



Ministério da  
**Ciência, Tecnologia  
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2012/03.29.22.41-TDI

**PREVISÃO DE EXTREMOS DE CHUVA NO RIO DE  
JANEIRO: MELHORIAS UTILIZANDO O  
CONHECIMENTO ADQUIRIDO COM EVENTOS  
ANTERIORES**

Giovanni Dolif Neto

Tese de doutorado do Curso de  
Pós-Graduação em Meteorologia,  
orientada pelo Dr. Carlos Afonso  
Nobre, aprovada em 13 de abril de  
2012.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3BKDM7E>>

INPE  
São José dos Campos  
2012

## **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) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

## **CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE (RE/DIR-204):**

### **Presidente:**

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

### **Membros:**

Dr. Antonio Fernando Bertachini de Almeida Prado - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

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

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

Dr. Germano de Souza Kienbaum - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

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

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

### **BIBLIOTECA DIGITAL:**

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

### **REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

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

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

### **EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

Ivone Martins - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da  
**Ciência, Tecnologia  
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2012/03.29.22.41-TDI

**PREVISÃO DE EXTREMOS DE CHUVA NO RIO DE  
JANEIRO: MELHORIAS UTILIZANDO O  
CONHECIMENTO ADQUIRIDO COM EVENTOS  
ANTERIORES**

Giovanni Dolif Neto

Tese de doutorado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelo Dr. Carlos Afonso Nobre, aprovada em 13 de abril de 2012.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3BKDM7E>>

INPE  
São José dos Campos  
2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

Neto, Giovanni Dolif.

D869p      Previsão de extremos de chuva no Rio de Janeiro: melhorias utilizando o conhecimento adquirido com eventos anteriores / Giovanni Dolif Neto. – São José dos Campos : INPE, 2012.  
xxii + 160 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m19/2012/03.29.22.41-TDI)

Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012.

Orientador : Dr. Carlos Afonso Nobre.

1. extremos de chuva. 2. padrões sinóticos. 3. previsão de tempo. 4. Rio de Janeiro. 5. análise do trabalho cognitivo.  
I.Título.

CDU 551.509

---

Copyright © 2012 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, reprográfico, de microfilmagem ou outros, sem a permissão escrita do INPE, com exceção de qualquer material fornecido especificamente com o propósito de ser entrado e executado num sistema computacional, para o uso exclusivo do leitor da obra.

Copyright © 2012 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, recording, microfilming, or otherwise, without written permission from INPE, 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 Doutor(a) em  
Meteorologia

Dr. Luciano Ponzi Pezzi



Presidente / INPE / São José dos Campos - SP

Dr. Carlos Afonso Nobre



Orientador(a) / INPE / Cachoeira Paulista - SP

Dra. Karla Maria Longo de Freitas



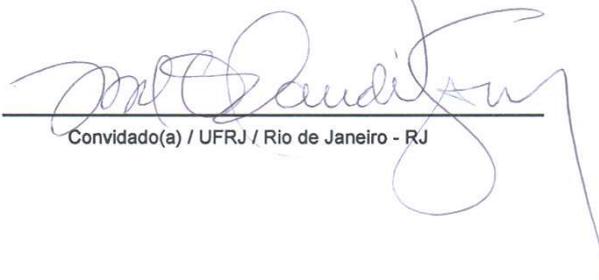
Membro da Banca / INPE / SJCampos - SP

Dr. Marcelo Enrique Seluchi



Convidado(a) / CEMADEN / Cachoeira Paulista - SP

Dr. Jose Orlando Gomes



Convidado(a) / UFRJ / Rio de Janeiro - RJ

Este trabalho foi aprovado por:

( ) maioria simples

(x) unanimidade

Aluno (a): Giovanni Dolif Neto

São José dos Campos, 13 de abril de 2012



*“I also like the idea that ETTOing<sup>1</sup> is fractal, I think this is very right. This has some interesting consequences for how we model systems, specifically that models should be recursive rather than hierarchical.”*

ERIK HOLLNAGEL  
(Comunicação Pessoal, 2011)

---

<sup>1</sup>A sigla *ETTO* significa *Efficiency-Thoroughness Trade-Off*, nome dado a um princípio que busca explicar o porquê de algumas coisas que normalmente dão certo às vezes darem errado (HOLLNAGEL, 2009).



*A minha mãe Ana Maria (in memoriam), a minha esposa  
Juliana e a minha filha, Maria Valentina*



## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar, pois se cheguei até aqui é porque Ele me deu o dom da vida e a saúde.

A minha esposa, Juliana, pela compreensão, paciência e incentivo ao longo de toda a caminhada.

A minha filha que mesmo ainda pequena para entender, tem sido fonte de motivação e de inspiração em cada novo dia.

A minha irmã, Mirella, uma amiga compreensiva que me ajudou a acreditar mesmo nos momentos mais difíceis.

A minha família, um presente que ganhei de Deus e que me acompanha, me motiva e me apóia.

Aos amigos, seja os mais próximos ou aqueles mais distantes, que me apoiaram e me incentivaram.

Aos colegas do INPE que, cada um à sua maneira, contribuíram seja com o conhecimento seja com o incentivo.



## RESUMO

A chuva forte é a maior causa de Desastres Naturais no mundo e também no Brasil. Pela primeira vez, no Brasil, estudou-se a previsão desses eventos de chuva incluindo a análise do trabalho cognitivo do previsor meteorológico. Além disso, foi desenvolvido um método objetivo que compara campos atmosféricos previstos com padrões do passado determinando similaridade entre estes (MeDPAt). O método se mostrou eficiente para a detecção de chuva forte no Rio de Janeiro. O baixo custo computacional do método permite seu uso tanto em pesquisa como em ambiente operacional. Apesar dos grandes avanços nos sistemas de assimilação de dados e na física dos modelos numéricos da atmosfera, as previsões quantitativas de precipitação para limiares acima de 50 mm/24h ainda apresentam baixos índices de acerto. Entretanto, os avisos meteorológicos emitidos para a sociedade não dependem apenas desses modelos matemáticos, mas resultam da interpretação que o previsor faz dessa ferramenta. Portanto, adotou-se uma abordagem na qual a previsão de tempo é o resultado do trabalho de um sistema cognitivo conjunto formado por homem e máquina. Na componente numérica (máquina) deste sistema desenvolveu-se e testou-se um Método para Detecção de Padrões Atmosféricos (MeDPAt). Este método aplicado às previsões operacionais do modelo atmosférico ETA40 revelou uma combinação de variáveis que se mostrou mais eficiente na detecção de eventos de chuva forte na cidade do Rio de Janeiro, formada pela umidade relativa no nível de 900 hPa e vento meridional a 10 metros de altura. Foi possível melhorar em 67% o índice de detecção e diminuir em 39% os alarmes falsos. Além disso, o MeDPAt revelou que variáveis utilizadas em estudos anteriores sobre padrões atmosféricos associados a extremos de chuva na Região Sudeste produzem grande número de alarmes falsos, entre elas destacam-se a pressão ao nível do mar e o geopotencial no nível de 500 hPa. O MeDPAt, da maneira como foi concebido, pode também ser testado na detecção de outros padrões atmosféricos e ainda pode ser aplicado a outros modelos numéricos da atmosfera. Na componente humana estudou-se o trabalho cognitivo de meteorologistas da prefeitura do Rio de Janeiro (AlertaRio), o que revelou grande participação do conhecimento tácito (36%) na previsão de chuva significativa. A análise do trabalho cognitivo permitiu ainda eliciar conhecimento de meteorologistas experientes que, desse modo, pode ser preservado e até compartilhado por meio de mapas conceituais. Além disso, a abordagem conjunta do sistema cognitivo homem-máquina permitiu que fossem revelados pontos críticos e fragilidades como por exemplo o medo do alarme falso e a dificuldade para acessar um grande número de informações num curto intervalo de tempo. Finalmente, esses resultados oferecem uma oportunidade para o futuro desenvolvimento de artefatos mais adequados à cognição do previsor meteorológico no contexto de seu ambiente de trabalho.



# **EXTREME PRECIPITATION FORECASTS IN RIO DE JANEIRO, BRAZIL: IMPROVEMENTS USING PRIOR EVENTS KNOWLEDGE**

## **ABSTRACT**

Intense precipitation events are the commonest cause of Natural Disasters worldwide, including Brazil. While predictions of such disasters could mitigate some of the social and economic impacts associated with such events, accurate predictions are challenging, despite the great improvements in data assimilation, representation of physical processes and atmospheric model output statistics. Strong precipitation events that produce rainfall above 50 mm/day are often misrepresented in numerical models, which may prevent forecasters to issue warnings to the society in advance. When weather forecast centres decide whether to issue warnings, they do not rely solely on results from numerical models; instead forecasters interpret these model results and use their previous knowledge to decide whether a heavy rainfall event is likely. Nonetheless, the forecaster's knowledge and acquired skills are seldom accounted when we assess how well these phenomena can be predicted. Therefore, the aim of this study is to develop a technique that combines a novel methodology that recognises weather patterns associated with intense precipitation; and determines how weather forecasters develop, improve, and share their forecasting skills, a component that has been hitherto neglected. The methods were tested for the predictions of intense precipitation events in Rio de Janeiro, but the technique is general and could be applied anywhere. For the machine component of this study, it was developed and validated a Method for Atmospheric Pattern Detection (MeDPAt), using weather forecast fields from ETA40. This method utilises pattern recognition and neural networks to determine the most important atmospheric states associated with heavy rainfall. When applied to Rio de Janeiro case, it was observed that the combination of relative humidity at 900 hPa and meridional wind at 10 m above ground has the most efficient predictive power, increasing the detection rate by 67% and reducing false alarms by 39%. In addition, MeDPAt results show that fields such as sea level pressure and geopotential height at 500 hPa produced a high rate of false detections, despite previous studies pointing out that they are associated with these events. MeDPAt was conceived in a way that different fields and combination of fields, either from ETA40 or other models, could be easily tested for heavy rainfall or other types of atmospheric phenomena. For the human component, it was analysed the contribution of the cognitive knowledge of meteorologists who work at Rio de Janeiro's system for Heavy Rain Warnings (AlertaRio), and this study found that 36% of the decisions throughout the cognitive process leading to significant rain forecast could be directly attributed to their tacit knowledge. In addition, the cognitive analysis allowed us to elicit and represent in conceptual maps the knowledge of experienced meteorologists, which can be further preserved and shared with younger generations and other institutions. Finally, the joint human-machine approach of the cognitive system revealed critical points (fear to issue a false alarm and difficulties in accessing information) as well as some shortcomings that limit the forecast ability. For example, the development of ergonomic tools such as softwares

that convey the information needed to the forecasters could significantly facilitate the meteorologist's cognition.

## LISTA DE FIGURAS

|   | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| 1.1 Deflagrações de Desastres Naturais no Brasil no período 1900-2006. IN - Inundação, ES - Escorregamento, TE - Tempestade, SE - Seca, TX - Temperatura Extrema, IF - Incêndio Florestal e TR - terremoto. . . . .   | 2           |
| 1.2 Distribuição dos Desastres Naturais por Região do Brasil no período 1900-2006. . . . .  | 3           |
| 1.3 Média da Pontuação Equitativa de Ameaça (do inglês, Equitable Threat Score (ETS)) (ROGERS et al., 1996) da precipitação no Sul e Sudeste do Brasil desde julho de 2009 até janeiro de 2012 para 12 (doze) diferentes modelos utilizados no CPTEC-INPE e 1(um) modelo (GFS) rodado no Centro Nacional de Previsões Ambientais (NCEP) dos Estados Unidos, para previsão de acumulados de precipitação nas primeiras 24 horas. . . . . | 5           |
| 1.4 Média da Pontuação Equitativa de Ameaça (do inglês, Equitable Threat Score (ETS)) (ROGERS et al., 1996) da precipitação em grande parte da Região Sudeste e parte da Região Sul entre janeiro de 2007 e agosto de 2008 para previsão de acumulado de precipitação nas primeiras 24 horas do modelo ETA de 5km (CHOU, 2004) utilizado no CPTEC-INPE. . . . .   | 6           |
| 2.1 Distribuição da rede de 32 pluviômetros da GEORIO no município do Rio de Janeiro dividido por bacia hidrográfica: Sepetiba, Jacarepaguá, Guanabara e Zona Sul. . . . .  | 11          |
| 2.2 Definição de Padrões e Candidatos . . . . .   | 15          |
| 2.3 Mapa de parte do Estado do Rio de Janeiro onde está a cidade do Rio de Janeiro e áreas vizinhas com os valores de altitude no modelo ETA40 para 9 (nove) pontos de grade, com os respectivos valores de abscissa (x) e ordenada (y) nos campos pós-processados do ETA40. . . . .  | 17          |
| 2.4 Gráfico da precipitação acumulada em 24h para os 12 (doze) Eventos Extremos de Chuva no Rio de Janeiro desde o ano 2000 ao ano 2004. Para cada evento foi também graficado o acumulado de chuva nos 3 dias anteriores, totalizando 4 dias de precipitação para cada evento. . . . .   | 18          |

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 2.5 | Gráfico da precipitação acumulada em 24h para os 11 (onze) Eventos Extremos de Chuva no Rio de Janeiro desde o ano 2005 ao ano 2008. Para cada evento foi também graficado o acumulado de chuva nos 3 dias anteriores, totalizando 4 dias de precipitação para cada evento. . . . .   | 20 |
| 2.6 | Topografia dos domínios (A1, A2, A3, A4) da grade do modelo ETA40 utilizados neste trabalho. . . . .  | 23 |
| 3.1 | Frequências Anual (acima) e Mensal (abaixo) dos Eventos Extremos de Chuva (EECs) na cidade do Rio de Janeiro de 2000 a 2010, divididos por sistema sinótico associado: Frente Fria (FF), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS); e Nenhum Sistema Sinótico (NS) . . . . .   | 36 |
| 3.2 | Gráfico com valores de Probabilidade de Detecção (POD - eixo das abscissas) e Razão de Alarme Falso (FAR - eixo das ordenadas) para as seguintes variáveis meteorológicas: Pressão ao Nível do Mar (PMSL); Altura Geopotencial em 500 hPa (HGT500); Anomalia de PMSL (PMSL-Anom); Anomalia de HGT500 (HGT500-Anom), Combinação de PMSL+HGT500; Anomalia da Combinação de PMSL+HGT500 (PMSL+HGT500-Anom); Vento Meridional em 250 hPa (UGRD250) e em 850 hPa (VGRD850) e em 250 hPa (VGRD250); Vento Zonal em 250 hPa (UGRD250) e 850 hPa (UGRD850); Umidade Específica em 850 hPa (SPFH850); Combinação de SPFH850+VGRD850; Combinação de Umidade Relativa em 900 hPa e vento meridional a 10 metros no domínio A1 (RH900+V10M(A1)), no domínio A2 (RH900+V10M(A2)), no domínio A3 (RH900+V10M(A3)) e no domínio A4 (RH900+V10M(A4)); e a variável precipitação gerada pelo próprio modelo ETA40; e uma Previsão Perfeita(Prev_Perfeita). . . . . | 38 |
| 3.3 | Vento meridional a 10m com módulo maior que 5 m/s, com o vento de sul(norte) sombreado na cor azul(vermelha), e umidade relativa de 90% (contorno), para os <b>acertos</b> do experimento com limiar de similaridade de 0.9455 para a variável RH900+V10M(A2). Na coluna da direita estão os candidatos ressonantes com os padrões da coluna da esquerda. Os valores de similaridade entre os pares direita-esquerda são, respectivamente: 0.9486; 0.9455; 0.9542; 0.9616; 0.9564. O ponto preto em 22.9S/43.1W marca a posição do Rio de Janeiro. . . . .  | 40 |

