquida neste mesmo período.

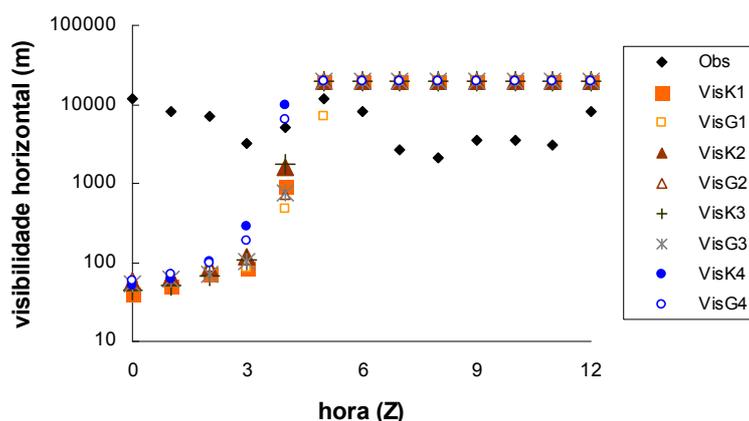


Figura 5.67 – Visibilidade horizontal (m) observada e a integrada pelo modelo Eta para o aeroporto de CT. No período das 00 às 12Z do dia 04 de outubro de 2005.

No aeroporto de PA, entre a 00 e 12Z do dia 04 de outubro de 2005, foram observadas e registradas no METAR restrições da VisH causadas pelas ocorrências de névoa úmida no período das 01 às 12Z. Neste mesmo período os resultados dos experimentos numéricos indicam restrições da VisH devido ao nevoeiro e/ou a névoa úmida somente entre as 08 e 12Z, nos demais horários a VisH é de 20 km como mostra a Figura 5.68. Os melhores resultados em relação à observação são do E1 entre os horários das 09 às 12Z. Desta forma o modelo consegue detectar restrições da VisH devido a nevoeiro e/ou a névoa úmida. Entretanto, os resultados dos experimentos numéricos estão subestimando a VisH em relação à observação no período das 09 às 12Z, que deve ser consequência da superestimativa do conteúdo de água líquida neste mesmo período.

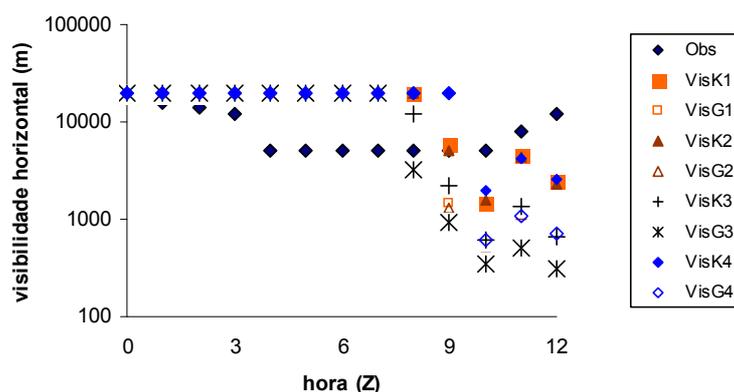


Figura 5.68 – Visibilidade horizontal (m) observada e a integrada pelo modelo Eta para o aeroporto de PA. No período das 00 às 12Z do dia 04 de outubro de 2005.

A VisH no aeroporto de SP no dia 04 de outubro registrada e observada no METAR teve restrição da VisH (de 2000 m a 12000 m) por névoa úmida no período das 04 às 12Z, com exceção das 06Z que foi por nevoeiro com VisH de 500 m. Entretanto, os resultados de todos experimentos numéricos, neste mesmo período, indicam que não há restrição da VisH.

-Caso dia 14 de abril de 2005

Os resultados de todos experimentos numéricos do aeroporto de PA, para este dia, no período das 00 às 12Z indicam que não há nenhuma restrição da VisH. Entretanto, foram observadas e registradas no METAR ocorrências de restrição da VisH com valores de 8 a 12 km por névoa úmida entre a 01 e 04Z em PA.

No aeroporto de SP em todo o período das 00 às 12Z do dia 14 de abril de 2005 foram observadas e registradas no METAR restrições da VisH por névoa úmida. Neste mesmo período os resultados dos experimentos numéricos indicam restrições da VisH devido a nevoeiro e/ou a névoa úmida entre as 02 e 12Z, nos demais horários a VisH é de 20 km como mostra a Figura 5.69. Os melhores resultados em relação à observação são do E4, neste caso.

Entretanto, os resultados dos experimentos numéricos estão subestimando a VisH em relação à observação no período das 02 às 12Z. Como por exemplo, entre as 06 e 10Z todos os experimentos indicam VisH abaixo de 1000 m, enquanto, a VisH observada supera a 5000 m, indicando que o modelo Eta está superestimando o conteúdo de água líquida entre as 06 e 10Z.

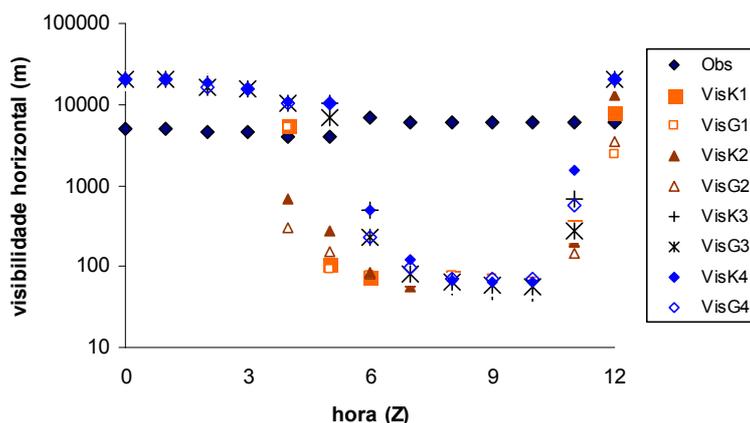


Figura 5.69 – Visibilidade horizontal (m) observada e a integrada pelo modelo Eta para o aeroporto de SP. No período das 00 às 12Z do dia 14 de abril de 2005.

Os resultados dos experimentos numéricos E1 ao E4, desse dia, para o aeroporto de CT são analisados desde o início da integração às 12Z do dia 12 até as 12Z do dia 14, com ênfase nas últimas 12 horas. Neste período são analisados a VisH, temperatura do ar a 2 m ( $T_{2m}$ ), os fluxos de calor (L e H), conteúdo de água líquida e concentração de gotículas dos experimentos numéricos E1 ao E4. Desde o início da integração até às 12Z do dia 14 de abril o modelo consegue indicar as restrições da VisH. Entretanto, na maioria do período o modelo subestima os valores da VisH conforme mostra a Figura 5.70. Nesse mesmo período a  $T_{2m}$  dos experimentos tem comportamento similar à observação, entretanto, na maior parte do período o modelo

subestima o valor da  $T_{2m}$ , as maiores diferenças se concentram no período das 00 às 06Z do dia 14 de abril, como mostra a Figura 5.71.

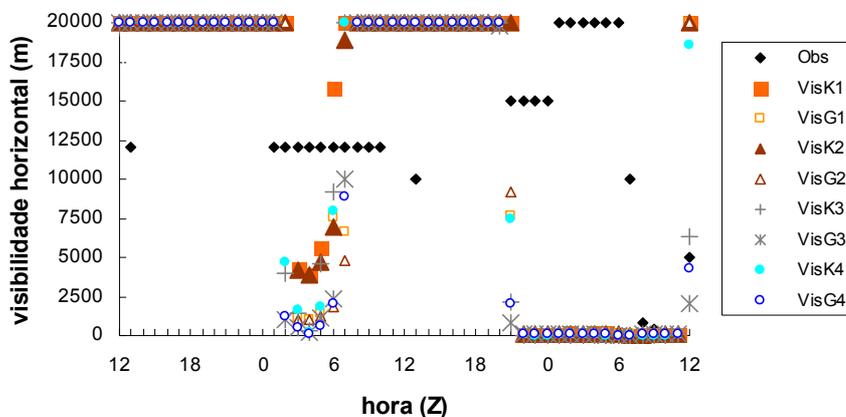


Figura 5.70 – Visibilidade horizontal (m) observada e a integrada pelo modelo Eta para o aeroporto de CT No período de 12Z do dia 12 às 12Z do dia 14 de abril de 2005.

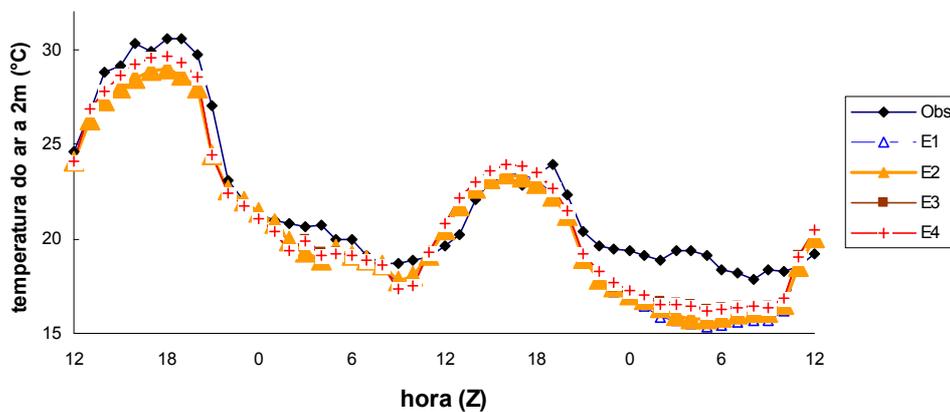


Figura 5.71 – Temperatura do ar a 2m (°C) observada e a integrada pelo modelo Eta para o aeroporto de CT. No período de 12Z do dia 12 às 12Z do dia 14 de abril de 2005.

A concentração de gotículas ( $\text{cm}^{-3}$ ) é dada em função da  $T_{2m}$  (Equação 4.6) e os resultados indicam coerência na maior parte do período. As maiores diferenças ocorrem no início da integração, principalmente entre as 13 e 22Z do dia 12 de abril de 2005, quando os valores desta variável são maiores e subestimados pelo modelo, como mostra a Figura 5.72.

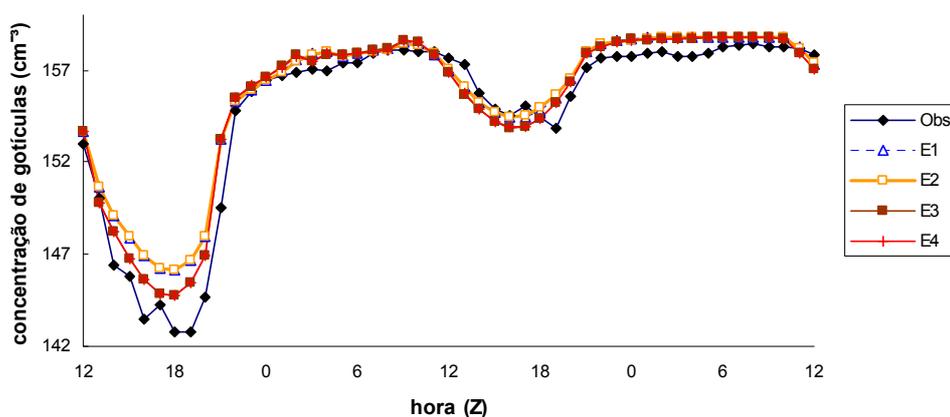


Figura 5.72 – Concentração de gotículas ( $\text{cm}^{-3}$ ) observada e a integrada pelo modelo Eta para o aeroporto de CT. No período de 12Z do dia 12 às 12Z do dia 14 de abril de 2005.

Os fluxos turbulentos de calor (L e H) apresentam as maiores diferenças entre os experimentos que estão entre as 14 e 18Z, e é neste mesmo período que ocorrem as maiores transferências de calor da superfície para a atmosfera. No período entre as 22 e 02Z é que ocorrem as maiores transferências de calor da atmosfera para a superfície. Em relação ao E1, os resultados dos demais experimentos numéricos indicam similaridade com este. A única exceção desta similaridade é os fluxos de calor do E2 nos horários das 14 às 18Z, os quais transportam mais calor e umidade da superfície para a atmosfera indicando

que a alteração na LUR provoca maior fluxo de calor (L e H) da superfície para atmosfera entre as 14 e 18Z como mostram as Figuras 5.73 e 5.74.

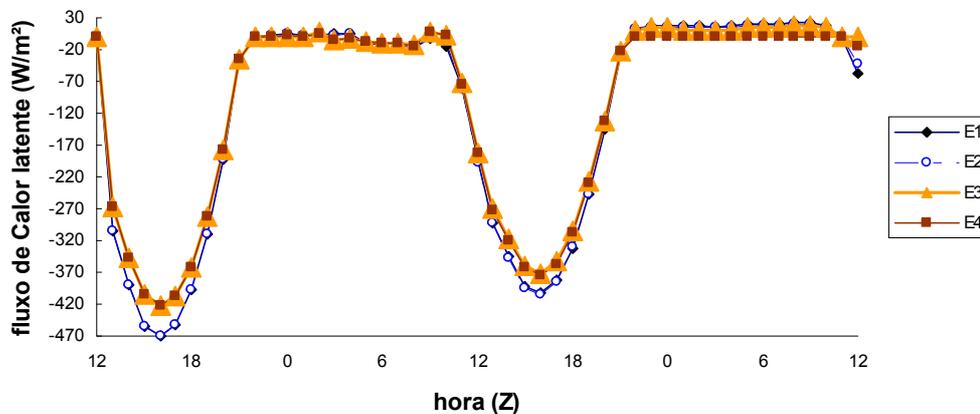


Figura 5.73 – Fluxos turbulentos de calor latente ( $W/m^2$ ) integrado pelo modelo Eta para o aeroporto de CT. No período de 12Z do dia 12 às 12Z do dia 14 de abril de 2005.