|      |  |    |
|------|--|----|
| 3.4  | Vento meridional a 10m com módulo maior que 5 m/s, com o vento de sul(norte) está sombreado na cor azul(vermelha), e umidade relativa de 90% (contorno), para os <b>alarmes falsos</b> do experimento com limiar de similaridade de 0.9455 para a variável RH900+V10M(A2). Na coluna da direita estão os candidatos ressonantes com os padrões da coluna da esquerda.Os valores de similaridade entre os pares direita-esquerda são, respectivamente: 0.9490; 0.9466; 0.9486; 0.9482. O ponto preto em 22.9S/43.1W indica a localização da cidade do Rio de Janeiro. . . . . | 41 |
| 3.5  | Precipitação Observada na rede de 32 estações da GEORIO - Caso 1 . . .   | 42 |
| 3.6  | Carta Sinótica - Caso 1 . . . . .  | 43 |
| 3.7  | Sondagem - 28/07/2009 às 1200Z - Caso 1 . . . . .  | 44 |
| 3.8  | Raios - Caso 1 . . . . .   | 44 |
| 3.9  | Imagem de Satélite - Infravermelho - Caso 1 . . . . .  | 45 |
| 3.10 | Radar - Caso 1 . . . . .   | 45 |
| 3.11 | Precipitação Observada e Prevista - Caso 1 . . . . .   | 46 |
| 3.12 | Precipitação Observada na rede de 32 estações da GEORIO - Caso 2 . . .   | 46 |
| 3.13 | Carta Sinótica - Caso 2 . . . . .  | 47 |
| 3.14 | Raios - Caso 2 . . . . .   | 48 |
| 3.15 | Imagem de Satélite - Infravermelho - Caso 2 . . . . .  | 48 |
| 3.16 | Radar - Caso 2 . . . . .   | 49 |
| 3.17 | Sondagem - Caso 2 . . . . .  | 50 |
| 3.18 | Precipitação Observada e Prevista - Caso 2 . . . . .   | 50 |
| 3.19 | Precipitação Observada na rede de 32 estações da GEORIO - Caso 3 . . .   | 51 |
| 3.20 | Carta Sinótica - Caso 3 . . . . .  | 52 |
| 3.21 | Sondagem - Caso 3 . . . . .  | 53 |
| 3.22 | Imagem de Satélite - Infravermelho - Caso 3 . . . . .  | 53 |
| 3.23 | Radar - Caso 3 . . . . .   | 54 |
| 3.24 | Raios - Caso 3 . . . . .   | 54 |
| 3.25 | Precipitação Observada e Prevista - Caso 3 . . . . .   | 55 |
| 3.26 | Sala de Trabalho dos previsores meteorológicos da GEORIO. . . . .  | 56 |
| 3.27 | Porcentagem de categorias de apoio à tomada de decisão. Experiência Anterior (EA), Base Teórica (BT), Ferramenta (FE), Colaboração (CO), Pista (PI), Procedimento (PR), Decisão (DE). . . . .  | 57 |
| 3.28 | Mapa Conceitual dos processos cognitivos durante a previsão de um evento de chuva - Caso 1. . . . .  | 60 |
| 3.29 | Mapa Conceitual dos processos cognitivos durante a previsão de um evento de chuva - Diagnóstico - Caso 1. . . . .  | 61 |

|      |   |    |
|------|---|----|
| 3.30 | Mapa Conceitual dos processos cognitivos durante a previsão de um evento de chuva - Prognóstico - Caso 1. . . . .                               | 61 |
| 3.31 | Mapa Conceitual dos processos cognitivos durante a previsão de um evento de chuva - História por trás da História - Caso 1. . . . .             | 62 |
| 3.32 | Mapa Conceitual dos processos cognitivos durante a previsão de um evento de chuva - Caso 2. . . . .   | 63 |
| 3.33 | Mapa Conceitual dos processos cognitivos durante a previsão de um evento de chuva - M1A - Caso 2. . . . .                                       | 63 |
| 3.34 | Mapa Conceitual dos processos cognitivos durante a previsão de um evento de chuva - M1B - Caso 2. . . . .                                       | 64 |
| 3.35 | Mapa Conceitual dos processos cognitivos durante a previsão de um evento de chuva - Diagnóstico - M1A - Caso 2. . . . .                         | 64 |
| 3.36 | Mapa Conceitual dos processos cognitivos durante a previsão de um evento de chuva - Diagnóstico - M1B - Caso 2. . . . .                         | 65 |
| 3.37 | Mapa Conceitual dos processos cognitivos durante a previsão de um evento de chuva - Prognóstico - M1A - Caso 2. . . . .                         | 65 |
| 3.38 | Mapa Conceitual dos processos cognitivos durante a previsão de um evento de chuva - Prognóstico - M1B - Caso 2. . . . .                         | 66 |
| 3.39 | Mapa Conceitual dos processos cognitivos durante a previsão de um evento de chuva - História por Trás da História (HTH) - M1A - Caso 2. . . . . | 66 |
| 3.40 | Mapa Conceitual dos processos cognitivos durante a previsão de um evento de chuva - História por Trás da História (HTH) - M1B - Caso 2. . . . . | 67 |
| 3.41 | Mapa Conceitual dos processos cognitivos durante a previsão de um evento de chuva - Caso 3. . . . .   | 68 |
| 3.42 | Mapa Conceitual dos processos cognitivos durante a previsão de um evento de chuva - Diagnóstico - M1A - Caso 3. . . . .                         | 68 |
| 3.43 | Mapa Conceitual dos processos cognitivos durante a previsão de um evento de chuva - Prognóstico - M1A - Caso 3. . . . .                         | 69 |
| 3.44 | Mapa Conceitual dos processos cognitivos durante a previsão de um evento de chuva - Prognóstico - M1D - Caso 3. . . . .                         | 69 |
| 3.45 | Mapa Conceitual dos processos cognitivos durante a previsão de um evento de chuva - História por Trás da História (HTH) - M1A - Caso 3. . . . . | 70 |
| 4.1  | Mapa Conceitual dos processos cognitivos de um previsor meteorológico.  | 73 |

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 4.2  | Mapa Conceitual dos Processos Cognitivos de um Previsor Meteorológico<br>- Diagnóstico . . . . .  | 74  |
| 4.3  | Mapa Conceitual dos Processos Cognitivos de um Previsor Meteorológico<br>- Diagnóstico por Satélite . . . . .   | 74  |
| 4.4  | Mapa Conceitual dos Processos Cognitivos de um Previsor Meteorológico<br>- Diagnóstico por Radar . . . . .  | 75  |
| 4.5  | Mapa Conceitual dos Processos Cognitivos de um Previsor Meteorológico<br>- Diagnóstico por Cartas Sinóticas . . . . .   | 75  |
| 4.6  | Mapa Conceitual dos Processos Cognitivos de um Previsor Meteorológico<br>- Diagnóstico por Sondagem Atmosférica . . . . .   | 76  |
| 4.7  | Mapa Conceitual dos Processos Cognitivos de um Previsor Meteorológico<br>- Prognóstico . . . . .  | 77  |
| 4.8  | Mapa Conceitual dos Processos Cognitivos de um Previsor Meteorológico<br>- Prognóstico com Modelo Numérico . . . . .  | 78  |
| 4.9  | Mapa Conceitual dos Processos Cognitivos de um Previsor Meteorológico<br>- Prognóstico com Radar . . . . .  | 79  |
| 4.10 | Mapa Conceitual dos Processos Cognitivos de um Previsor Meteorológico<br>- Prognóstico com Sondagem . . . . .   | 79  |
| 4.11 | Gráfico qualitativo da relação entre recursos e demanda com necessidade<br>constante e diminuição da disponibilidade. . . . .   | 81  |
| 4.12 | Gráfico qualitativo da relação entre recursos e demanda com aumento da<br>necessidade e disponibilidade constante. . . . .  | 82  |
| 4.13 | Evolução Temporal da Intensidade de Atividade Cognitiva de um previsor<br>meteorológico ao longo de um dia de trabalho. . . . .   | 83  |
| A.1  | Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> em cada um dos 32 pluviôme-<br>tros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo)<br>para o evento de 03 de janeiro de 2000. . . . .   | 104 |
| A.2  | Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> em cada um dos 32 pluviôme-<br>tros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo)<br>para o evento de 17 de fevereiro de 2000. . . . . | 105 |
| A.3  | Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> em cada um dos 32 pluviôme-<br>tros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo)<br>para o evento de 19 de março de 2000. . . . .     | 106 |
| A.4  | Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> em cada um dos 32 pluviôme-<br>tros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo)<br>para o evento de 24 de dezembro de 2001. . . . .  | 107 |

|      |   |     |
|------|---|-----|
| A.5  | Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 03 de fevereiro de 2002. . . . . | 108 |
| A.6  | Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 25 de janeiro de 2003. . . . .   | 109 |
| A.7  | Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 18 de março de 2003. . . . .     | 110 |
| A.8  | Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 07 de abril de 2003. . . . .     | 111 |
| A.9  | Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 26 de agosto de 2003. . . . .    | 112 |
| A.10 | Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 12 de outubro de 2003. . . . .   | 113 |
| A.11 | Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 03 de novembro de 2003. . . . .  | 114 |
| A.12 | Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 07 de fevereiro de 2004. . . . . | 115 |
| A.13 | Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 26 de novembro de 2005. . . . .  | 116 |
| A.14 | Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 05 de janeiro de 2006. . . . .   | 117 |
| A.15 | Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 28 de janeiro de 2006. . . . .   | 118 |
| A.16 | Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 18 de abril de 2006. . . . .     | 119 |

|  |     |
|--|-----|
| A.17 Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 24 de maio de 2006. . . . .      | 120 |
| A.18 Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 12 de fevereiro de 2007. . . . . | 121 |
| A.19 Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 24 de outubro de 2007. . . . .   | 122 |
| A.20 Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 25 de outubro de 2007. . . . .   | 123 |
| A.21 Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 13 de dezembro de 2007. . . . .  | 124 |
| A.22 Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 14 de dezembro de 2007. . . . .  | 125 |
| A.23 Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 14 de março de 2008. . . . .     | 126 |
| A.24 Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 22 de janeiro de 2009. . . . .   | 127 |
| A.25 Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 12 de fevereiro de 2009. . . . . | 128 |
| A.26 Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 05 de dezembro de 2009. . . . .  | 129 |
| A.27 Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 31 de dezembro de 2009. . . . .  | 130 |
| A.28 Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 15 de janeiro de 2010. . . . .   | 131 |

|      |   |     |
|------|---|-----|
| A.29 | Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 07 de março de 2010. . . . .   | 132 |
| A.30 | Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 06 de abril de 2010. . . . .   | 133 |
| A.31 | Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 07 de abril de 2010. . . . .   | 134 |
| A.32 | Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 06 de dezembro de 2010. . . . .  | 135 |
| B.1  | Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> (linha verde) e <b>Prevista - Modelo Atmosférico INPE/CPTEC/ETA40 - (43.16W;22.90S)</b> (barras azuis) para os eventos Extremos de Chuva no Rio de Janeiro desde janeiro de 2000 a janeiro de 2003 - Período dos <b>Padrões</b> . . . . .    | 138 |
| B.2  | Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> (linha verde) e <b>Prevista - Modelo Atmosférico INPE/CPTEC/ETA40 - (43.16W;22.90S)</b> (barras azuis) para os eventos Extremos de Chuva no Rio de Janeiro desde fevereiro de 2003 a dezembro de 2004 - Período dos <b>Padrões</b> . . . . . | 139 |
| B.3  | Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> (linha verde) e <b>Prevista - Modelo Atmosférico INPE/CPTEC/ETA40 - (43.16W;22.90S)</b> (barras azuis) para os eventos Extremos de Chuva no Rio de Janeiro desde janeiro de 2005 a setembro de 2007 - Período dos <b>Padrões</b> . . . . .   | 140 |
| B.4  | Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> (linha verde) e <b>Prevista - Modelo Atmosférico INPE/CPTEC/ETA40 - (43.16W;22.90S)</b> (barras azuis) para os eventos Extremos de Chuva no Rio de Janeiro desde outubro de 2007 a dezembro de 2008 - Período dos <b>Padrões</b> . . . . .   | 141 |
| B.5  | Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> (linha verde) e <b>Prevista - Modelo Atmosférico INPE/CPTEC/ETA40 - (43.16W;22.90S)</b> (barras azuis) para os eventos Extremos de Chuva no Rio de Janeiro em 2009 - Período dos <b>Candidatos</b> . . . . .                                 | 142 |
| B.6  | Precipitação Horária (mm/h) <b>Observada</b> (linha verde) e <b>Prevista - Modelo Atmosférico INPE/CPTEC/ETA40 - (43.16W;22.90S)</b> (barras azuis) para os eventos Extremos de Chuva no Rio de Janeiro em 2010 - Período dos <b>Candidatos</b> . . . . .                                 | 143 |

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| C.1 | Campos do Modelo ETA40 de rh900+v10m_A2 desde Janeiro de 2000 até Abril de 2003. Todos são <b>PADRÕES</b> .   | 146 |
| C.2 | Campos do Modelo ETA40 de rh900+v10m_A2 desde Agosto de 2003 até Abril de 2006. Todos são <b>PADRÕES</b> .  | 147 |
| C.3 | Campos do Modelo ETA40 de rh900+v10m_A2 desde Maio de 2006 até Janeiro de 2009. Todos são <b>PADRÕES</b> , com exceção dos campos de 2009 que são <b>CANDIDATOS</b> . | 148 |
| C.4 | Campos do Modelo ETA40 de rh900+v10m_A2 desde Fevereiro de 2009 até Dezembro de 2010. São todos <b>CANDIDATOS</b> .   | 149 |
| A.1 | CrITÉRIOS para se definir um evento chuvoso.  | 156 |
| A.2 | Quadro do Plano de Monitoramento de Chuvas Intensas.  | 157 |
| A.3 | Ficha de Monitoramento das Condições Meteorológicas.  | 158 |
| A.4 | Matriz de Auxílio à Decisão de Emissão de Boletim de Alerta.  | 159 |
| A.5 | NÍVEIS de Alerta de Escorregamentos.  | 160 |



## LISTA DE TABELAS

|  | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| 2.1 Lista dos 32 EECs na cidade do Rio de Janeiro desde 2000 até 2010 com respectivos valores de precipitação média e sistema sinótico associado: Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Frente Fria (FF) e não-sinótico (NS). A tabela está dividida em dois períodos: Período dos Padrões (2000 a 2008) e Período dos Candidatos (2009 a 2010). . . . . | 13          |
| 2.2 Variáveis do modelo ETA40 com correlação em módulo maior que 0.5 e significância estatística maior que 0.95 no teste T-Student. . . . .  | 19          |
| 2.3 Variáveis e níveis utilizados nos experimentos. L, SC e VR são campos também utilizados por Lima e Satyamurti (2010), Seluchi e Chou (2009), Ramirez et al. (2005), respectivamente. A marca N indica as variáveis que foram utilizadas apenas nesse trabalho. . . . .   | 20          |
| 2.4 Dimensões da grade do modelo ETA40 para cada domínio utilizado. . . .  | 23          |
| 2.5 Identificação e qualificação dos previsores que participaram da pesquisa.  | 26          |
| 2.6 Duração e número de entrevistas com os previsores meteorológicos para cada grupo de pesquisadores. . . . .   | 27          |



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|           |  |
|-----------|--|
| AlertaRio | - Sistema de Alerta de Chuvas do Rio de Janeiro                        |
| BRT       | - Horário de Brasília  |
| BRST      | - Horário de verão em Brasília   |
| CDM       | - Método de Decisões Críticas  |
| CPTEC     | - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos                     |
| CTA       | - Análise do Trabalho Cognitivo  |
| EEC       | - Evento Extremo de Chuva  |
| EMDAT     | - Banco de Dados de Desastres Naturais no Mundo                        |
| ETA40     | - Modelo Atmosférico ETA40 rodado no CPTEC-INPE                        |
| ETA20     | - Modelo Atmosférico ETA20 rodado no CPTEC-INPE                        |
| GEORIO    | - Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro      |
| GMT       | - Horário do meridiano de Greenwich                                    |
| INPE      | - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais                            |
| MEDPAAt   | - Método para Detecção de Padrões Atmosféricos                         |
| MM5       | - Modelo de Mesoescala da Atmosf. da Universidade da Pensilvânia, EUA. |
| PC        | - Período de tempo do qual são extraídos os Candidatos (2009-2010)     |
| PMCI      | - Plano de Monitoramento de Chuvas Intensas                            |
| PNT       | - Previsão Numérica do Tempo   |
| PP        | - Período de tempo do qual são extraídos os Padrões (2000-2008)        |
| PPGI      | - Programa de Pós Graduação em Informática                             |
| RINDAT    | - Rede Integrada Nacional de Detecção de Descargas Atmosféricas        |
| REDEMET   | - Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica                       |
| SWET      | - Índice da Instabilidade Atmosférica (Severe WEATHer)                 |
| T213      | - Modelo Atmosférico T213 rodado no CPTEC-INPE                         |
| T126      | - Modelo Atmosférico T126 rodado no CPTEC-INPE                         |
| TOTL      | - Índice da Instabilidade Atmosférica (Total-Totals)                   |
| TT        | - Índice da Instabilidade Atmosférica (Total-Totals)                   |
| TOTALS    | - Índice da Instabilidade Atmosférica (Total-Totals)                   |
| UFRJ      | - Universidade Federal do Rio de Janeiro                               |
| UTC       | - Horário Universal, mesmo que horário do meridiano de Greenwich (GMT) |
| ZCAS      | - Zona de Convergência do Atlântico Sul                                |
| Z         | - Horário Zulu, mesmo que horário do meridiano de Greenwich (GMT)      |