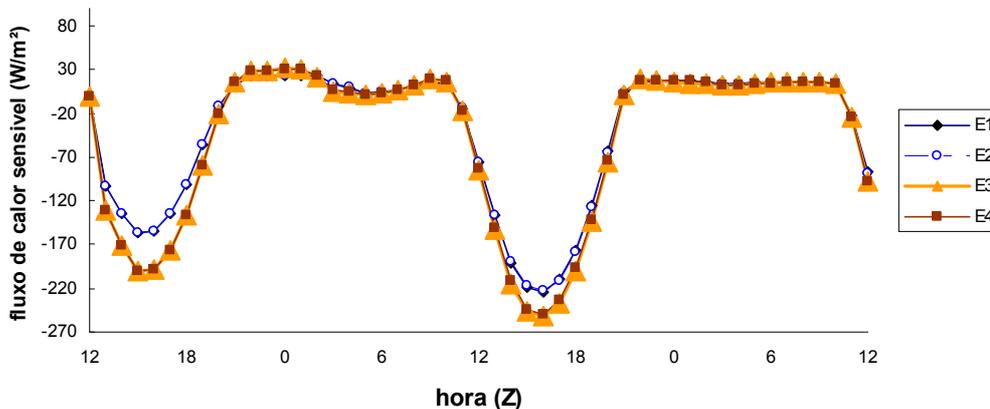


Figura 5.74 – Fluxos turbulentos de calor sensível ( $W/m^2$ ) integrado pelo modelo Eta para o aeroporto de CT. No período de 12Z do dia 12 às 12Z do dia 14 de abril de 2005.

Mais especificamente no período da 00 às 12Z do dia 14 de abril observa-se que os resultados dos experimentos numéricos E1 ao E4 indicam ocorrência de nevoeiro e/ou névoa úmida desde a 00Z. No período das 00 às 11Z a VisH é menor que 200 m. Entretanto, neste dia, as observações indicam no período das 00 às 07Z VisH superior a 10 km e das 08 às 11Z VisH entre 100 e 800 m como mostra a Figura 5.75. Os melhores resultados são obtidos no E1.

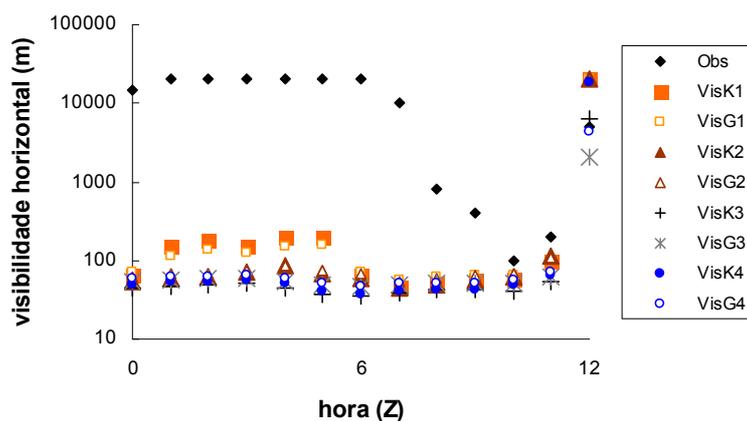


Figura 5.75 – Visibilidade horizontal (m) observada e a integrada pelo modelo Eta para o aeroporto de CT. No período das 00 às 12Z do dia 14 de abril de 2005.

Os resultados indicam que o modelo em relação à observação entre a 00 e 11Z está subestimando  $T_{2m}$ , às 11Z os valores convergem e às 12Z o modelo está superestimando os valores de  $T_{2m}$ . As menores diferenças entre os resultados e a observação estão entre as 08 e 11Z, mesmo período dos melhores resultados da VisH. Neste caso, os resultados dos experimentos indicam que há diferenças nos valores de  $T_{2m}$ , os resultados indicam que os demais experimentos em relação ao E1 estão superestimando a  $T_{2m}$  como mostra a Figura 5.76. A concentração de gotículas como função da  $T_{2m}$  tem melhores resultados em relação à observação entre as 07 e 11Z, coerentes com os resultados da  $T_{2m}$  e da VisH, como pode ser visto na Figura 5.77.

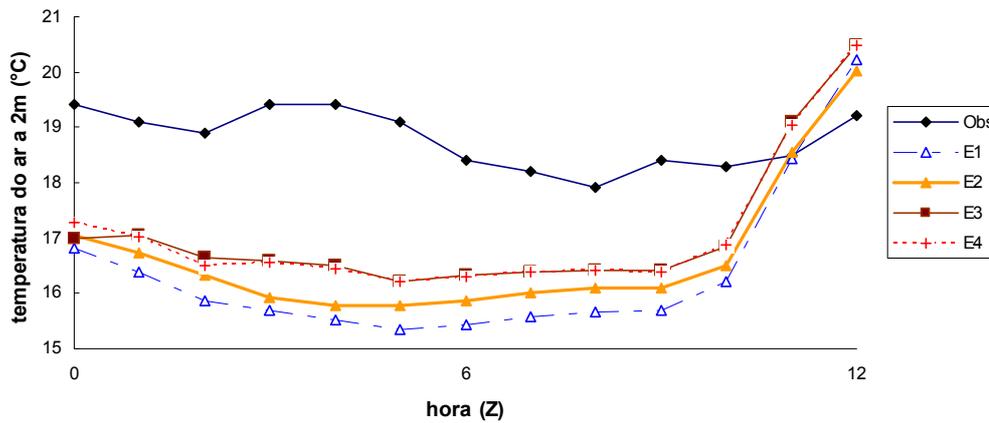


Figura 5.76 – Temperatura do ar a 2m (°C) observada e a integrada pelo modelo Eta para o aeroporto de CT. No período das 00 às 12Z do dia 14 de abril de 2005.

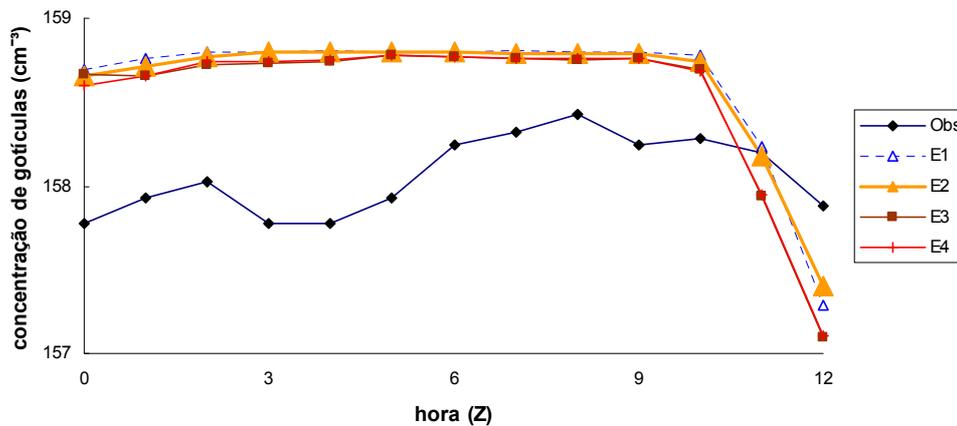


Figura 5.77 – Concentração de gotículas (cm<sup>-3</sup>) observada e a integrada pelo modelo Eta para o aeroporto de CT. No período das 00 às 12Z do dia 14 de abril de 2005.

A VisH tem fortes interações com  $T_{2m}$  e esta com os fluxos turbulentos de calor (L e H), pois estes são responsáveis pelos processos de troca de umidade e calor entre a superfície e a atmosfera. Os resultados indicam que os fluxos de L

são maiores (sentido atmosfera para superfície) entre as 05 e 10Z. E é neste intervalo que ocorrem as menores VisH (observadas e previstas), os melhores resultados da  $T_{2m}$  e da concentração de gotículas em relação à observação como mostram as Figuras 5.75, 5.76, 5.77 e 5.78. Entre as 10 e 11Z o fluxo se torna nulo e depois se inverte no sentido superfície atmosfera, às 11Z é ponto de maior convergência entre os experimentos.

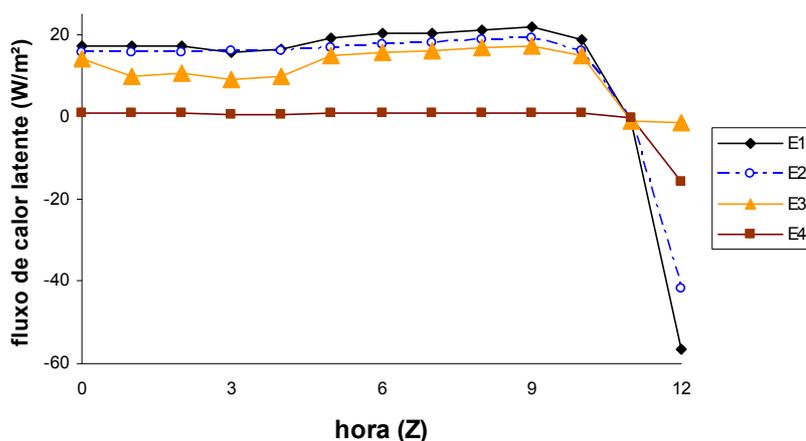


Figura 5.78 – Fluxos turbulentos de calor latente ( $W/m^2$ ) integrado pelo modelo Eta para o aeroporto de CT. No período das 00 às 12Z do dia 14 de abril de 2005.

Em relação ao E1, todos os resultados dos demais experimentos indicam uma diminuição do fluxo de L, no sentido atmosfera para superfície no período das 00 às 11Z e uma diminuição no sentido da superfície para a atmosfera às 12Z. A maior variação dos fluxos de L ocorre no E4, cujos fluxos de L são da ordem de magnitude em torno da unidade. A menor variação dos fluxos de L ocorre em E2, e é o experimento que tem maior semelhança (quanto aos fluxos de L) com o E1, como mostra a Figura 5.73. Assim, os resultados dos fluxos de L dos experimentos numéricos no período das 00 às 11Z têm variações de no máximo uma dezena, com exceção do E4 que é cerca de duas dezenas, em relação ao E1. Fato que indica que o transporte de umidade proporcionado

pelo fluxo de , por menor que seja é importante no cálculo da VisH. Portanto, o LUR e a umidade do solo são fatores importantes que devem ser estudados na modelagem do fenômeno nevoeiro.

Os resultados indicam que as alterações na LUR e na umidade do solo, nas 12 primeiras horas do dia 14 de abril de 2005 no aeroporto de CT provocam poucas variações nos fluxos de H, as diferenças indicam ordem de magnitude da unidade (Figura 5.79).

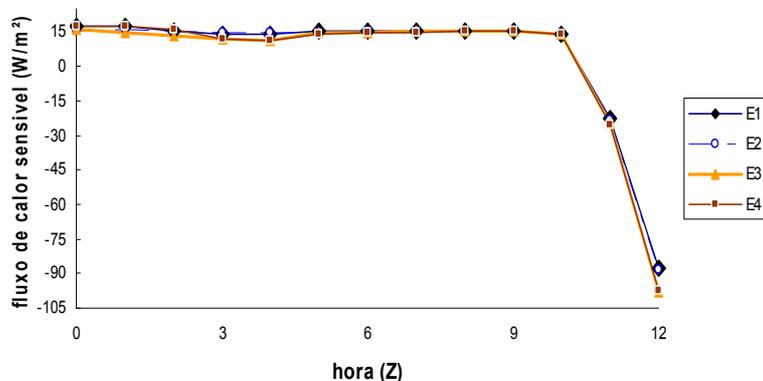


Figura 5.79 – Fluxos turbulentos de calor sensível ( $W/m^2$ ) integrado pelo modelo Eta para o aeroporto de CT. No período das 00 às 12Z do dia 14 de abril de 2005.

Considerando-se que o modelo subestimou o conteúdo de água líquida no dia 14 de abril 2005, realizam-se testes com a redução do conteúdo de água líquida (LWC) em 95 % no cálculo da VisH tomando como base o horário das 08Z (início do nevoeiro observado). Neste horário os LWC dos experimentos numéricos são da ordem de 90 a 100 % maiores que o da observação, como pode ser visto na Figura 5.80. Os resultados desse teste mostram que no período das 00 às 12Z a VisH – neste trabalho representada pela VisK\_t obtida

pela metodologia de Kunkel e VisG\_t obtida pela metodologia de Gultepe – tem uma melhor aproximação do que a VisH do experimento E1, quando comparadas à VisH observada, como pode ser visto na Figura 5.81.

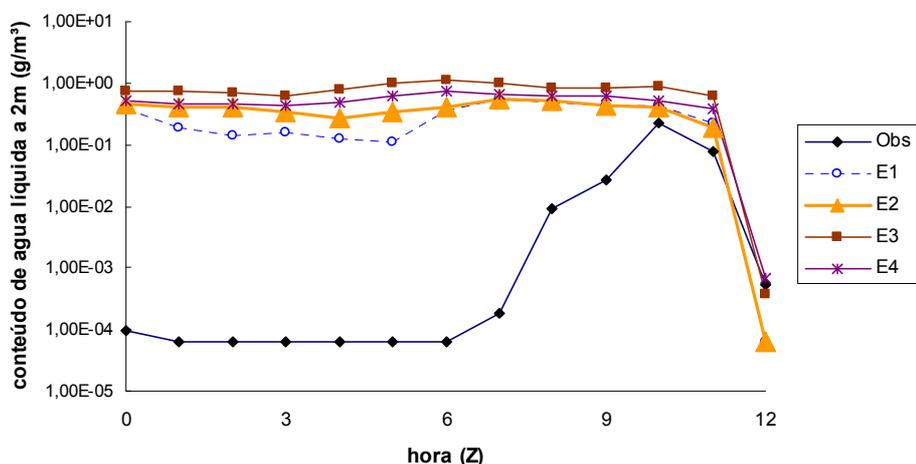


Figura 5.80 – Conteúdo de água líquida ( $\text{g/m}^3$ ) observada e a integrada pelo modelo Eta para o aeroporto de CT. No período das 00 às 12Z do dia 14 de abril de 2005.