## SUMÁRIO

|   | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> . . . . .   | <b>1</b>    |
| 1.1 Previsão de Tempo e Desastres Naturais . . . . .  | 1           |
| 1.2 Previsão Quantitativa da Precipitação . . . . .   | 4           |
| 1.3 Padrões Atmosféricos dos Eventos Extremos de Chuva . . . . .  | 7           |
| 1.4 Análise do Trabalho Cognitivo de Meteorologistas no Rio de Janeiro . . . . .                              | 8           |
| 1.5 Objetivos . . . . .   | 9           |
| <br>  |             |
| <b>2 DADOS E METODOLOGIA</b> . . . . .  | <b>11</b>   |
| 2.1 Dados de Precipitação e Definição de Evento Extremo de Chuva - <i>EEC</i> . . . . .                       | 11          |
| 2.2 Dados do Modelo Numérico da Atmosfera ETA40 . . . . .   | 14          |
| 2.2.1 Definição de <i>Padrão</i> e <i>Candidato</i> . . . . .   | 14          |
| 2.2.2 Escolha das Variáveis Meteorológicas . . . . .  | 16          |
| 2.3 Método para Detecção de Padrões Atmosféricos - <i>MeDPAt</i> . . . . .                                    | 23          |
| 2.3.1 Passo 1 - Preparação dos Dados de PNT . . . . .   | 24          |
| 2.3.2 Passo 2 - Cálculo da Similaridade entre os Campos Atmosféricos . . . . .                                | 25          |
| 2.4 Análise do Trabalho Cognitivo de Meteorologistas do AlertaRio . . . . .                                   | 26          |
| 2.4.1 Método de Decisões Críticas (CDM) . . . . .   | 29          |
| 2.4.1.1 Identificação dos Eventos . . . . .   | 29          |
| 2.4.1.2 Construção da linha do tempo . . . . .  | 30          |
| 2.4.1.3 Aprofundamento - A História por Trás da História (HTH) . . . . .                                      | 30          |
| 2.4.1.4 Testes de Hipóteses . . . . .   | 31          |
| 2.4.2 Análise dos aspectos cognitivos no trabalho do meteorologista . . . . .                                 | 31          |
| 2.4.3 eliciação e Representação do Conhecimento - Mapas Conceituais . . . . .                                 | 32          |
| <br>  |             |
| <b>3 RESULTADOS</b> . . . . .   | <b>35</b>   |
| 3.1 Histórico dos Extremos de Chuva no Rio de Janeiro na última década . . . . .                              | 35          |
| 3.2 Método para a Detecção de Padrões Atmosféricos de Eventos Extremos de Chuva - <i>MeDPAt-EEC</i> . . . . . | 37          |
| 3.3 Análise Meteorológica de Casos de Chuva Significativa . . . . .   | 42          |
| 3.3.1 Caso - 1 (28/07/2009) . . . . .   | 42          |
| 3.3.2 Caso - 2 (21/01/2009) . . . . .   | 43          |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 3.3.3    | Caso - 3 (29/06/2009)  | 49         |
| 3.4      | Análise do Trabalho Cognitivo de Meteorologistas   | 56         |
| 3.4.1    | Previsão de Chuva Significativa  | 58         |
| <b>4</b> | <b>ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>  | <b>71</b>  |
| 4.1      | Extremos de Chuva e seus padrões no Rio de Janeiro   | 71         |
| 4.2      | Método para a Detecção de Padrões Atmosféricos de Eventos Extremos de Chuva - MeDPAt-EEC                                   | 71         |
| 4.3      | Análise do Trabalho Cognitivo  | 72         |
| 4.3.1    | Atividade Cognitiva de Meteorologistas na previsão de Chuva Significativa  | 73         |
| 4.3.2    | Pontos Críticos e Fragilidades   | 84         |
| <b>5</b> | <b>CONCLUSÕES</b>  | <b>89</b>  |
| 5.1      | Método para a Detecção de Padrões Atmosféricos de Eventos Extremos de Chuva - MeDPAt-EEC                                   | 89         |
| 5.2      | Análise do Trabalho Cognitivo de Meteorologistas e eliciação do Conhecimento   | 90         |
|          | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>  | <b>93</b>  |
|          | <b>APÊNDICE A - GRÁFICOS DA PRECIPITAÇÃO OBSERVADA NA REDE DE 32 PLUVIÔMETROS DA GEORIO PARA OS 32 EECs de 2000 a 2010</b> | <b>103</b> |
|          | <b>APÊNDICE B - EVENTOS EXTREMOS DE CHUVA NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO DE 2000 A 2010 - OBSERVAÇÃO VERSUS PREVISÃO</b>      | <b>137</b> |
|          | <b>APÊNDICE C - CAMPOS ATMOSFÉRICOS de RH900+v10m PARA OS 32 EECs - 2000 a 2010</b>  | <b>145</b> |
|          | <b>APÊNDICE D - QUESTIONÁRIO APLICADO NO MÉTODO DE DECISÕES CRÍTICAS (CDM)</b>   | <b>151</b> |
| D.1      | Fase 1   | 151        |
| D.2      | Fase 2   | 151        |
| D.3      | Fase 3   | 151        |
| D.4      | Fase 4   | 153        |

|   |            |
|---|------------|
| <b>ANEXO A - PROCEDIMENTOS, CRITÉRIOS E FORMULÁRIOS</b>                   |            |
| <b>DO ALERTARIO PARA APOIO À TOMADA DE DECISÃO . . .</b>                  | <b>155</b> |
| A.1 Procedimentos do AlertaRio para Auxílio à Tomada de Decisão . . . . . | 155        |



# 1 INTRODUÇÃO

Imagine uma esfera girando que tenha 12.800 km de diâmetro. E imagine também que essa esfera tenha uma superfície irregular, que ela seja envolvida por uma mistura de gases com 40 quilômetros de profundidade cujas concentrações variam no espaço e no tempo, e que essa mistura de gases seja aquecida por um reator nuclear a 150 milhões de quilômetros de distância. Imagine também que essa esfera esteja girando em torno desse reator nuclear e que algumas áreas são mais aquecidas durante uma parte da revolução e outras mais aquecidas durante outra fase da revolução. E imagine que essa mistura de gases recebe entradas da superfície abaixo, geralmente de forma tranquila, mas às vezes de forma violenta e localizada. Então imagine que depois de ver todos esses processos aos quais essa mistura de gases é submetida pedissem para você prever o estado dela num determinado ponto dessa esfera e num determinado instante um, dois ou mais dias à frente no tempo. Bem, essa é, basicamente, a tarefa encarada dia-a-dia pelo meteorologista previsor do tempo. (RYAN, 1982, tradução nossa)

## 1.1 Previsão de Tempo e Desastres Naturais

Talvez não seja exagero dizer que a própria história da humanidade, em diversos momentos, é determinada pela sua capacidade de se antecipar e se preparar para a ocorrência de eventos naturais extremos (MARCELINO, 2008).

Quando esses extremos da natureza atingem áreas ocupadas ou utilizadas pelo homem, resultando em danos (materiais e humanos) e prejuízos sócio-econômicos, estes são considerados *desastres naturais* (KOBAYAMA et al., 2006). O relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) (IPCC, 2007) mostra que nas últimas décadas registrou-se no mundo um aumento significativo no número de desastres naturais e de eventos hidrometeorológicos extremos. Em 2010 os Desastres Hidrológicos foram os mais numerosos no mundo. Essa categoria representou 56.1% do número total de desastres. Esse cenário é similar à média anual de número de desastres ao longo da última década (GUHA-SAPIR et al., 2011).

Estes desastres naturais causados por eventos hidrometeorológicos extremos podem ocorrer em qualquer parte do planeta, uma vez que os fenômenos atmosféricos extremos acontecem em qualquer continente ou país. Entretanto, existem diferenças regionais dos impactos desses desastres devido à heterogeneidade espacial na frequência e na intensidade dos fenômenos atmosféricos e também na vulnerabilidade do sistema social. Dados do EM-DAT <sup>1</sup> (SCHEUREN et al., 2007) mostram que, no mundo,

---

<sup>1</sup>Para que um desastre entre na base de dados pelo menos um dos seguintes critérios deve ser satisfeito: (1) registro de morte de 10 ou mais pessoas; (2) registro de pelo menos 100 pessoas

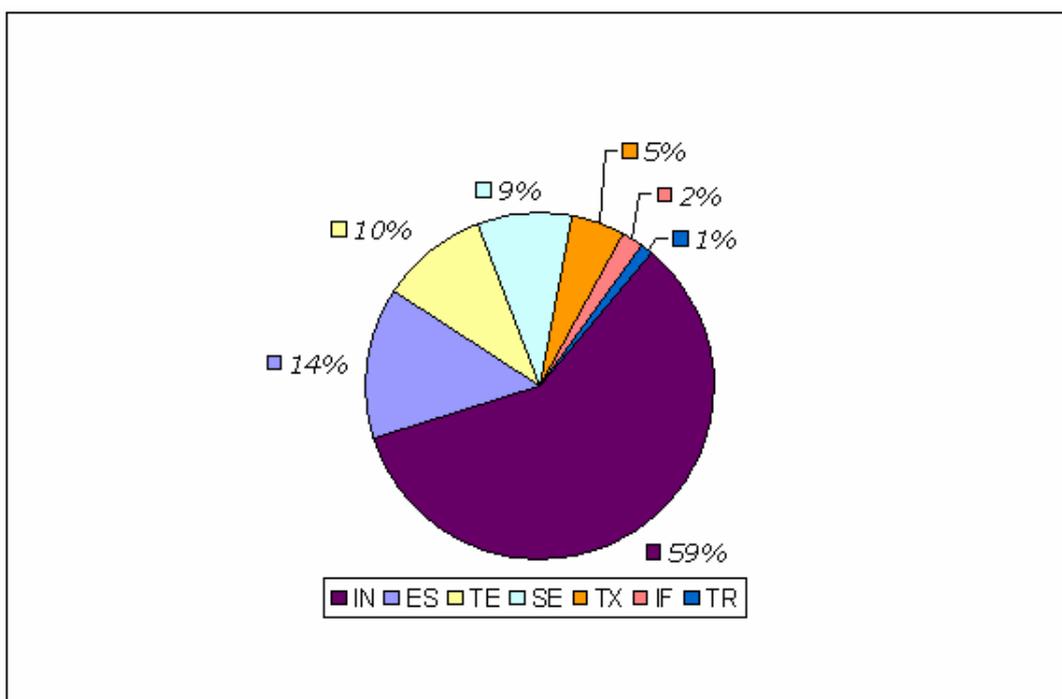


Figura 1.1 - Deflagradores de Desastres Naturais no Brasil no período 1900-2006. IN - Inundação, ES - Escorregamento, TE - Tempestade, SE - Seca, TX - Temperatura Extrema, IF - Incêndio Florestal e TR - terremoto.  
 Fonte: Adaptado de Marcelino (2008)

entre 1900 e 2006, os desastres naturais com maior número de registros foram deflagrados por inundações (35%), seguidas das tempestades (31%). Isso significa que a maior parte (66%) dos desastres naturais registrados no mundo em mais de cem anos foram causados por eventos meteorológicos extremos.

No Brasil, os extremos meteorológicos também são a principal causa dos desastres naturais. A figura 1.1 mostra que as inundações foram o tipo de desastre natural mais frequentemente registrado (59%), seguidas pelos escorregamentos de massa (14%). Esses dados mostram que mais de 70% dos desastres naturais registrados no Brasil em mais de um século foram causados por eventos extremos de precipitação. Apesar das inundações serem os processos que produzem as maiores perdas econômicas e os impactos mais significativos na saúde pública, são os escorregamentos que geram o maior número de vítimas fatais (CARVALHO; GALVÃO, 2006). Entre 1900 e 2006 foram registrados 150 desastres naturais no Brasil e foram contabilizadas 8.183 ví-

---

afetadas; (3) declaração de estado de emergência; (4) pedido de assistência internacional

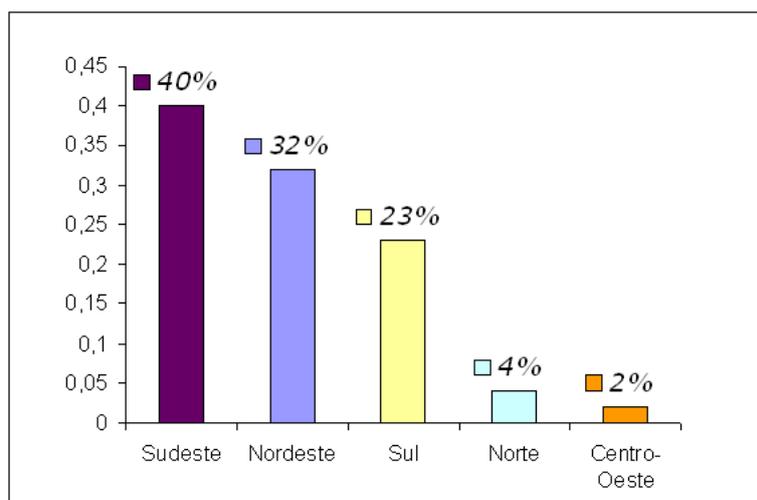


Figura 1.2 - Distribuição dos Desastres Naturais por Região do Brasil no período 1900-2006.

Fonte: Adaptado de Marcelino (2008)

timas fatais e perdas econômicas da ordem de 10 bilhões de dólares (SCHEUREN et al., 2007).

Os dados revelam uma tendência de aumento na frequência desses desastres no Brasil. A maior parte deles (84%) foram registrados a partir dos anos 70, mostrando um considerável aumento no número de registros de desastres naturais nas últimas décadas. Além disso, mais recentemente, Teixeira e Satyamurti (2011) encontraram também um aumento na frequência de EECs no Sul e no Sudeste do Brasil.

A distribuição espacial dos desastres naturais no Brasil (figura 1.2) mostra que a região do país que apresenta o maior número de registros é a Região Sudeste, com 40% do total.

Pode-se sintetizar as informações acima sobre desastres naturais no Brasil da seguinte forma:

- No Brasil o número de registros de desastres naturais aumentou nas últimas décadas;
- A Região Sudeste responde por grande parte (40%) dos desastres naturais ocorridos no Brasil;

- A chuva é a principal causa de desastres naturais no Brasil;

A precipitação é, portanto, a variável meteorológica de maior importância na ocorrência de desastres naturais no Sudeste do Brasil. Por esse motivo as previsões meteorológicas da quantidade de precipitação para uma determinada região num determinado momento precisam ter antecedência e detalhamento suficientes para permitir que a sociedade possa se preparar e minimizar os impactos negativos.

## 1.2 Previsão Quantitativa da Precipitação

A Previsão Quantitativa da Precipitação (QPF), assim como a previsão de suas características espaciais e temporais não é uma tarefa simples e nem trivial. Diversos fatores e situações contribuem para que determinados mecanismos responsáveis pela chuva estejam presentes ou ausentes. Pode-se dizer, inclusive, que a precipitação é um resultado da interação de fenômenos de diferentes escalas espaciais e temporais. Portanto, o conhecimento da situação e evolução da atmosfera nestas diferentes visões deve ser levado em consideração para que todos os atributos da chuva (localização, intensidade e duração) possam ser previstos com antecedência e detalhamento suficientes para permitir que uma determinada comunidade se prepare para recebê-la. No entanto, a QPF está na área de destreza mais pobre nos sistemas de previsão numérica em todo o mundo (FRITSCH; CARBONE, 2004; WANG; SEAMAN, 1997). No Brasil, o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) integra diferentes modelos numéricos da atmosfera para gerar previsão de tempo. Dentre eles, um dos mais utilizados na previsão de tempo operacional na última década é o modelo ETA40 (MESINGER *et al.*, 1988; BLACK, 1994; CHOU *et al.*, 2005), que possui uma grade regular com distância de 40 km entre os pontos.