Os resultados desse teste mostram que no período da 00 às 12Z a VisH – neste trabalho representada pela VisK\_t obtida pela metodologia de Kunkel e VisG\_t obtida pela metodologia de Gultepe – tem uma melhor aproximação do que a VisH do experimento E1, quando comparadas à VisH observada, como pode ser visto na Figura 5.81.

Além da acurácia da VisH pontual em relação ao E1, como mostra a Figura 5.81, também ocorre a melhora na distribuição espacial da VisH em relação a todos os experimentos numéricos, tornando-se mais coerente com o produto de detecção de nevoeiro e stratus por imagens do GOES-12, como pode ser visto nas Figuras 5.41, 5.42 e 5.82.

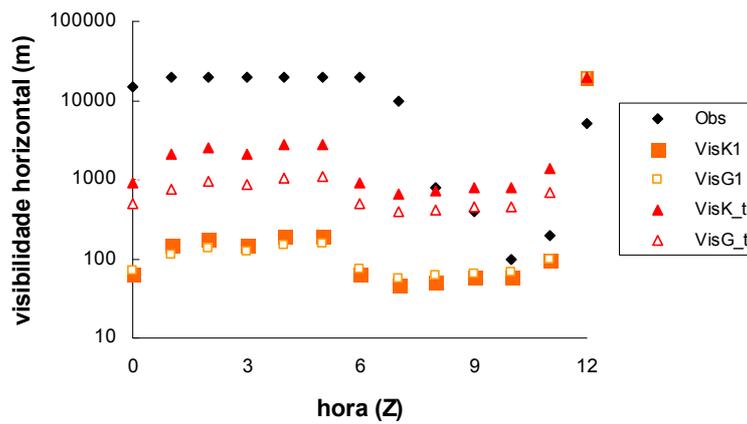


Figura 5.81 – Visibilidade horizontal (m) observada e a integrada pelo modelo Eta para o aeroporto de CT, com o conteúdo de água líquida reduzido em 95 % no período das 00 às 12Z do dia 14 de abril de 2005.

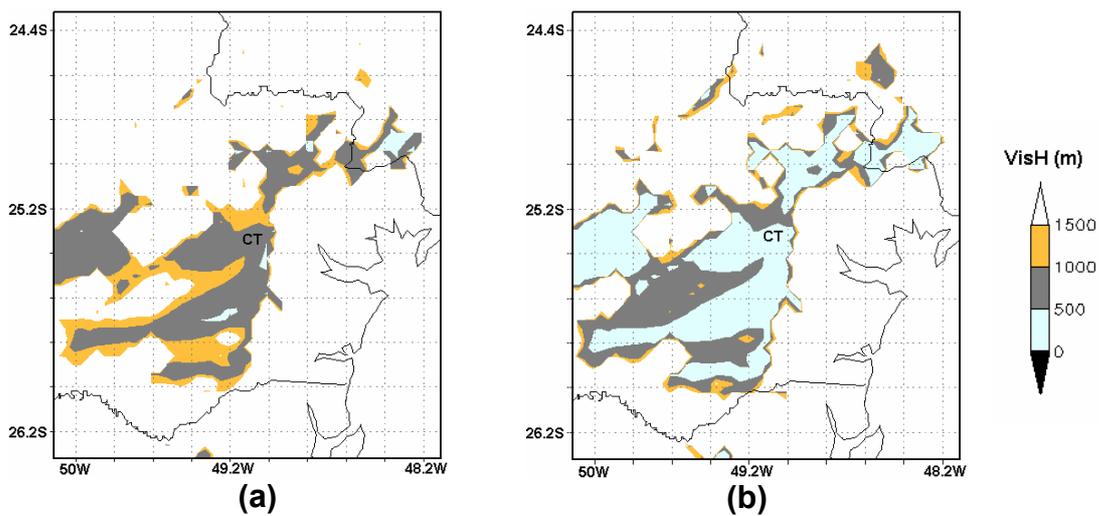


Figura 5.82 – Visibilidade horizontal (m) às 09Z do dia 14 de abril de 2005 Eta para parte do estado do Paraná centralizada no aeroporto de CT: (a) VisK\_t e (b) VisG\_t.

Portanto, neste caso, constata-se que o modelo está superestimando o LWC, o que acarreta uma superestimativa da restrição da VisH. Essa é mais acurada

quando se utiliza a metodologia de Gultepe, desde que o LWC seja o mais correto possível, como, por exemplo, o que ocorre às 09Z, no qual o LWC obtido com os dados da observação é semelhante ao do teste, os quais contribuem para a similaridade entre a VisH observada e a VisG\_t às 09z, como mostra a Figura 5.81.



## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Os resultados desta dissertação sob o aspecto regional, na maioria dos casos, mostraram-se coerentes com o produto de detecção de nevoeiro e stratus a partir de imagens GOES-12, quando validados qualitativamente. Sob aspecto pontual mostrou-se deficiente, pois, na maioria dos casos não conseguiu detectar as ocorrências de baixa visibilidade horizontal e nevoeiros, pontualmente, nos aeroportos estudados, quando comparados com os dados observados. Entretanto, nas poucas vezes em que o modelo conseguiu detectar pontualmente a ocorrência de baixa visibilidade horizontal, indicou valores de visibilidade horizontal muito inferior aos da observação, indicando que o modelo Eta superestimou o conteúdo de água líquida, que é inversamente proporcional à visibilidade horizontal. Cabe ressaltar, ainda sob aspecto pontual, que na maioria das vezes o modelo Eta detectou ocorrência de baixa visibilidade horizontal e nevoeiro em regiões próximas aos aeroportos em estudo quando a análise era regional. Portanto, regionalmente as alterações nos experimentos provocaram deslocamentos das áreas com baixos valores de visibilidade horizontal.

Todos os resultados mostraram que a metodologia de estimativa de visibilidade horizontal de Gultepe *et. al.* (2006), fornece menor valor de visibilidade horizontal em relação à metodologia de estimativa de visibilidade horizontal de Kunkel (1983), desde que a visibilidade horizontal seja igual ou maior do que 100 m para o mesmo conteúdo de água líquida.

Os resultados indicaram que em todos os experimentos, na grande maioria das vezes, o modelo Eta, pontualmente, subestima a temperatura do ar a 2m em relação à observação nos aeroportos estudados.