Avaliações da destreza do ETA40 para diferentes períodos mostram que a quantidade de precipitação gerada por este sobre a América do Sul tende a ser subestimada para grandes volumes (CHOU; SILVA, 1999b; BUSTAMANTE *et al.*, 1999; CERQUEIRA, 2005). Além disso os resultados dessas avaliações mostraram que o modelo prevê melhor a precipitação nas latitudes médias e na região Amazônica (gráficos não mostrados aqui), ou seja, na Região Sudeste do Brasil a qualidade das previsões é inferior.

A figura 1.3 mostra os valores da Pontuação Equitativa de Ameaça (do inglês Equi-

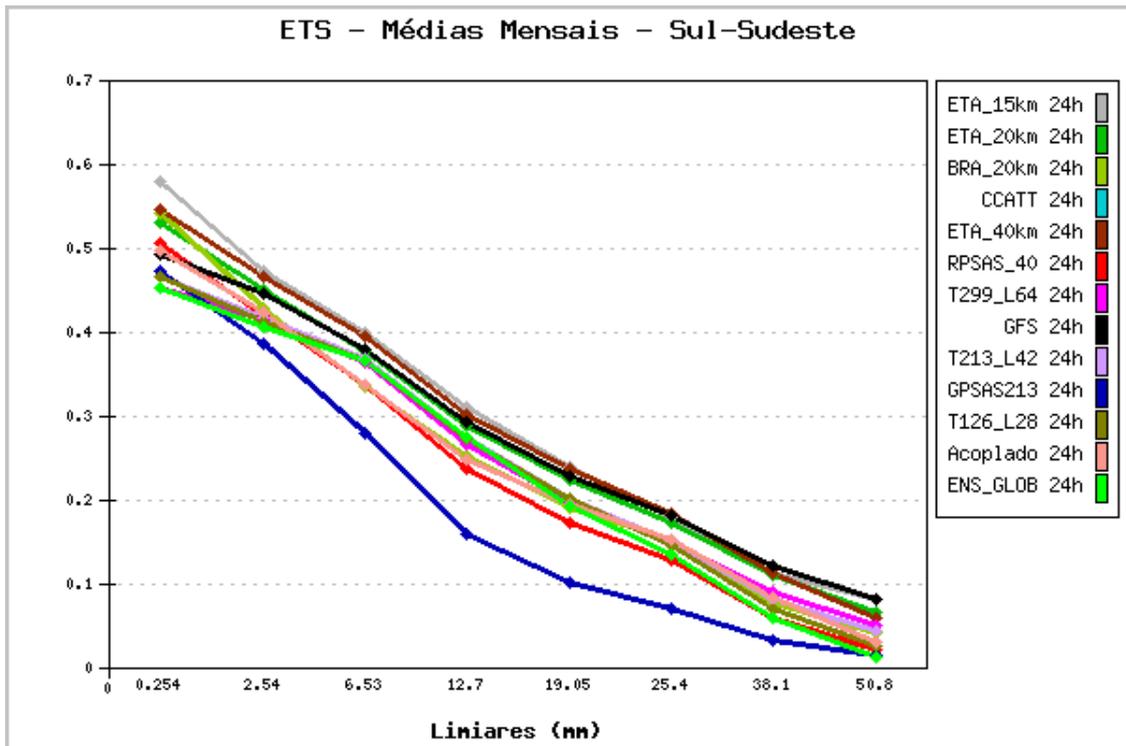


Figura 1.3 - Média da Pontuação Equitativa de Ameaça (do inglês, Equitable Threat Score (ETS)) (ROGERS et al., 1996) da precipitação no Sul e Sudeste do Brasil desde julho de 2009 até janeiro de 2012 para 12 (doze) diferentes modelos utilizados no CPTEC-INPE e 1(um) modelo (GFS) rodado no Centro Nacional de Previsões Ambientais (NCEP) dos Estados Unidos, para previsão de acumulados de precipitação nas primeiras 24 horas.

Fonte: <http://www6.cptec.inpe.br/iodopweb/avalweb/QPF/phps/index.php>

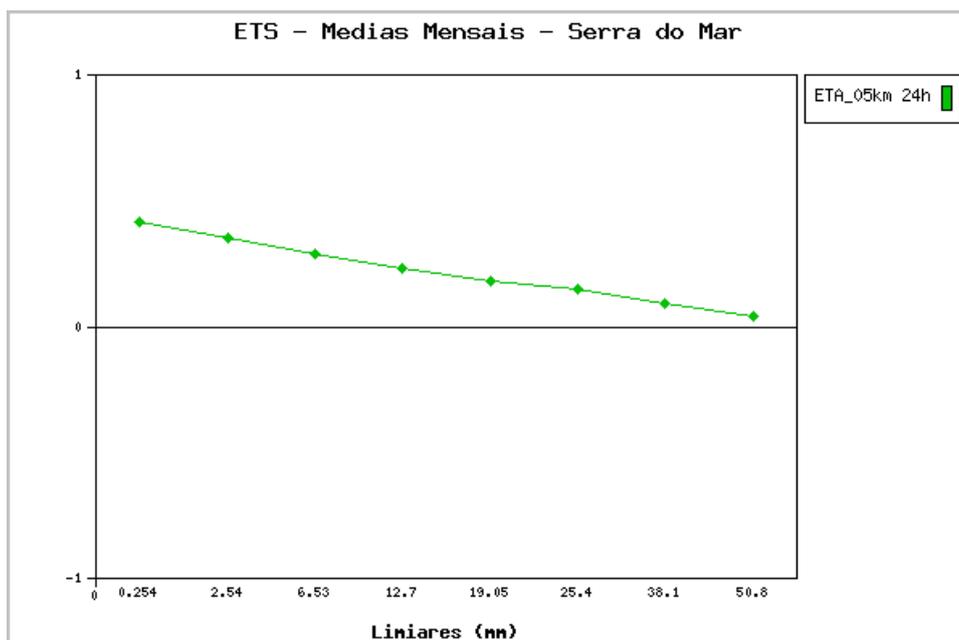


Figura 1.4 - Média da Pontuação Equitativa de Ameaça (do inglês, Equitable Threat Score (ETS)) (ROGERS et al., 1996) da precipitação em grande parte da Região Sudeste e parte da Região Sul entre janeiro de 2007 e agosto de 2008 para previsão de acumulado de precipitação nas primeiras 24 horas do modelo ETA de 5km (CHOU, 2004) utilizado no CPTEC-INPE.

Fonte: <http://www6.cptec.inpe.br/iodopweb/avalweb/SMAR/QPF/phps/>

table Threat Score - ETS) (ROGERS et al., 1996) média na América do Sul e média entre julho de 2009 e janeiro de 2012 para o ETA40 e também para todos os outros modelos rodados operacionalmente no CPTEC-INPE naquele período. Além disso, na mesma figura também se encontra o modelo americano *GFS*, rodado no Centro Nacional de Previsões Ambientais (NCEP) dos Estados Unidos. O índice ETS fornece uma medida da destreza do modelo em distribuir espacialmente a quantidade de precipitação para os seguintes limiares: 0.254 mm, 2.54 mm, 6.53 mm, 12.7 mm, 19.05 mm, 25.4 mm, 38.1mm e 50.8 mm <sup>2</sup>. Quanto maiores os valores de ETS melhores são as previsões. Nota-se que não é apenas o modelo ETA40 que possui baixa destreza para volumes significativos de precipitação (maior que 50.8 mm), mas todos os modelos apresentam tendência semelhante. Esse mesmo índice foi calculado para a América do Sul (figura não mostrada aqui) e os resultados obtidos também se

<sup>2</sup>Esses limiares não apresentam valores inteiros pois foram adaptados de trabalhos em centros de previsão numérica de países em que a unidade utilizada é a *polegada* ("). Os respectivos valores em polegadas seriam: 0.01", 0.1", 0.25", 0.5", 0.75", 1", 1.5" e 2".

assemelham aos da figura 1.3. Mesma semelhança é encontrada também nos prazos de previsão maiores do que 24 horas (figura não mostrada aqui).

Mesmo em resoluções bastante altas como a do modelo ETA com 5km x 5km de resolução, a destreza das previsões de volume de precipitação caem bastante à medida em que avaliam-se volumes de chuva maiores. Pode-se notar na figura 1.4 que para limiares de chuva maiores os valores de ETS se aproximam de zero.

Em suma, a baixa destreza das QPFs aliada ao grande impacto dos extremos de precipitação na sociedade deixam evidente a necessidade de buscar novos conhecimentos, entendimentos e métodos que permitam melhorar as previsões quantitativas de precipitação de chuva forte, especialmente os eventos de chuva com acumulados acima de 50.8 mm/24h.

### 1.3 Padrões Atmosféricos dos Eventos Extremos de Chuva

Os Eventos Extremos de Chuva (EECs) já ocasionaram grandes tragédias no Brasil, a maior delas ocorrida recentemente na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro em janeiro de 2011, quando cerca de 900 pessoas perderam a vida e outras centenas ficaram desaparecidas. Ainda no Estado do Rio de Janeiro, e também recentemente, entre 4 e 6 de abril de 2010 cerca de 300 pessoas perderam a vida em deslizamentos de terra na cidade do Rio de Janeiro e no município vizinho de Niterói. Inúmeros outros desastres naturais causados por EECs foram registrados no Rio de Janeiro no passado, como por exemplo, nos anos de 1966, 1988, 1996, 1998 (DERECZYNSKI et al., 2009).

Estudos anteriores sobre EECs no Sudeste do Brasil aumentaram consideravelmente o conhecimento das características e anomalias do escoamento atmosférico relacionados a eles. Atualmente sabe-se que os EECs estão principalmente associados a dois sistemas meteorológicos de escala sinótica: *Frente Fria*(FF) e *Zona de Convergência do Atlântico Sul* (ZCAS) (LIMA; SATYAMURTI, 2010; SELUCHI; CHOU, 2009; CARVALHO et al., 2002; CARVALHO et al., 2004; VASCONCELLOS; CAVALCANTI, 2010; DERECZYNSKI et al., 2009). No entanto, esse conhecimento não está presente nos modelos numéricos e a sua utilização depende da análise subjetiva do previsor meteorológico e de métodos objetivos de pós-processamento das previsões numéricas. Entretanto, não são encontrados na literatura trabalhos que avaliem a eficácia do uso desses padrões na previsão dos EECs.

Portanto, uma questão-chave ainda resta em aberto: *Padrões sinóticos conhecidos associados a extremos de chuva podem ser utilizados por meteorologistas de forma objetiva e eficiente na previsão de tais eventos?* Uma resposta positiva a essa questão poderia ser transformada em maior acurácia nos alertas de extremos de chuva. Desse modo, tem-se por objetivo apresentar e testar uma nova técnica de pós-processamento das previsões numéricas baseada na Teoria da Ressonância Adaptativa de Redes Neurais Artificiais (ART-ANN). A essa técnica deu-se o nome de **Método para Detecção de Padrões Atmosféricos (MeDPAt)**. O MeDPAt compara campos atmosféricos e avalia o grau de similaridade entre eles, o que permite avaliar a acurácia de previsões de EECs utilizando os padrões de eventos anteriores.

Na literatura encontram-se inúmeros trabalhos que aplicam redes neurais na meteorologia para o reconhecimento de padrões. Liu e Weisberg (2011) fazem uma revisão de aplicações, na meteorologia, de redes neurais do tipo Mapa Auto-Organizável ou Mapa de Kohonen (SOM, do inglês, *Self-Organizing Map*). Dentre as aplicações estão padrões sinóticos baseados em análises da pressão ao nível do mar e geopotencial em diferentes níveis. A idéia, portanto, de usar padrões atmosféricos para melhorar a previsão e o entendimento do escoamento atmosférico é amplamente utilizada na meteorologia. No entanto, não foi encontrado na literatura o uso de SOM ou de ART-ANN na previsão de extremos de chuva no Brasil. Um exemplo de aplicação da ART-ANN, no Brasil, pode ser encontrado no gerenciamento de linhas de transmissão de energia elétrica (MARCHIORI et al., 2011).

#### 1.4 Análise do Trabalho Cognitivo de Meteorologistas no Rio de Janeiro

A previsão de eventos extremos de chuva e também daqueles eventos que, mesmo não sendo extremos, apresentam potencial para causar transtornos em centros urbanos são feitas por previsores meteorológicos. Estes últimos executam a análise e interpretação de uma grande quantidade de informações, em especial das previsões numéricas do tempo (PNT). Ao longo dos anos esses profissionais acumulam conhecimento e experiência relativos a essas análises e interpretações. Por isso, quando uma equipe de previsores perde um membro experiente, seja qual for o motivo, parte desse conhecimento é perdido pelo grupo e pela instituição. A preocupação com essa perda motivou o trabalho de Hoffman et al. (2006), o qual apresentou e aplicou com sucesso um método para eliciar, preservar e distribuir o conhecimento de previsores meteorológicos da marinha dos Estados Unidos. No presente trabalho algumas das técnicas aplicadas por Hoffman et al. (2006) serão utilizadas para eliciar o co-

nhecimento e analisar o trabalho cognitivo de meteorologistas da cidade do Rio de Janeiro.

Esses meteorologistas formam o grupo de previsores do Sistema de Alerta de Chuvas Intensas e de Deslizamentos em Encostas da Cidade do Rio de Janeiro (**AlertaRio**). O AlertaRio foi criado pela Prefeitura do Rio de Janeiro, motivada por um evento extremo de chuva ocorrido em fevereiro de 1996, que foi deflagrador de um desastre natural na cidade. O objetivo do AlertaRio é emitir boletins de alerta para a população e para os órgãos municipais sobre o risco de ocorrência de chuvas que possam provocar alagamentos, inundações ou escorregamentos de massa no município.

No Sistema AlertaRio são elaboradas previsões de curto prazo (entre 03 e 36 horas) e curtíssimo (menos de 03 horas - *nowcasting*). Os previsores meteorológicos devem emitir boletins de alerta para que planos de ação sejam colocados em prática com o objetivo de mitigar os impactos negativos para a cidade. O trabalho do previsor, portanto, é de fundamental importância para um grande número de pessoas e pode ajudar a salvar vidas e evitar prejuízos significativos. Essa grande responsabilidade do previsor imprime uma pressão por alertas precisos e o mais antecipados possível.

Em vista da importância das previsões de chuva e dos fatores humanos nela envolvidos pretende-se executar o mapeamento do trabalho cognitivo dos meteorologistas do AlertaRio no processo de elaboração da previsão de eventos de chuva significativos<sup>3</sup>. Esse mapeamento pode identificar pontos críticos na elaboração da previsão e na emissão de alertas e sugerir melhorias no sistema, tornando-o mais resiliente e mais eficiente. Será feita uma análise da influência dos fatores humanos na emissão de alertas de chuva e da contribuição da experiência. Para isso, será feita uma *Análise do Trabalho Cognitivo* (CTA - do inglês *Cognitive Task analysis*) dos previsores. Essa análise permite a eliciação do conhecimento destes meteorologistas para entender como sua experiência, percepção e conhecimentos são empregados, junto com as ferramentas disponíveis.

## 1.5 Objetivos

O presente trabalho tem por objetivo geral melhorar a previsão dos eventos de chuva que produzem um volume de água tal que supera a capacidade social de resposta resultando em impactos negativos que causam prejuízos e por vezes perdas de vida.

---

<sup>3</sup>Os critérios para a classificação de um evento chuvoso como *significativo* podem ser encontrados na figura A.1 do Anexo A.

Os objetivos específicos são:

- definir um critério objetivo para caracterizar os eventos de chuva que causam impactos sociais negativos na cidade do Rio de Janeiro;
- identificar os sistemas sinóticos responsáveis pelos extremos de chuva no Rio de Janeiro desde o ano 2000 até 2010.
- desenvolver um método objetivo para detectar padrões atmosféricos associados a esses extremos de chuva nos campos atmosféricos previstos por modelo numérico da atmosfera;
- fazer uma análise do trabalho cognitivo de previsores meteorológicos da prefeitura do Rio de Janeiro, na previsão de chuva significativa;
- eliciar conhecimento destes previsores meteorológicos para poder preservá-lo e compartilhá-lo;
- identificar pontos críticos e fragilidades no processo cognitivo que gera as previsões de chuva significativa;

## 2 DADOS E METODOLOGIA

### 2.1 Dados de Precipitação e Definição de Evento Extremo de Chuva - *EEC*

Os dados de precipitação foram fornecidos pela Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro (GEORIO). A série de dados cobre o período que se inicia em janeiro de 2000 e termina em dezembro de 2010. A rede de dados da GEORIO tem 32 pluviômetros instalados dentro do município, o qual tem uma área de 1,200.279 km<sup>2</sup>. A distribuição das 32 estações pode ser vista na figura 2.1 dividida pelas 4 Bacias Hidrográficas em que o município está dividido: Sepetiba, Guanabara, Zona Sul e Jacarepaguá.