As alterações realizadas no limiar de umidade relativa e na umidade do solo no modelo Eta sob o ponto de vista regional, apresentaram pouco ganho na previsão. As alterações na distribuição espacial das áreas de ocorrências de baixa visibilidade horizontal não foram lineares, elas variaram para cada caso,

local e horário. Pontualmente, essas alterações foram significativas na previsão da visibilidade horizontal, pois, as diferenças entre os resultados dos experimentos indicaram variações nos valores e posicionamento da visibilidade horizontal. Fisicamente os resultados revelaram a importância do limiar de umidade relativa e da umidade do solo, sob o aspecto pontual, na temperatura do ar a 2m, concentração de gotículas e nos fluxos de calor (latente e sensível), uma vez que ocorreram variações significativas nessas variáveis.

Os resultados sugerem que o modelo Eta superestimou o conteúdo de água líquida tanto regionalmente quanto pontualmente. Regionalmente foi notado quando se compararam, qualitativamente, os resultados do modelo (áreas com visibilidade horizontal abaixo de 1500 m) com o produto estimado por satélite (áreas com nevoeiros). Na maioria das vezes, o produto estimado por satélite apresenta densidade das áreas de detecção de nevoeiro e/ou stratus menor do que os resultados dos experimentos. Pontualmente, nos horários nos quais o modelo Eta conseguiu detectar valores de baixa visibilidade horizontal - menor que 1500 m – coincidentes com a localização pontual do aeroporto em estudo. Os resultados, neste caso, indicaram que os valores da visibilidade horizontal previstos pelo modelo Eta são subestimados quando comparadas com os observados. Fato este comprovado quando se reduz o conteúdo de água líquida do experimento numérico E1. Os valores da visibilidade horizontal com esta redução tornaram-se mais acurados, quando comparados com os da observação sob o ponto de vista pontual, bem como quando comparados com o produto estimado por satélite sob o ponto de vista regional. Portanto, à medida que o conteúdo de água líquida, previsto pelo modelo Eta, torna-se mais próximo ao observado – calculado de forma empírica –, a metodologia de estimativa de visibilidade horizontal de Gultepe *et. al.* (2006), introduzida neste trabalho, apresenta resultados mais próximos da visibilidade horizontal observada do que a metodologia de estimativa de visibilidade horizontal de Kunkel (1983).

O índice de detecção de nevoeiro – FSI – sob o aspecto regional apresentado pelos resultados dos experimentos numéricos é satisfatório, indicando coerência nas áreas de ocorrência de nevoeiros que são compatíveis na maioria das vezes com o produto estimado por satélite. Sob o ponto de vista pontual os resultados dos experimentos numéricos indicam que o FSI previsto na maioria das vezes também é coerente com o FSI observado. As indicações de ocorrências de nevoeiros pontuais são satisfatórias somente quando o índice indica alta probabilidade de ocorrências na maioria dos casos. As alterações no limiar de umidade relativa e na umidade do solo nos experimentos, na maioria dos casos, não alteraram a probabilidade de ocorrência de nevoeiro resultante do FSI.

Portanto, os resultados desta dissertação sugerem que o modelo Eta na resolução de 4 km pode ser usado como ferramenta útil na previsão de ocorrências de nevoeiro e visibilidade horizontal ou na indicação de regiões com probabilidade de ocorrência de nevoeiro em uma região ou pontualmente com 36 a 48 h de antecedência.

#### -Sugestões de trabalhos futuros

A previsão de visibilidade horizontal associada a ocorrências de nevoeiros nos aeroportos é dificultada por fatores regionais e locais. Os previsores anseiam em ter à disposição um produto que lhes auxiliem neste tipo de previsão com razoável antecedência. A fim de tornar disponível esse produto e melhorar a acurácia na previsão de ocorrências de nevoeiro e visibilidade horizontal, recomendam-se como trabalhos de pesquisas futuros:

- Estudos de mais casos e a inclusão de outros aeroportos, com objetivo de validar e avaliar maior número de casos e localidades.
- Novos estudos utilizando, como condições iniciais e de contorno lateral, as análises com melhor resolução e previsões do modelo Eta com resolução maior como, por exemplo, a de 20 km e melhor

representatividade das construções urbanas, quando se espera melhores resultados devido a maior resolução ( condições iniciais e contorno lateral) e representatividade da superfícies urbanas.

- Estudos com melhor representatividade da umidade do solo, mais realística, como por exemplo, a umidade do solo diária, uma vez que os testes demonstraram sensibilidade a ocorrência de nevoeiro e a visibilidade horizontal associada.

- A realização de avaliações mais aprofundadas de forma contínua em centros operacionais de previsão, visando à verificação qualitativa e quantitativa, para obtenção de informações importantes que resultam no aprimoramento da previsão de ocorrências de nevoeiro e visibilidade horizontal.

- A realização de testes com os dados de saída do conteúdo de água líquida próximo à superfície, com a finalidade de torná-los mais consistente com os dados observados, como, por exemplo, utilizando fórmulas empíricas. Pois, à medida que se consegue melhor representação do conteúdo de água líquida, mais acurados são os resultados da previsão da visibilidade horizontal.

- Estudos no cálculo do conteúdo de água líquida próximo à superfície na física do modelo, uma vez que o conteúdo de água líquida é crucial no cálculo da estimativa de visibilidade horizontal.

- Estudos que propõem um melhor ajuste do FSI para adequá-lo para cada região, utilizando os perfis verticais fornecidos pelas radiossondagens de alta resolução.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRÉ, J. C.; MAHRT, L. The nocturnal surface inversion and influence of clear-air radiative cooling. **J. Atmos. Sci.**, v. 39, n. 4, p. 864-878, 1981.

ARAKAWA, A.; LAMB, V. R. Computational design of the basic dynamical process of the UCLA general circulation model. **Methods of Computational Physics**, v. 17, p. 174-265, 1977.

ASAI, T. A numerical study of air-mass transformation over the Japan sea in winter. **J. Meteor. Soc. Japan**, v. 43, p. 1-15, 1965.

BAKER, R.; CRAMER, J.; AND PETERS, J. Radiation fog - UPS airlines conceptual models and forecast methods. CONFERENCE ON AVIATION, RANGE, AND AEROSPACE METEOROLOGY (ARAM), 10., 2002, Portland. **Proceedings...** Portland, OR: [s.n], 2002. p. 154-159.

BALLARD, S. P.; GOLDING, B. W.; SMITH, R. N. B. Mesoscale model experiment forecast of the Haar of northeast Scotland. **Mon. Wea. Rev.**, v. 119, p. 2107-2123, 1991.

Bergot, T.; Guédalia, D. Numerical forecasting of radiation fog. Part I: Numerical model and sensitivity tests. **Mon. Wea. Rev.**, v. 122, n. 6, p.1218-1230, 1994.

BETTS, A. K.; MILLER, M. J. A new convective adjustment scheme. Part I: observational and theoretical basis. **Quart. J. Roy. Meteor. Soc.**, v. 112, n. 473, p. 677-691, 1986

BLACK, T. L. The new NMC mesoscale Eta Model: description and forecast examples. **Wea. Forecasting**, v.9, p. 265-278, 1994.