Figura 2.1 - Distribuição da rede de 32 pluviômetros da GEORIO no município do Rio de Janeiro dividido por bacia hidrográfica: Sepetiba, Jacarepaguá, Guanabara e Zona Sul.

Os dados fornecidos pela GEORIO são acumulados de precipitação a cada 15 minutos para cada um dos 32 pluviômetros. Neste trabalho os dados foram também acumulados a cada 24 horas com início e término às 1200 UTC. A escolha desse intervalo está baseada em regulamento para a América do Sul da Organização Meteorológica Mundial (OMM). Esse intervalo também permite comparação com es-

tudos anteriores como, por exemplo, com o trabalho de [Dereczynski et al. \(2009\)](#), que também estudaram os extremos de chuva na cidade do Rio de Janeiro. Antes da escolha de um critério para a definição de um Evento Extremo de Chuva (EEC) fez-se uma média da precipitação entre todos os 32 pluviômetros, o que permitiu que os EECs fossem filtrados para aqueles mais associados a sistemas meteorológicos em escala sinótica. Dessa forma os eventos que causaram extremo de chuva mas que atingiram apenas uma pequena parcela das estações são excluídos.

Um EEC foi definido como sendo aquele que produziu precipitação média nos 32 pluviômetros e acumulada em 24 horas maior do que 50 mm. Esse limiar de 50 mm/24h é utilizado também pelo Centro de Informações sobre Tempo Severo da Organização Meteorológica Mundial (<http://severe.worldweather.org/rain/>) e também é amplamente utilizado em avaliações da previsão quantitativa de precipitação. (por exemplo em [Bustamante et al. \(2005\)](#), [Chou e Silva \(1999b\)](#)). Além disso, dados de ocorrências (escorregamentos, desabamentos etc.) fornecidos pela GEORIO mostram que eventos de chuva acima desse limiar de 50 mm/24h apresentam potencial para causar impactos sociais significativos na cidade do Rio de Janeiro. Note-se que 50 mm de chuva obtidos a partir da média das 32 estações no município significa um volume de água igual a 50 litros em cada metro quadrado do município do Rio de Janeiro. Isso significa um volume de água muito maior do que observar os mesmos 50 mm em apenas um pluviômetro.

Com esse critério foram identificados 32 EECs mostrados na tabela 2.1. Além disso, analisou-se também a contribuição dos sistemas meteorológicos de escala sinótica nos EECs. A classificação desses sistemas foi obtida do Boletim Climaálise [Cavalcanti \(1997-2010\)](#). Essa mesma fonte foi utilizada em trabalhos anteriores sobre extremos de chuva ([LIMA; SATYAMURTI, 2010](#); [SELUCHI; CHOU, 2009](#); [RAMIREZ et al., 2005](#)).

Tabela 2.1 - Lista dos 32 EECs na cidade do Rio de Janeiro desde 2000 até 2010 com respectivos valores de precipitação média e sistema sinótico associado: Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Frente Fria (FF) e não-sinótico (NS). A tabela está dividida em dois períodos: Período dos Padrões (2000 a 2008) e Período dos Candidatos (2009 a 2010).

| Período dos Padrões (PP) |                              |                  | Período dos Candidatos (PC) |                              |                  |
|--------------------------|------------------------------|------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------|
| Data                     | Precipitação Média (mm/24hr) | Sistema Sinótico | Data                        | Precipitação Média (mm/24hr) | Sistema Sinótico |
| 03Jan2000                | 73                           | ZCAS             | 22Jan2009                   | 81                           | ZCAS             |
| 17Fev2000                | 68                           | FF               | 13Fev2009                   | 55                           | ZCAS             |
| 19Mar2000                | 52                           | FF               | 05Dez2009                   | 50                           | ZCAS             |
| 24Dez2001                | 126                          | ZCAS             | 31Dez2009                   | 102                          | NS               |
| 03Fev2002                | 53                           | NS               | 15Jan2010                   | 51                           | ZCAS             |
| 25Jan2003                | 68                           | ZCAS             | 07Mar2010                   | 72                           | NS               |
| 18Mar2003                | 111                          | FF               | 06Abr2010                   | 188                          | FF               |
| 07Abr2003                | 59                           | FF               | 07Abr2010                   | 64                           | FF               |
| 26Ago2003                | 55                           | FF               | 06Dez2010                   | 57                           | NS               |
| 12Out2003                | 64                           | FF               |                             |                              |                  |
| 03Nov2003                | 51                           | FF               |                             |                              |                  |
| 07Fev2004                | 52                           | FF               |                             |                              |                  |
| 26Nov2005                | 62                           | FF               |                             |                              |                  |
| 05Jan2006                | 52                           | NS               |                             |                              |                  |
| 28Jan2006                | 71                           | ZCAS             |                             |                              |                  |
| 18Abr2006                | 62                           | FF               |                             |                              |                  |
| 24Mai2006                | 71                           | FF               |                             |                              |                  |
| 12Fev2007                | 87                           | FF               |                             |                              |                  |
| 24Out2007                | 53                           | ZCAS             |                             |                              |                  |
| 25Out2007                | 79                           | ZCAS             |                             |                              |                  |
| 13Dez2007                | 63                           | ZCAS             |                             |                              |                  |
| 14Dez2007                | 63                           | ZCAS             |                             |                              |                  |
| 14Mar2008                | 65                           | FF               |                             |                              |                  |

## 2.2 Dados do Modelo Numérico da Atmosfera ETA40

A metodologia foi aplicada às Previsões Numéricas do Tempo (PNTs) geradas pelo modelo atmosférico ETA40, por ser este o modelo de mais alta resolução que se encontrava operacional no CPTEC-INPE ao longo do período de interesse (2000-2010). Esse modelo tem uma distância entre os pontos de grade de 40 km e 38 camadas na vertical desde a superfície até o nível de 50 hPa. É um modelo de área limitada com domínio A1 conforme a tabela 2.4 e a figura 2.6. As equações do modelo são expressas em coordenada  $\eta$  (MESINGER, 1984) e usa o esquema de Betts-Miller (I., 1994) para produzir chuva convectiva. A precipitação estável é produzida explicitamente pelo esquema de nuvem de Zhao (ZHAO; CARR, 1997)(mais detalhes sobre o modelo Eta podem ser encontrados em <http://etamodel.cptec.inpe.br/index.shtml>).

O modelo ETA40 é integrado duas vezes por dia no CPTEC-INPE, uma vez com as condições da atmosfera às 0000 UTC e a segunda das 1200 UTC. Essas integrações, também chamadas de rodadas, partem das condições iniciais e executam de cálculos de solução numérica de equações físico-matemáticas que regem o escoamento atmosférico e prognosticam seu o estado futuro. Esses resultados são as chamadas Previsões Numéricas do Tempo (PNT).

Neste trabalho foram utilizadas PNTs desde janeiro de 2000 até Dezembro de 2010. Esse período foi dividido em dois:

- a) Período dos Padrões (PP): 2000 a 2008;
- b) Período dos Candidatos (PC): 2009 e 2010.

Essa divisão será utilizada na próxima fase da metodologia.

### 2.2.1 Definição de *Padrão* e *Candidato*

As PNTs do modelo ETA40 para o PP são usadas para extrair os padrões de cada um dos 23 EECs identificados nesse período (vide tabela 2.1).

Cada rodada do ETA40 gera PNTs com intervalo de 6 horas a partir do horário de inicialização, até um prazo de 120 horas. Para esse estudo foram utilizados apenas campos atmosféricos dos seguintes horários: 1800, 0000, e 0600 UTC. A escolha foi feita dessa maneira pois esses três horários estão dentro do intervalo de 24 horas de

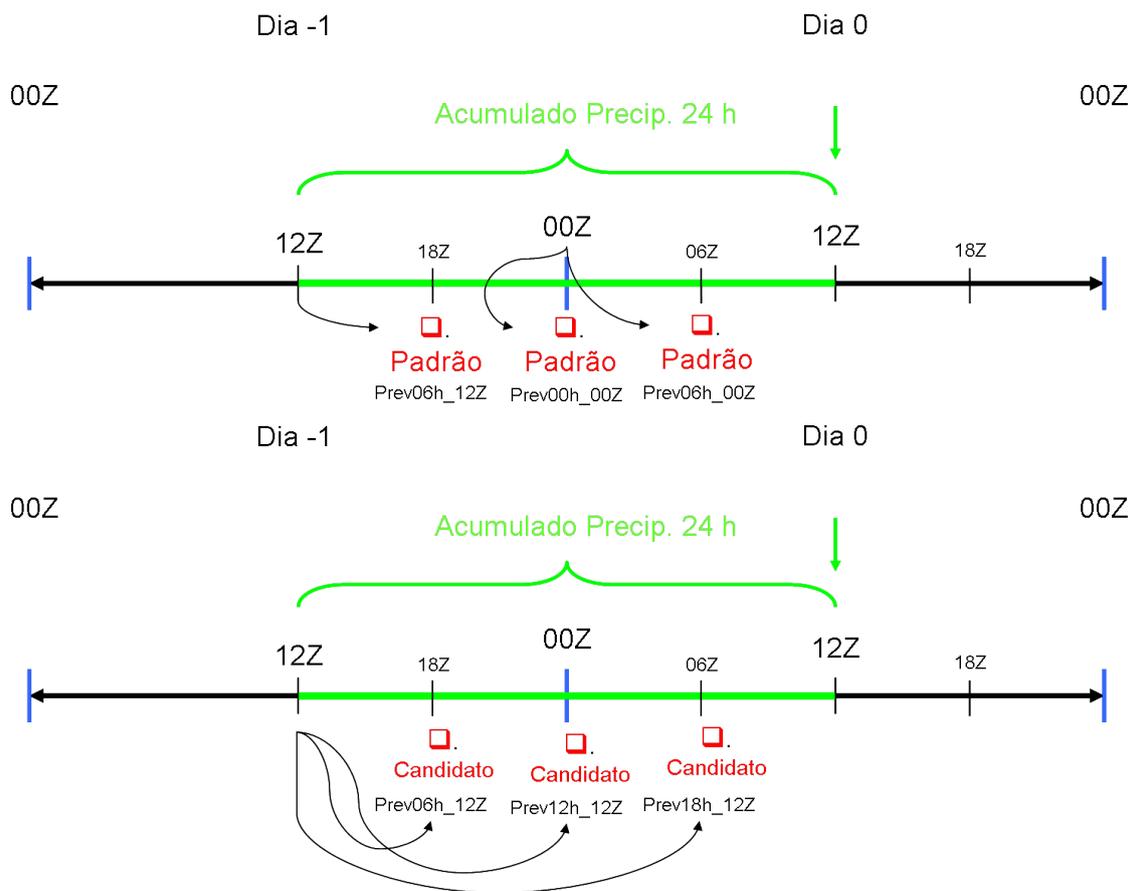


Figura 2.2 - Definição de Padrões e Candidatos

duração do EEC conforme definido na seção 2.1. Na figura 2.2 a cor verde marca o intervalo de tempo de duração de um ECC, que se inicia às 12Z (1200 UTC) do dia denominado “-1” e termina no mesmo horário do dia seguinte, denominado dia “0”. Na ilustração superior da figura 2.2 estão identificados com a cor vermelha os horários para os quais foram selecionados os campos que irão caracterizar cada um dos 23 padrões do PP. Esses 3(três) campos são identificados por:

- Prev06h\_12Z: previsão para 06 horas a partir da rodada inicializada às 12Z do “Dia -1”;
- Prev00h\_00Z: previsão para 00 horas(análise) a partir da rodada inicializada às 00Z do “Dia 0”;
- Prev06h\_00Z: previsão para 06 horas a partir da rodada inicializada às 00Z do “Dia 0”.

Com essa escolha buscou-se os menores prazos de previsão para que se obtivessem os campos atmosféricos mais próximos do que realmente estava sendo observado na atmosfera nesses horários. Como resultado dessa escolha dos 23 EECs do PP irão gerar campos atmosféricos para 69 horários para os quais as características do escoamento atmosférico serão consideradas aquelas associadas a um EEC no Rio de Janeiro.

Por outro lado, para a escolha dos candidatos consideremos a ilustração inferior da figura 2.2. Para a escolha dos campos do PC foram utilizadas apenas as rodadas do modelo ETA40 inicializadas às 12Z. Os horários e prazos dos campos selecionados para caracterizar os candidatos seguem os seguintes critérios:

- Prev06h\_12Z: previsão para 06 horas a partir da rodada inicializada às 12Z do “Dia -1”;
- Prev12h\_12Z: previsão para 12 horas a partir da rodada inicializada às 12Z do “Dia -1”;
- Prev18h\_12Z: previsão para 18 horas a partir da rodada inicializada às 12Z do “Dia -1”.

Apenas esses horários foram escolhidos pois considera-se que são suficientes para avaliar o método apresentado neste trabalho. O período dos candidatos (2009-2010) tem 730 dias o que resulta em 2190 horários para os quais os campos atmosféricos serão comparados com os 69 padrões do período dos padrões (2000-2008).

### **2.2.2 Escolha das Variáveis Meteorológicas**

O modelo ETA40 gera previsões numéricas de tempo (PNTs) de 220 diferentes variáveis meteorológicas. Testar todas elas implicaria num custo computacional impraticável. Por isso buscou-se a correlação dessas 220 variáveis com a chuva na cidade do Rio de Janeiro durante os EECs. Para essa correlação escolheu-se o ponto de grade mais próximo da área metropolitana da cidade do Rio de Janeiro conforme mostra a figura 2.3 onde se encontra a altitude de cada ponto de grade. Nota-se que no ponto mais próximo da cidade a altitude é de 36 metros e as coordenadas são  $x=100$  e  $y=69$  na grade do modelo. Para esse ponto foram extraídos os valores das 220 variáveis meteorológicas no dia de ocorrência do EEC e também nos 3 (três) dias anteriores. Nas figuras 2.4 e 2.5 tem-se o valor da precipitação acumulada em

cada um desses 4 dias para cada um dos 23 EECs entre 2000 e 2008 (período dos padrões). Foi feita a correlação entre cada uma das variáveis gerada pelo ETA40 e a chuva média observada na rede da GEORIO nesses 4 (quatro) dias para cada EEC.

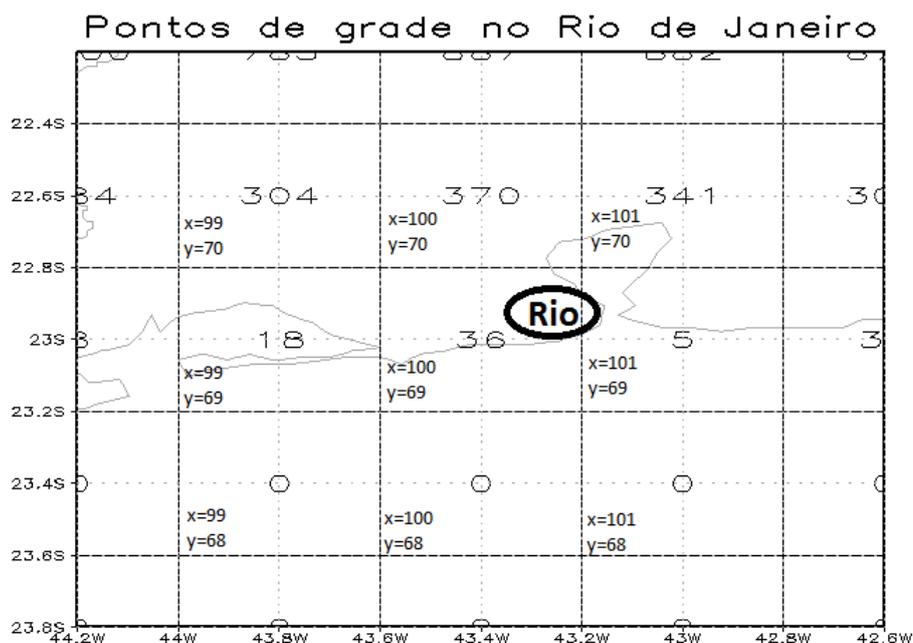


Figura 2.3 - Mapa de parte do Estado do Rio de Janeiro onde está a cidade do Rio de Janeiro e áreas vizinhas com os valores de altitude no modelo ETA40 para 9 (nove) pontos de grade, com os respectivos valores de abscissa (x) e ordenada (y) nos campos pós-processados do ETA40.