BRASIL. COMANDO DA AERONÁUTICA, DIRETORIA DE ELETRÔNICA E PROTEÇÃO AO VÔO. **Manual de códigos meteorológicos**. Rio de Janeiro, RJ, 2001. MCA 105-10.

BROWN, R.; ROACH, W. T. The physics of radiation fog, Part II: a numerical study. **Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.**, v. 102, n. 432, p. 335-354, 1976.

CABRAL, E. Aspectos climatológicos da ocorrência de nevoeiro na área do Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos. In: ENCONTRO NACIONAL DE GEÓGRAFOS, 8., E CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 6., 1990. **Anais...** Salvador,BA: SBMeT,1990.

CHOU, S. C. Modelo regional Eta. **Climanálise Especial Edição Comemorativa de 10 anos**, MCT/INPE/CPTEC, Cachoeira Paulista, 1996.

CLIMANÁLISE, BOLETIM DE MONITORAMENTO E ANÁLISE CLIMÁTICA, v. 20, n. 4, p. 17 e 21, abr., 2005. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/0405/index.html> Acesso em: 08 maio 2008.

CLIMANÁLISE, BOLETIM DE MONITORAMENTO E ANÁLISE CLIMÁTICA, v. 20, n.8, ago., p. 13 e 20, 2005. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/0405/index.html> Acesso em: 08 maio 2008

CLIMANÁLISE, BOLETIM DE MONITORAMENTO E ANÁLISE CLIMÁTICA, v. 20, n.10, out., p. 13 e 20, 2005. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/0405/index.html> Acesso em: 08 maio 2008.

CROFT, P. J.; PFOST, R. L.; MELDIN, J. M.; JOHNSON, G. A. Fog forecasting for the southern region: A conceptual model approach. **Weather and Forecasting**, v.12, p. 535–556, 1997:

FELS, S. B.; SCHWARZKOPF, M. D. The simplified exchange approximation: a new method for radiative transfer calculations. **J. Atmos. Sci.**, v. 32, n. 7, p.1475-1488, 1975.

FERREIRA, N. J.; NUNES, A M.B.; FERREIRA, N.S.; BASTOS, E. B. Determinação de nevoeiros sobre as regiões sul e sudeste do Brasil utilizando-se imagens multiespectrais do satélite GOES-8. In: Congresso BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10., 1998, Brasília. **Anais...** Brasília-DF: SBMET, 1998.

FERRIER, B. A new grid-scale cloud and precipitation scheme in the NCEP Eta model. In: SPRING COLLOQUIUM ON THE PHYSICS OF WEATHER AND CLIMATE: REGIONAL WEATHER PREDICTION MODELLING AND PREDICTABILITY, 2002, Trieste, Italy. **Proceedings...** Trieste: editora, 2002.

FERRIER, B.; JIN, Y.; LIN, Y.; BLACK, T.; ROGERS, E.; DIMEGO, G. Implementation of a new grid-scale cloud and precipitation scheme in the NCEP Eta model. In: CONF. ON NUMERICAL WEATHER PREDICTION, 15., San Antonio. **Proceedings...** San Antonio, TX: AMS, 2002. p. 280-283.

FISHER, E. L.; CAPLAN, P. An experiment in the numerical prediction of fog and stratus. **J. Atmos. Sci.**, v. 20, n., p. 425-437, 1963.

GRIMM, M. A. **Condensação, nuvens e precipitação**-meteorologia básica-, UFPR, 1999. Notas de aula. Disponível em: < <http://fisica.ufpr.br/grimm/>>. Acesso em: 15 abr 2006.

GUANDELIN, L. Neblina pode voltar a fechar Cumbica nesta terça. **O Globo Online**. Disponível em: <http://oglobo.globo.com/sp/mat/2007/03/26/295085057.asp>. Acesso em 27 março 2007.

GUÉDALIA, D. BERGOT, T. Numerical forecasting of radiation fog. Part II: a comparison of model simulations with several observed fog events. **Mon. Wea. Rev.**, v. 122, n. 6, p 1231-1246, 1994.

GULTEPE, I.; ISAAC, G.A. Scale effects on the relationship between cloud droplet and aerosol number concentrations: Observations and models. **J. Climate**, v. 12, n. 5, p 1268-1279, 1999.

GULTEPE, I.; ISAAC, G. A. Microphysical parameterization for mixed phase clouds using in-situ observations. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CLOUDS AND PRECIPITATION (ICCP), 14., 2004, Bologn Detecção de nevoeiro e stratus a partir de imagens GOES-12 a, Italy. **Proceedings...** Bologna: [s.n], p. 1326-1329, 2004b.

GULTEPE, I.; MILBRANDT, J.; BELAIR, S. Visibility parameterization from microphysical observations for warm fog conditions and its application to the Canadian MC2 model. In: **CONFERENCE ON AVIATION, RANGE AND AEROSPACE METEOROLOGY**, 2006, Atlanta, Georgia, USA. **Proceedings...** Atlanta, Georgia, 2006.

INSTITUTO NACIOANAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Detecção de nevoeiro e stratus a partir de imagens GOES-12**. São José dos Campos, 2005. Disponível em: <http://cptec.www.inpe.br>. Acesso em 15 agosto 2007.

JANJIC, Z.I.: Forward-backward scheme modified to prevent two-grid-internal noise and its application in sigma coordinate models. **Contrib. Atmos. Phys.**, v. 52, p. 69-84, 1979.

JANJIC, Z. I. Non-linear advection schemes and energy cascade on semi-staggered grids. **Mon. Wea. Rev.**, v. 112, n. 6, p. 1234-1245, 1984.

JANJIC, A. I. The step-mountain Eta coordinate model: Further developments of the convection, viscous sublayer, and turbulence closure schemes. **Mon. Wea. Rev.**, v. 122, p. 927-945, 1994.

JIUSTO, J. E. Fog structure. In: Hobbs, P. V.; Deepak, A. (eds.). **Clouds, their formation, optical properties, and effects**, [S.l.]: Academic Press, 1981. p.187-239.

KAIN, J. S.; FRITSCH, J. M. Convective parameterization for mesoscale models: the Kain-Fritsch scheme. the representation of cumulus convection in numerical models. *meteor. monogr., Amer. Meteor. Soc.*, v, 46, p.165-170, 1993.

KUNKEL, B. Parameterization of droplet terminal velocity and extinction coefficient in fog model. *J. Appl. Meteor.*, v. 23, n. 1, p. 34-41, 1984.

LEIPPER, D. F. Fog forecasting objectively in the California coastal area using LIBS. *Weather Forecast.*, v. 10, p. 741-762, 1995.

LACIS, A. A.; HANSEN, J. E. A parameterization of the absorption of solar radiation in the earth's atmosphere. *J. Atmos. Sci.*, v. 31, n. 1, p.118-133, 1974.