Os resultados das correlações maiores que 0.5 em módulo para as variáveis que apresentaram significância estatística maior que 0.95 no teste T-Student (WILKS, 2006) estão apresentados na tabela 2.2. Destaca-se que a umidade relativa em baixos níveis apresenta os maiores valores de correlação.

Além das variáveis com maior correlação foram testadas também as variáveis presentes em trabalhos anteriores que abordaram os extremos de chuva (LIMA; SATYAMURTI, 2010; SELUCHI; CHOU, 2009; RAMIREZ et al., 2005) como mostra a tabela 2.3. Foram também realizados experimentos com as anomalias dessas variáveis. Para obter as anomalias foi calculada a climatologia do próprio modelo ETA40 para o período 2000-2008, para cada variável utilizada e em cada um dos três horários dos

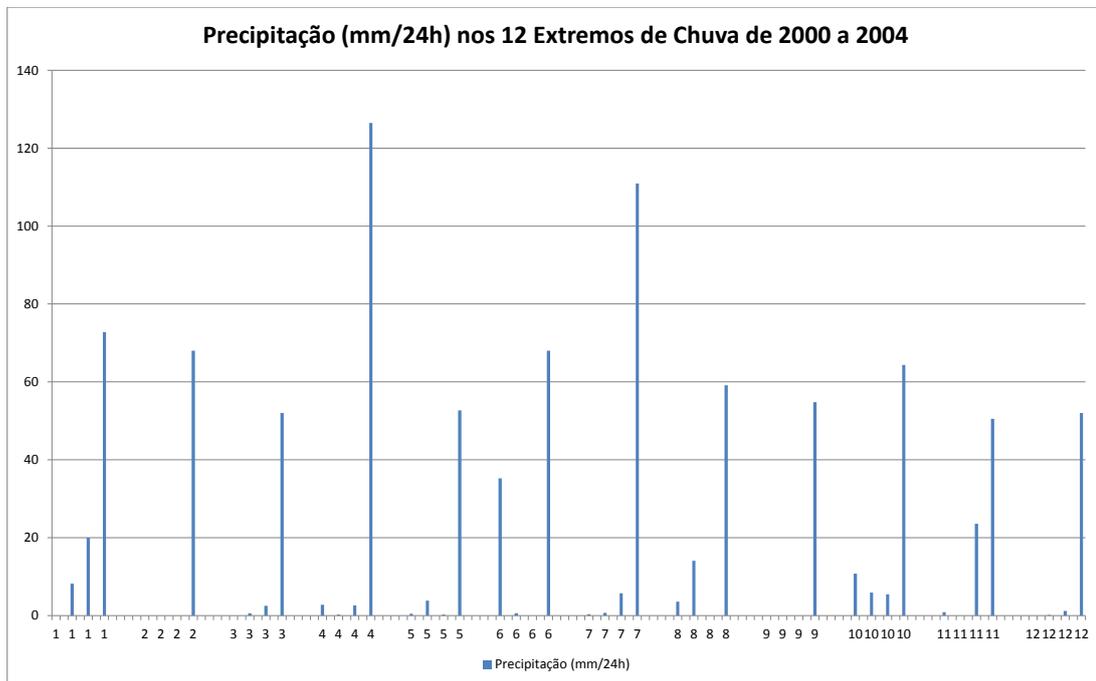


Figura 2.4 - Gráfico da precipitação acumulada em 24h para os 12 (doze) Eventos Extremos de Chuva no Rio de Janeiro desde o ano 2000 ao ano 2004. Para cada evento foi também graficado o acumulado de chuva nos 3 dias anteriores, totalizando 4 dias de precipitação para cada evento.

campos atmosféricos escolhidos para serem os padrões.

Além disso foram testadas outras variáveis com potencial preditivo segundo a experiência empírica:

- vento meridional a 10 m
- vento meridional a 10 m (ANOMALIA)
- vento zonal a 10 m
- temperatura a 2 m
- temperatura de ponto de orvalho a 2 m

Tabela 2.2 - Variáveis do modelo ETA40 com correlação em módulo maior que 0.5 e significância estatística maior que 0.95 no teste T-Student.

| Variável                                  | Correlação |
|---|------------|
| Umidade Relativa em 800 hPa               | 0,74       |
| Umidade Relativa em 850 hPa               | 0,73       |
| Umidade Relativa em 900 hPa               | 0,72       |
| Umidade Relativa em 750 hPa               | 0,72       |
| Umidade Relativa em 925 hPa               | 0,71       |
| Umidade Relativa em 700 hPa               | 0,70       |
| Umidade Relativa em 650 hPa               | 0,67       |
| Umidade Relativa em 550 hPa               | 0,67       |
| Umidade Relativa em 500 hPa               | 0,67       |
| Umidade Relativa no Nível de Congelamento | 0,66       |
| Umidade Relativa em 600 hPa               | 0,66       |
| Umidade Relativa em 450 hPa               | 0,65       |
| Umidade Específica em 450 hPa             | 0,62       |
| Energia Convectiva Inibidora              | 0,61       |
| Umidade Específica em 500 hPa             | 0,61       |
| Umidade Específica em 550 hPa             | 0,60       |
| Umidade Relativa em 400 hPa               | 0,58       |
| Umidade Específica em 600 hPa             | 0,58       |
| Precipitação                              | 0,56       |
| Umidade Específica em 650 hPa             | 0,56       |
| Umidade Específica em 400 hPa             | 0,55       |
| Fração de Nuvens Médias                   | 0,54       |
| Água Precipitável                         | 0,53       |
| Umidade Relativa em 1000 hPa              | 0,53       |
| Vento Meridional em 925 hPa               | 0,52       |
| Umidade Específica em 700 hPa             | 0,51       |
| Vento Meridional em 250 hPa               | -0,51      |
| Velocidade Vertical em 750 hPa            | -0,51      |
| Velocidade Vertical em 400 hPa            | -0,51      |
| Temperatura em 900 hPa                    | -0,53      |
| Velocidade Vertical em 925 hPa            | -0,53      |
| Temperatura em 925 hPa                    | -0,54      |
| Velocidade Vertical em 900 hPa            | -0,55      |
| Velocidade Vertical em 800 hPa            | -0,56      |
| Velocidade Vertical em 850 hPa            | -0,57      |
| Radiação de Onda Longa Emergente          | -0,65      |

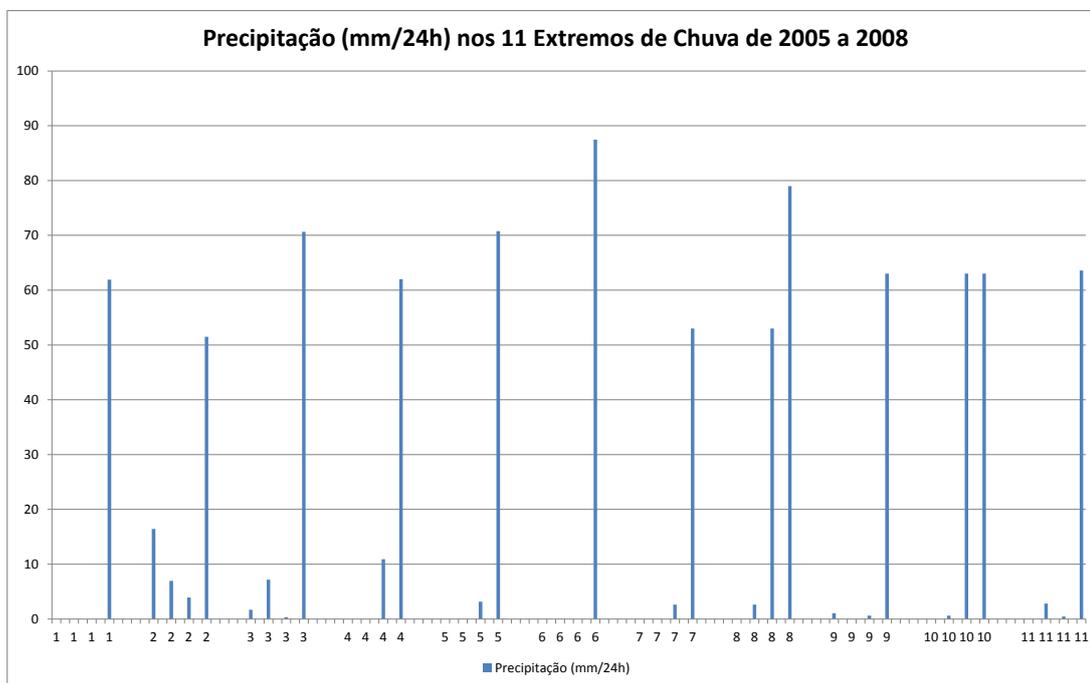


Figura 2.5 - Gráfico da precipitação acumulada em 24h para os 11 (onze) Eventos Extremos de Chuva no Rio de Janeiro desde o ano 2005 ao ano 2008. Para cada evento foi também graficado o acumulado de chuva nos 3 dias anteriores, totalizando 4 dias de precipitação para cada evento.

Tabela 2.3 - Variáveis e níveis utilizados nos experimentos. L, SC e VR são campos também utilizados por Lima e Satyamurti (2010), Seluchi e Chou (2009), Ramirez et al. (2005), respectivamente. A marca N indica as variáveis que foram utilizadas apenas nesse trabalho.

| Variável            | Níveis       |           |         |         |         |         |
|---------------------|--------------|-----------|---------|---------|---------|---------|
|                     | Nível do Mar | 10 metros | 900 hPa | 850 hPa | 500 hPa | 250 hPa |
| Meteorológica       |              |           |         |         |         |         |
| Geopotencial        |              |           |         |         | L/SC    |         |
| Vento Meridional    |              | N         | N       | L/SC/VR |         | L/SC/VR |
| Vento Zonal         |              | N         | N       | L/SC/VR |         | L/SC/VR |
| Umidade Relativa    |              |           | N       | N       |         |         |
| Umidade Específica  |              |           |         | L/SC/VR |         |         |
| Velocidade Vertical |              |           |         | VR      | L       |         |
| Pressão             | L/SC/VR      |           |         |         |         |         |

- temperatura em 850 hPa
- temperatura em 500 hPa
- temperatura em 350 hPa
- vento zonal em 925 hPa
- vento zonal em 850 hPa
- vento zonal em 850 hPa (ANOMALIA)
- vento zonal em 500 hPa
- vento zonal em 550 hPa
- vento zonal em 250 hPa
- vento zonal em 250 hPa (ANOMALIA)
- vento meridional em 900 hPa
- vento meridional em 850 hPa
- vento meridional em 850 hPa (ANOMALIA)
- vento meridional em 500 hPa
- vento meridional em 250 hPa
- vento meridional em 250 hPa (ANOMALIA)
- vento meridional em 200 hPa
- umidade específica em 700 hPa
- umidade específica em 850 hPa
- umidade específica em 850 hPa (ANOMALIA)
- velocidade vertical em 900 hPa
- velocidade vertical em 500 hPa
- velocidade vertical em 500 hPa (ANOMALIA)

- geopotencial em 250 hPa
- geopotencial em 250 hPa (ANOMALIA)

Foram realizados experimentos também com combinações de variáveis:

- velocidade vertical em 850 hPa + vento meridional a 10 m
- velocidade vertical em 850 hPa + vento meridional em 900 hPa
- umidade relativa em 900 hPa + vento meridional a 10 m
- umidade relativa em 900 hPa + velocidade vertical em 850 hPa
- umidade relativa em 900 hPa + vento meridional em 900 hPa
- vento meridional em 900 hPa + vento meridional a 10 m
- umidade relativa em 550 hPa + vento meridional a 10 m
- umidade relativa em 900 hPa + vento meridional a 10 m
- pressão ao nível do mar + geopotencial em 500 hPa
- pressão ao nível do mar(ANOM)+ geopotencial em 500 hPa(ANOM)
- umidade específica em 850 hPa+ vento meridional em 850 hPa
- umidade relativa em 850 hPa + vento meridional em 850 hPa

A escolha de combinações de umidade e vento está baseada nos resultados de Lima e Satyamurti (2010) que mostram o transporte de uma grande quantidade de vapor de água do Oceano Atlântico para o Sudeste do Brasil durante eventos extremos de chuva. Foram feitas combinações variáveis de umidade relativa em baixos níveis já que estes mostraram elevada correlação com a chuva observada na cidade do Rio de Janeiro (vide tabela 2.2 );

Foram testados também diferentes domínios. A tabela 2.4 mostra as dimensões das grades para cada um desses domínios, enquanto a figura 2.6 mostra o mapa com a topografia para cada um desses domínios.

Tabela 2.4 - Dimensões da grade do modelo ETA40 para cada domínio utilizado.

| Domínio | Valores de $x$ |       | Valores de $y$ |       | Latitude |       | Longitude |       |
|---------|----------------|-------|----------------|-------|----------|-------|-----------|-------|
|         | Inicial        | Final | Inicial        | Final | Inicial  | Final | Inicial   | Final |
| A1      | 1              | 144   | 1              | 157   | -50.2    | 12.2  | 277.0     | 334.2 |
| A2      | 46             | 121   | 39             | 89    | -35.0    | -15.0 | 295.0     | 325.0 |
| A3      | 74             | 121   | 39             | 89    | -35.0    | -15.0 | 306.2     | 325.0 |
| A4      | 47             | 144   | 1              | 89    | -50.2    | -15.0 | 295.4     | 334.2 |

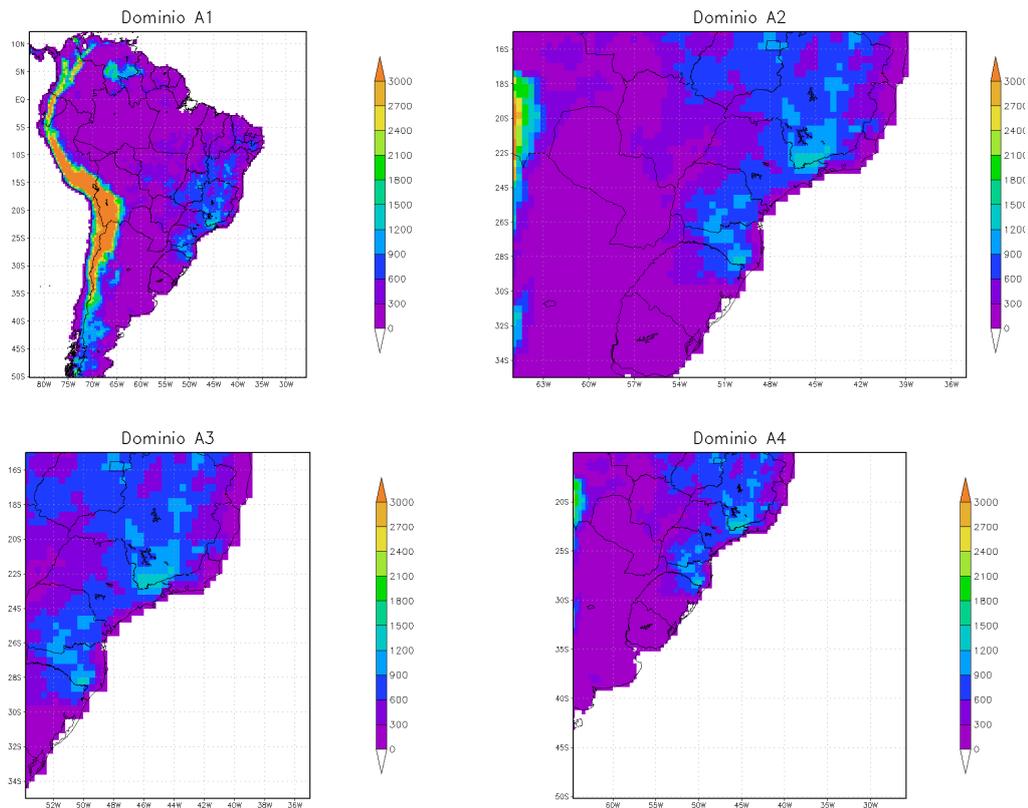


Figura 2.6 - Topografia dos domínios (A1, A2, A3, A4) da grade do modelo ETA40 utilizados neste trabalho.

### 2.3 Método para Detecção de Padrões Atmosféricos - *MeDPAt*

Nesse trabalho foi desenvolvido um método objetivo para identificar padrões atmosféricos associados a um determinado fenômeno a partir de padrões de ocorrências passadas deste mesmo fenômeno. A esse método deu-se o nome de **MeDPAt**, que é a sigla para **Método para Detecção de Padrões Atmosféricos**. O padrão que se busca neste trabalho é aquele de evento extremo de chuva no município do Rio de

Janeiro.