LIMA, J. S. **Previsão de ocorrências de nevoeiros em Porto Alegre: método objetivo.** Porto Alegre: Instituto de Proteção ao Vôo do Ministério da Aeronáutica, 1982, p. 1-18.

MARSHALL, J. S.; PALMER, W. McK, The distribution of raindrops with size. *J. of Meteor.*, v. 5, n. 4, DOI: 10.1175/1520-0469(1948)005<0165:TDORWS>2.0.CO;2, p. 165-166, 1948.

MASSAMBANI, O.; MORALES, C. A. R. Uma distribuição gama de tamanhos de gotas de nuvens. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 5. 1988, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro-RJ: SBMET, nov. 2, 1988. p. 48.

MELLOR, G. L. YAMADA, T. Development of the turbulent closure model for geophysical fluid problems. *Rev. Geophys. Space Phys.*, v. 20, p 851-875, 1982.

MESINGER, F. A blocking technique for representation of mountains in atmospheric models. *Riv. Meteor. Aeronaut.*, v. 44, n. 1- 4, p 195-202, 1984.

MESINGER, F.; JANJÍČ, Z. I.; NICKOVIC, S.; GAVRILOV, D.; DEAVEN, D. G. The step-mountain coordinate: Model description and performance for cases of Alpine lee cyclogenesis and for a case of an Appalachian redevelopment. *Mon. Wea. Rev.*, v. 116, n. 7, p. 1493-1518, 1988.

MUSSON-GENON, L. Numerical simulation of a fog event with a one-dimensional boundary layer model. *Mon. Wea. Rev.*, v. 115, n. 2, p. 592-607. 1987.

OLIVEIRA, G. A. **Método estatístico no auxílio à previsão de nevoeiro para o aeródromo de Guarulhos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

OLIVEIRA, V. M.; FEDEROVA, N. Condições para formação de nevoeiro em Pelotas: Parte I – Análise sinótica e estatística (UFPel). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10./ CONGRESSO DA FLISMET, 7., 1998, Brasília. **Anais...** Brasília: SBMET, 1998 a.

OLIVEIRA, V. M.; FEDEROVA, N. Condições para formação de nevoeiro em Pelotas: Parte II – Análise estatística das correlações (UFPel). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10./ CONGRESSO DA FLISMET, 7., 1998, Brasília. **Anais...** Brasília: SBMET, 1998 b.

OLIVEIRA, V. M., FEDEROVA, N. Condições para formação de nevoeiro em Pelotas: Parte III - Análise Termodinâmica(UFPel). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10./ CONGRESSO DA FLISMET, 7., 1998, Brasília. **Anais...** Brasília: SBMET, 1998 c.

OLIVEIRA, V. M.; FEDEROVA, N. Condições para formação de nevoeiro em Pelotas: Parte IV – Método de previsão (UFPel). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10./ CONGRESSO DA FLISMET, 7., 1998, Brasília. **Anais...** Brasília: SBMET, 1998 d.

OLIVER, D.A.; LEWELLEN, W.S. WILLIAMSON, G.G.: The interaction between turbulent and radiative transport in the development of fog and low-level stratus. **J. Atmos. Sci.**, v. 35, n. 2 , p. 301-316, 1978.

PAULSON , C. A. The mathematical representation of wind speed and temperature profiles in the unstable atmospheric surface layer. **J. Appl. Meteor.**, v. 9, n. , p. 857-861, 1970.

PETTERSEN, S. **Weather analysis and forecasting**. New York: McGraw-Hill, 1940. 505 p.

REIS, M. C. S. A. **Nevoeiro no Aeroporto da Portela, Lisboa**. Dissertação ( Mestrado em Probabilidade e Estatística) - Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, 1995, 127 p.

REYMANN, M.; PIASECKI, J.; HOSEIN, F.; LARABEE, S.; WILLIAMS, G.; JIMENEZ, M.; CHAPDELAIN, D.: **Meteorological techniques**. USA: Air Force Weather Agency, U.S., 1998. 242 p. Tech. Note.

ROACH, W. T.; BROWN, R.; CAUGHY, S. J.; GARLAND, J. A.; READINGS, C. J.: The physics of radiation fog. Part I : a field study. **Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.**, v. 102, n. 432 , p. 313-333, 1976.

ROCHA, W. **Nevoeiro no aeroporto de Afonso Pena em 04/07/2006**. Curitiba. 2006. 1 fotografia.

SELLERS, P.J.; SHUTTLEWORTH, W.J.; DORMAN, J.L.; DALCHER, A.; ROBERTS, J.M. Calibrating the simple biosphere model (SiB) for Amazonia tropical forest using field and remote sensing data. part I: average calibration with field data. **Journal of Applied Meteorology**, v.28, n. 8 , p.727-759, 1989.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia**. Brasília-DF: Editora Pax, 2001. 515 p.

WALLACE, J. M.; HOBBS, P. V. **Atmospheric science – an introductory survey**. 2a. ed. Amsterdam: Elsevier, 2006. 483 p.

YAMADA, T.; MELLOR, G. Numerical simulation OF Bomex data using a turbulence closure model couplet with ensemble cloud relations. **Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.**, v. 105, p 915-944, 1974.

ZDUNKOWSKI, W.G.; NIELSEN, B.C. A preliminary prediction analysis of radiation fog. **Pure Appl. Geophys.**, v. 75, n.4, p. 278-299, 1969.

## **PUBLICAÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS EDITADAS PELO INPE**

### **Teses e Dissertações (TDI)**

Teses e Dissertações apresentadas nos Cursos de Pós-Graduação do INPE.

### **Manuais Técnicos (MAN)**

São publicações de caráter técnico que incluem normas, procedimentos, instruções e orientações.

### **Notas Técnico-Científicas (NTC)**

Incluem resultados preliminares de pesquisa, descrição de equipamentos, descrição e ou documentação de programa de computador, descrição de sistemas e experimentos, apresentação de testes, dados, atlas, e documentação de projetos de engenharia.

### **Relatórios de Pesquisa (RPQ)**

Reportam resultados ou progressos de pesquisas tanto de natureza técnica quanto científica, cujo nível seja compatível com o de uma publicação em periódico nacional ou internacional.

### **Propostas e Relatórios de Projetos (PRP)**

São propostas de projetos técnico-científicos e relatórios de acompanhamento de projetos, atividades e convênios.

### **Publicações Didáticas (PUD)**

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

### **Publicações Seriadas**

São os seriados técnico-científicos: boletins, periódicos, anuários e anais de eventos (simpósios e congressos). Constam destas publicações o Internacional Standard Serial Number (ISSN), que é um código único e definitivo para identificação de títulos de seriados.

### **Programas de Computador (PDC)**

São a seqüência de instruções ou códigos, expressos em uma linguagem de programação compilada ou interpretada, a ser executada por um computador para alcançar um determinado objetivo. São aceitos tanto programas fonte quanto executáveis.

### **Pré-publicações (PRE)**

Todos os artigos publicados em periódicos, anais e como capítulos de livros.