O método consiste em comparar campos do escoamento atmosférico de EECs do passado com os campos previstos até um prazo de 24 horas. Quando essa comparação revela uma determinada semelhança entre os campos então o campo futuro é apontado como um escoamento associado a EEC e, portanto, tem-se uma previsão de EEC. Os campos do escoamento atmosférico utilizados são de PNT do modelo ETA40 (vide mais detalhes na seção 2.2 ). Cada campo meteorológico gerado pelo modelo ETA40 é uma matriz com  $m \times n$  elementos, denominada *grade*. A *grade* completa tem  $m=144$  e  $n=157$  e cobre quase toda a América do Sul (vide Figura 2.6 )

O **MeDPAt** se divide em dois passos que serão descritos nas seções seguintes.

### 2.3.1 Passo 1 - Preparação dos Dados de PNT

O primeiro passo do método é transformar os pontos dessa grade (matriz), que é bidimensional, em um vetor, que é unidimensional. A matriz do domínio A1, por exemplo, tem dimensão 144x157 e é transformada em um vetor com 22608 elementos. Em seguida esse vetor é normalizado<sup>1</sup>.

Esse primeiro passo é aplicado a todas as grades a serem comparadas, para todas as variáveis e níveis definidas na seção 2.2.2. Quando a comparação é feita entre combinações de mais de uma grade então a normalização é feita em 3 etapas:

- a) as grades são transformadas em vetores e normalizadas individualmente extraíndo-se a média e dividindo-se pelo desvio padrão;
- b) é construído um único vetor formado pela união dos elementos dos dois vetores iniciais;
- c) é executada a normalização do vetor formado pela união dos elementos dos dois vetores iniciais.

---

<sup>1</sup>Essa normalização serve para permitir a comparação de diferentes variáveis meteorológicas e em diferentes níveis pois podem possuir escalas de grandeza e intervalos de valores diferentes entre si.

### 2.3.2 Passo 2 - Cálculo da Similaridade entre os Campos Atmosféricos

O segundo passo é o de comparação dos vetores *padrão* com cada um dos vetores *candidato*. Essa comparação é feita através da distância euclidiana  $d$  entre os mesmos (Equação 2.1). A distância é utilizada para o cálculo da similaridade  $s$  dada pela equação 2.2. Dado um vetor candidato  $x_c$  calcula-se a similaridade entre este e cada um dos vetores padrão  $w_p$ . O índice  $i$  se refere a um dado elemento do vetor, o que é o mesmo que se referir a um determinado ponto de grade do modelo. O número de elementos em cada vetor é dado por  $n$ . O valor de  $\sigma$  em todos os experimentos é igual a 1 (um), pois os vetores já estão normalizados nessa etapa.

$$d(p) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (w_{p,i} - x_{c,i})^2} \quad (2.1)$$

$$s(p) = e^{-(d(p))^2/2\sigma} \quad (2.2)$$

O método de cálculo da distância entre vetores e da similaridade entre os mesmos foi baseado na Rede Neural Artificial (ANN) da Teoria da Ressonância Adaptativa (ART). A ART-ANN é descrita por [Carpenter e Grossberg \(2002\)](#), [Kenaya e Cheok \(2008\)](#) e é muito utilizada para reconhecimento, classificação e agrupamento de padrões ([GARCIA-BREIJO et al., 2011](#); [LLOBET et al., 1999](#)). A grande vantagem da ART-ANN sobre outras redes neurais artificiais comumente usadas na previsão de chuva (por exemplo a o Perceptron de Múltiplas Camadas usado por [Ramirez et al. \(2005\)](#), [Ramirez e Velho \(2006\)](#)) é que novos padrões podem ser adicionados sem alterar os padrões anteriores, ou seja, sem alterar o conhecimento já adquirido.

Cada experimento consiste na comparação entre os 69 vetores padrão com os 730 candidatos. Essa comparação busca campos similares, que quando encontrados caracterizam uma ressonância. Quando a ressonância ocorre checa-se se o candidato ressonante coincide com algum EEC. Em caso positivo, tem-se uma *detecção*, em caso contrário tem-se um *alarme falso*. Para que se tenha uma medida objetiva de acertos e erros foram utilizados dois indicadores. O primeiro deles é a *Probabilidade de Detecção (POD)*, que é a razão entre o número de detecções e o número de EECs de fato ocorridos. O segundo é a *Razão de Alarme Falso (FAR)*, que é a razão entre o número de alarmes falsos e o número de EECs previstos ([WILKS, 2006](#)).

A escolha do limiar de similaridade se baseia no número de detecções que um dado limiar produz. De janeiro de 2009 a dezembro de 2010 ocorreram 9 (nove) EECs (vide tabela 2.1). Para cada um desses 9 (nove) candidatos foram feitos testes de similaridade com os padrões de maneira a saber com qual dos padrões havia maior similaridade. Assim são obtidos 9 (valores) de similaridade ressonante. Esses valores são ordenados. Feito dessa forma, o experimento com o menor valor dentre essas similaridades permitirá ressonância com todos os 9 (nove) EECs, resultando em POD igual a  $\frac{9}{9}$ . Por outro lado, o experimento realizado com o maior valor dentre as similaridades encontradas irá permitir ressonância com apenas 1 (um) EEC, resultando em POD igual a  $\frac{1}{9}$ . Analogamente os valores intermediários de similaridade fornecerão também valores intermediários de POD. Dessa forma para todas as variáveis meteorológicas e combinações delas serão produzidos os mesmos 9 (nove) valores de POD, o que permite a comparação direta dos diferentes valores de FAR.

#### 2.4 Análise do Trabalho Cognitivo de Meteorologistas do AlertaRio

O trabalho de previsão de tempo no AlertaRio era realizado por apenas um meteorologista das 07h00 às 19h00 e um técnico em meteorologia durante a noite, completando as 24 horas. Durante a noite, além do técnico havia um meteorologista experiente de plantão que podia remotamente ser acionado por telefone para auxiliar na tomada de decisão. A pesquisa como um todo teve a participação de todos os 6 (seis) previsores da AlertaRio. No entanto, a escala de trabalho diferenciada entre os meteorologistas resultou em diferenças na participação individual.

Na tabela 2.5 encontra-se a lista de indentificações dos meteorologistas com respectivos tempos de experiência:

Tabela 2.5 - Identificação e qualificação dos previsores que participaram da pesquisa.

| Previsor | Tempo de Experiência |
|----------|----------------------|
| M1A      | 03 anos              |
| M1B      | 02 anos              |
| M1C      | 18 anos              |
| M1D      | 05 anos              |
| M2A      | 02 meses             |
| M2B      | 23 anos              |

As entrevistas com os meteorologistas foram realizadas entre junho e setembro de 2009. A pesquisa foi realizada em conjunto com alunos do Programa de Pós-Graduação em Informática da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PPGI-UFRJ) que cursavam a disciplina de *Engenharia Cognitiva* nesse período. Os pesquisadores se dividiram em 3 grupos, sendo 2 deles (G1 e G3) compostos por 2 indivíduos e um grupo (G2) formado por 5 indivíduos. A existência de mais de um entrevistador facilita a captura de informação pois diferentes funções podem ser assumidas pelos entrevistadores, de modo que um deles se torna facilitador ao liderar os questionamentos enquanto o(s) outro(s) coletam o máximo de informação. As entrevistas foram em grande parte gravadas e permitiram análise mais detalhada dos dados coletados. A Tabela 2.6 mostra detalhes sobre o número e a duração total de entrevistas realizadas para cada grupo e com cada previsor. Nota-se que o meteorologista M1D não consta na tabela. Isso se deve ao fato de que a sua contribuição aconteceu remotamente por meio eletrônico.

Tabela 2.6 - Duração e número de entrevistas com os previsores meteorológicos para cada grupo de pesquisadores.

| Grupo | Previsor | Tempo total de entrevista<br>(núm. de entrevistas) |
|-------|----------|--|
| G1    | M1A      | 04h30 (3)  |
| G1    | M1B      | 01h30(1)   |
| G1    | M1C      | 04h30(3)   |
| G1    | M2B      | 01h30(1)   |
| G2    | M2A      | 03h00(2)   |
| G2    | M2B      | 04h30(3)   |
| G3    | M1B      | 10h00(5)   |

Neste trabalho foi feita a *Análise do Trabalho Cognitivo*(CTA) de previsores meteorológicos da GEORIO. Segundo Crandall et al. (2006) o propósito da CTA é capturar a maneira como a mente funciona, ou seja, capturar a cognição. O pesquisador busca descrever a atividade e dar sentido a estas ações. Um objetivo básico da CTA é ajudar a entender como a cognição torna possível uma pessoa realizar um determinado trabalho. Quando o trabalho está sendo realizado com boa destreza a CTA pode revelar a base para um desempenho habilidoso. No caso de haver falhas tem-se a chance de identificar as fragilidades que levaram a erros.

Os três principais aspectos da CTA são:

- eliciação de conhecimento;
- análise de dados;
- representação do conhecimento.

Na fase inicial, o principal objetivo é obter familiaridade com o domínio estudado, conhecendo o ambiente de trabalho, os profissionais e suas rotinas, jargões e vocabulário próprios, ferramentas e conhecimento utilizados. Além disso, nessa fase buscou-se também construir um relacionamento transparente com os participantes, ou seja, uma interação que favorecesse a extração de informações e conhecimento. Esse relacionamento é fundamental pois além das informações e conhecimento diretamente solicitados pelo entrevistador há também aqueles que o entrevistado revela espontaneamente, sendo estes últimos uma importante fonte de detalhes e sutilezas que enriquecem os resultados da aplicação da CTA.

A coleta de conhecimento foi realizada por meio da técnica de narração de histórias, também conhecida pelo termo em inglês *Story Telling*, complementada pela observação da realização de uma previsão meteorológica. Durante a observação foi solicitado que o profissional participante narrasse o que estava fazendo, pensando, olhando e sentindo enquanto desempenhava suas atividades, conforme o método *Think Aloud* (SOMEREN et al., 1994). Em seguida fez-se a validação destes dados com o mesmo meteorologista. O passo seguinte é a estruturação de uma entrevista para aprofundamento do conhecimento elicitado até então. Também foi analisada a evolução diária da atividade cognitiva do meteorologista, com base nas entrevistas. Em seguida pediu-se para que cada um dos entrevistados ajustasse o gráfico da evolução diária ao que achasse mais adequado. Isso permitiu avaliar diferenças no perfil cognitivo de previsores com diferentes tempos de experiência.

Segundo Crandall et al. (2006) para a eliciação de conhecimento durante uma CTA um dos mais poderosos métodos consiste em examinar incidentes. Neles as pessoas descrevem detalhes e pistas sutis que poderiam não aparecer em uma simulação. Com o objetivo de aprender com os incidentes utilizou-se o *Método de Decisões Críticas* (CDM) (CRANDALL et al., 2006; HOFFMAN et al., 1998; KLEIN et al., 1989). O CDM consiste em um processo de entrevista intensiva onde os pesquisadores pretendem elicitar informação a respeito de funções cognitivas como tomada de decisão,

planejamento e ambientação em um incidente específico. As histórias baseadas em incidentes permitem que se obtenham os seguintes tipos de informação (CRANDALL et al., 2006):

- (a) as pistas e padrões percebidos;
- (b) as regras empíricas e heurísticas utilizadas;
- (c) os tipos de decisões tomadas;
- (d) as características que tornaram as decisões difíceis;
- (e) as características que fizeram os casos típicos; e
- (f) as características dos casos raros;

#### **2.4.1 Método de Decisões Críticas (CDM)**

O Método de Decisões Críticas (CDM) é aplicado em profissionais previsores meteorológicos do AletaRio. O primeiro passo da pesquisa é avaliar a experiência, conhecimento e habilidade em previsão de tempo de cada participante. No entanto, no AlertaRio não há avaliação do desempenho dos previsores e portanto o nível de proficiência dos participantes foi determinado apenas pelo tempo de experiência.

O CDM se divide em 4 fases: (1) *identificação do incidente*; (2) *construção da linha do tempo*; (3) *aprofundamento* e; (4) *testes de hipóteses* (perguntas do tipo “*E se?*”). Em cada uma dessas fases os dados coletados eram apresentados ao entrevistado para que fossem validados e, eventualmente, fosse revelado mais algum detalhe ou sutileza.

##### **2.4.1.1 Identificação dos Eventos**

A primeira fase consiste na identificação dos incidentes. Neste trabalho os incidentes são eventos de chuva que tenham exigido a mudança no nível de alerta relativo á chuva no município do Rio de Janeiro. Segundo Crandall et al. (2006) incidentes não rotineiros e desafiadores possuem grande potencial para revelar elementos de perícia e fenômenos cognitivos relacionados. Com a finalidade de que as entrevistas fossem feitas sobre situações que se aproximassem o máximo possível do que seria vivenciado numa situação real foram escolhidos eventos que combinassem as seguintes características:

- represente uma tarefa desafiadora (mudança no nível de alerta por parte do previsor);
- haja dados disponíveis para serem recuperados (p. ex. imagens de satélite, dados de radar, de raios, de pluviômetros e previsões numéricas que o previsor tinha em mãos no dia do evento);
- o entrevistado estivesse presente ou, pelo menos, informado sobre o que aconteceu (conversou com o previsor que estava trabalhando no dia do evento);
- existência de momento(s) em que o previsor vivenciou um grande salto no seu entendimento da situação ou realizou uma ação que afetou a sequência de eventos.
- tenha sido um evento significativo<sup>2</sup> segundo critério do AlertaRio

#### 2.4.1.2 Construção da linha do tempo

Essa segunda rodada de perguntas pretende criar uma imagem da estrutura do evento através da descrição da sequência de acontecimentos, mas identificando também os pontos importantes que levaram o previsor a fazer determinadas escolhas e a tomar certas decisões. Nessa fase buscam-se maiores detalhes do que apenas a breve história contada na fase anterior de identificação do evento. É importante identificar os pontos críticos. Esses pontos são aqueles em que o previsor experimenta um salto no seu entendimento do que está acontecendo e a partir de então age de acordo com seu novo entendimento. Esses pontos são importantes pois é neles em que se revela mais claramente o conhecimento. Após a eliciação, documentação e verificação passa-se para a fase seguinte, o aprofundamento.

#### 2.4.1.3 Aprofundamento - A História por Trás da História (HTH)

Segundo Crandall et al. (2006) essa fase é a mais desafiadora e é onde tem-se a oportunidade de ver o mundo a partir da perspectiva do entrevistado. A pergunta que guia essa fase é: “Qual é a história por trás da história? ”. Nas duas fases anteriores já se descobriu o que aconteceu e quem fez o quê, mas não se descobriu ainda o que se sabia naquele momento, quando e como isso chegou a conhecimento e

---

<sup>2</sup>Os critérios para a classificação de um evento chuvoso como *significativo* podem ser encontrados na figura A.1 do Anexo A.

nem o que foi feito desse conhecimento. É justamente isso que se investiga nessa fase. Buscam-se percepções, expectativas, objetivos, julgamentos, confusões e incertezas. As perguntas sugeridas por Crandall et al. (2006) foram adaptadas para o contexto deste estudo. Essas informações foram extraídas a partir da análise detalhada das gravações de áudio e vídeo das entrevistas. Além disso, para o primeiro dos eventos de chuva analisados elaborou-se um questionário estruturado que se encontra no Apêndice D.

#### **2.4.1.4 Testes de Hipóteses**

A última fase consistiu em formular perguntas do tipo “ E se ... ? ” para obter mais informações e detalhes a respeito de:

- papel da experiência
- contribuições importantes
- diferenças perito-novato
- impacto de situações hipotéticas nas decisões tomadas

Assim como na fase de aprofundamento (seção 2.4.1.3) as informações foram extraídas a partir da análise minuciosa das gravações das entrevistas, mas foi aplicado um questionário estruturado para o primeiro dos eventos de chuva analisados (vide Apêndice D).

#### **2.4.2 Análise dos aspectos cognitivos no trabalho do meteorologista**

Durante as entrevistas, um conjunto de dados de grande relevância a respeito das particularidades das atividades de previsão de chuvas significativas<sup>3</sup> executado pela equipe do AlertaRio pôde ser capturado. Uma análise mais aprofundada foi realizada com um dos meteorologistas entrevistados (M1B, com 2 anos de experiência) para o primeiro dos eventos chuvosos selecionados (Caso 1). Os dados foram estruturados por meio de esquemas de codificação para facilitar a análise. Esta estruturação de dados visa separá-los e decompô-los a fim de organizá-los de diferentes maneiras para facilitar a compreensão dos padrões em que eles foram dispostos. Procurou-se

---

<sup>3</sup>Os critérios do AlertaRio para a classificação de um evento de chuva podem ser encontrados na figura A.1 do Anexo A.

estruturar estes dados através da escolha de um conjunto de categorias que apoiaram a tomada de decisão do meteorologista de alterar o nível de alerta relativo à chuva. Para isso, foram separados extratos do conteúdo da história e das respostas das entrevistas estruturadas, provenientes da aplicação do CDM. Esta classificação foi realizada por 3 meteorologistas. Dois deles eram parte do grupo de previsores da GEORIO e possuíam experiência de 05 (cinco) e 18 (dezoito) anos. O terceiro pertencia a uma instituição de pesquisa na área de meteorologia e possuía 09(nove) anos de experiência em previsão de tempo para a área da cidade do Rio de Janeiro. A classificação seguiu as seguintes categorias:

- Base Teórica (BT)
- Ferramenta (FE)
- Procedimento (PR)
- Decisão (DE)
- Experiência Anterior (EA)
- Pista (PI)
- Colaboração (CO)

Desse modo pretende-se avaliar a participação de cada uma dessas categorias nos processos cognitivos do previsor que levaram à decisão de alterar o nível de alerta de chuva.

#### **2.4.3 eliciação e Representação do Conhecimento - Mapas Conceituais**

O conhecimento elicitado deve servir para que outros se beneficiem do mesmo. Por isso a fase de eliciação do conhecimento por meio do CDM (vide seção 2.4.1) é seguida da análise dos dados e da representação do conhecimento.

A modelagem do conhecimento elicitado no presente estudo tem por objetivo permitir aplicação nas seguintes áreas:

- a) Preservação do Conhecimento;
- b) Compartilhamento do Conhecimento;

- c) Auxiliar na Tomada de Decisões;
- d) Revelar Habilidades.

Para realizar a modelagem do conhecimento com os previsores mais experientes fez-se também o uso de *Mapas Conceituais* (??). Os mapas conceituais são diagramas usados para representar e transmitir conhecimento (CRANDALL et al., 2006). Mapas conceituais já foram utilizados para representar o conhecimento elicitado de previsores meteorológicos por Hoffman et al. (2006). No presente trabalho a construção dos mapas conceituais é feita com o uso do software **CMAPTOOLS** (CAÑAS et al., 2004). Essa ferramenta foi utilizada por um dos grupos que participaram da pesquisa (G1), que era composto por dois indivíduos. Um dos indivíduos tinha em mãos um *notebook* com a ferramenta CMAPTOOLS e construía o mapa junto com o entrevistado. Esse mesmo método foi utilizado com sucesso por Hoffman et al. (2006) na eliciação e representação de conhecimento de meteorologistas da marinha dos Estados Unidos. Após a construção dos mapas conceituais fez-se a validação dos mesmos. Essa validação foi feita apresentando os mapas a um meteorologista experiente (M1C), que também havia participado das entrevistas. Desse modo procurou-se minimizar falhas de interpretação por parte do pesquisador e obter a maior quantidade de detalhes e sutilezas possível.



### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Histórico dos Extremos de Chuva no Rio de Janeiro na última década

A classificação sinótica dos 32 EECs do período 2000 a 2010 mostrada na tabela 2.1 revelou que 15 (47%) estavam associados a frentes frias (FF), 12 (37%) com a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e para 5 (16%) deles não foi possível identificar nenhum sistema de escala sinótica associado (NS).

A análise do número de ocorrências anuais de EECs (Fig. 3.1, acima) revelou que o ano de 2003 apresentou o maior número de eventos, num total de 6 (seis), dos quais 5 (83%) estavam relacionados a frentes frias. Em segundo lugar estão os anos de 2007 e 2010, com 5 (cinco) EECs cada um. O restante dos anos apresenta 3 (três) ou menos ocorrências de EECs. A predominância de FFs é verdadeira para para 6 (55%) dos anos, enquanto a ZCAS predomina em 2001, 2007 e 2009. Além disso, 4 (quatro) dos 5 (cinco) anos de 2006 a 2010 apresentaram número de ocorrências acima da média. Foi encontrada uma média de 2.9 EECs por ano de 2000 a 2010. Esse valor é próximo ao encontrado em estudos anteriores sobre EEC no Sudeste do Brasil, mesmo utilizando diferentes métodos. Lima e Satyamurti (2010) encontrou uma média de 3.4 eventos por ano entre os anos de 1965 e 2000 utilizando dados de precipitação que cobriam a Região Sudeste do Brasil. Seluchi e Chou (2009) encontraram 3.5 eventos por ano ao estudar escorregamentos de massa entre novembro de 1995 e dezembro de 2005 na Serra do Mar, uma área dentro da Região Sudeste do Brasil, mas muito maior que a cidade do Rio de Janeiro. O trabalho de Dereczynski et al. (2009) encontrou uma frequência menor de EECs. Dereczynski et al. (2009) estudou EECs utilizando a mesma rede de pluviômetros que o presente trabalho, mas para um período diferente, entre 1997 e 2006, quando encontrou uma média de 1.5 eventos por ano. Uma possível explicação para essa média mais baixa é a ausência de EECs nos anos de 1997 e de 1999 e o grande número de EECs em 2007 e 2010 (vide figura 3.1). Essa distribuição anual de EECs revela que a segunda metade da década teve um número maior de ocorrências de EECs.

No entanto, é necessário cautela ao interpretar essa tendência de aumento na frequência de EECs ao longo dessa década como real já que a série de dados é relativamente curta e portanto tem baixa significância estatística. Um outro resultado que se destaca é a existência de um ano (2002) em que não houve nenhum EEC que fosse

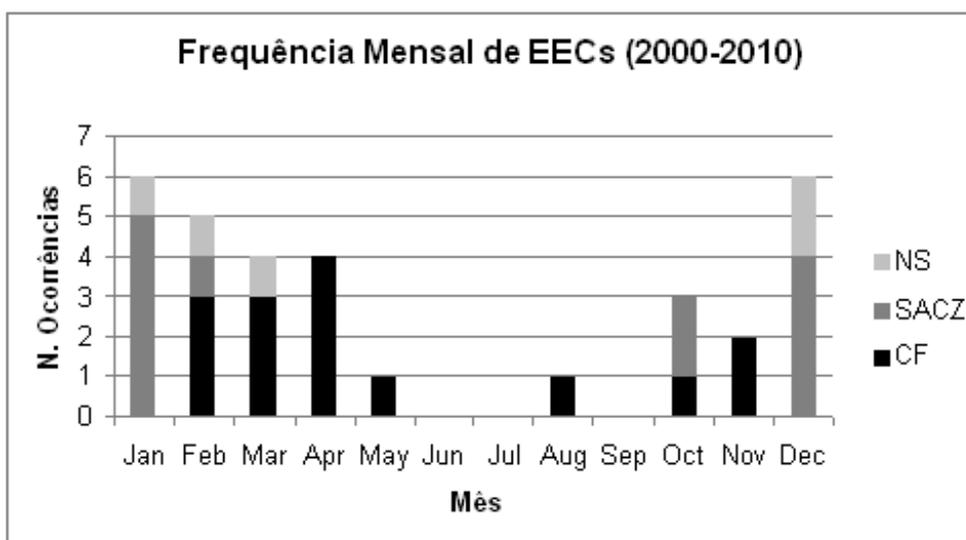
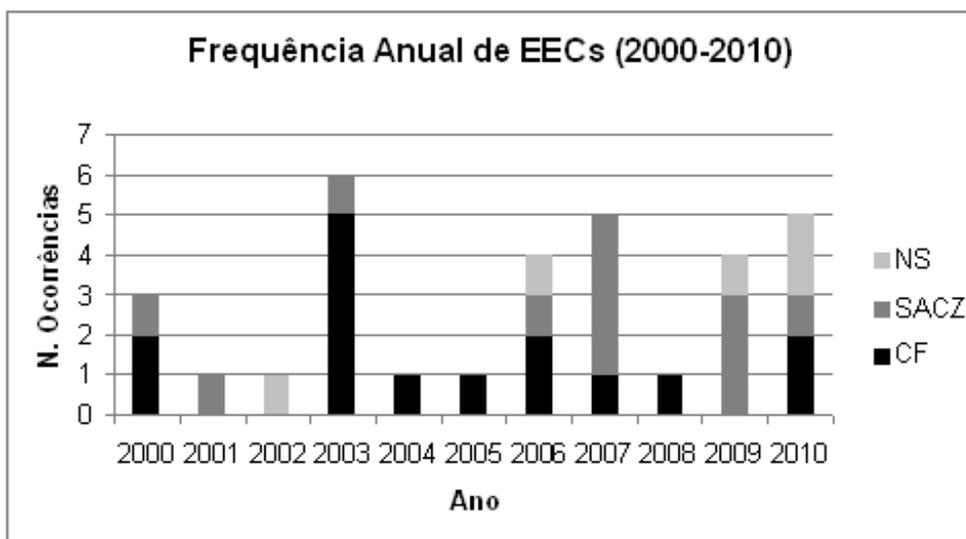


Figura 3.1 - Frequências Anual (acima) e Mensal (abaixo) dos Eventos Extremos de Chuva (EECs) na cidade do Rio de Janeiro de 2000 a 2010, divididos por sistema sinótico associado: Frente Fria (FF), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS); e Nenhum Sistema Sinótico (NS)

relacionado a algum sistema meteorológico de escala sinótica. Dentre os 11 (onze) anos analisados as FFs não estiveram relacionadas a EECs em apenas 3 (três), enquanto a ZCAS esteve ausente em 4 (quatro) deles. Na figura 3.1 encontra-se também a distribuição mensal das ocorrências de EECs. Pode-se notar que, nos meses de dezembro e janeiro os EECs estão mais associados a eventos de ZCAS. Mais do que isso, não foi observado nenhum EEC associado a frente fria nesses dois meses.

### **3.2 Método para a Detecção de Padrões Atmosféricos de Eventos Extremos de Chuva - MeDPAt-EEC**

Os resultados das previsões de EEC na cidade do Rio de Janeiro em 2009 e 2010 utilizando o método MeDPAt-EEC estão apresentados na figura 3.2. Nesse gráfico não estão apresentadas todas as variáveis testadas (a lista completa está na subseção 2.2.2), mas apenas aquelas que representam a dispersão de resultados obtidos com o conjunto total. Também se encontram neste gráfico a previsão de precipitação do modelo ETA40 (ETA40precip) e um ponto que marca a posição que teria no gráfico uma previsão perfeita, ou seja, POD igual 1.0 e FAR igual a 0.0.

Para analisar esses resultados vamos tomar como referência o ETA40(precip) que apresenta POD igual a 0.33 e FAR igual a 0.72. Esse valor de POD reflete o fato de que as previsões de chuva do modelo ETA40 nos anos de 2009 e 2010 conseguiram prever apenas 3 (três) de um total de 9 (nove) EECs ocorridos. Além disso, o ETA40 fez um total de 11 previsões de EECs, o que resultou em um FAR de 0.72 pois 8(oito) dessas previsões foram alarmes falsos. Apesar desses resultados do ETA40(precip) mostrarem elevado número de alarmes falsos e pouca detecção dos EECs é importante destacar que a quase totalidade das variáveis meteorológicas testadas para servirem como padrões de EECs apresentaram valores de FAR ainda maiores para o mesmo valor de POD igual a 0.33. A única exceção foi a combinação RH900+V10M(A2). Essa combinação de umidade relativa no nível de 900 hPa com o vento meridional a 10 m de altura no domínio A2 apresentou valor de FAR igual a 0.0 (zero)

As figuras 3.3 e 3.4 mostram os 9 (nove) pares de campos atmosféricos identificados como semelhantes (ressonantes) pelo MeDPAt no experimento com limiar de similaridade de 0.9455 utilizando a combinação de variáveis RH900+V10M(A2). Esse experimento foi o que produziu o melhor resultado entre os mais de 600 realizados. Além disso, esse experimento foi o único a produzir um resultado combinado entre

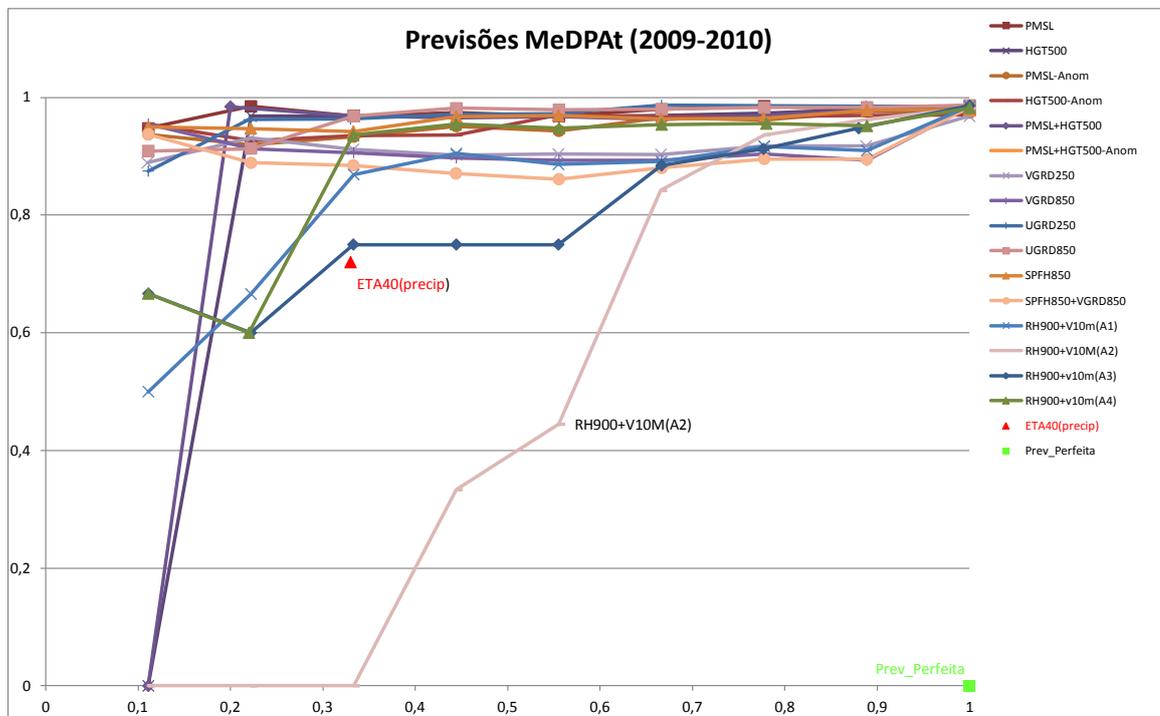


Figura 3.2 - Gráfico com valores de Probabilidade de Detecção (POD - eixo das abcissas) e Razão de Alarme Falso (FAR - eixo das ordenadas) para as seguintes variáveis meteorológicas: Pressão ao Nível do Mar (PMSL); Altura Geopotencial em 500 hPa (HGT500); Anomalia de PMSL (PMSL-Anom); Anomalia de HGT500 (HGT500-Anom), Combinação de PMSL+HGT500; Anomalia da Combinação de PMSL+HGT500 (PMSL+HGT500-Anom); Vento Meridional em 250 hPa (UGRD250) e em 850 hPa (VGRD850) e em 250 hPa (VGRD250); Vento Zonal em 250 hPa (UGRD250) e 850 hPa (UGRD850); Umidade Específica em 850 hPa (SPFH850); Combinação de SPFH850+VGRD850; Combinação de Umidade Relativa em 900 hPa e vento meridional a 10 metros no domínio A1 (RH900+V10M(A1)), no domínio A2 (RH900+V10M(A2)), no domínio A3 (RH900+V10M(A3)) e no domínio A4 (RH900+V10M(A4)); e a variável precipitação gerada pelo próprio modelo ETA40; e uma Previsão Perfeita (Prev\_Perfeita).

acertos e alarmes falsos, com mais de 50% de acertos ( $POD=0.55$ ) e menos de 50% de alarmes falsos ( $FAR=0.44$ ).

Ao analisarmos os sistemas meteorológicos associados ao experimento que resultou na melhor relação  $POD \times FAR$  (RH900+V10M(A2)) percebemos que não foram previstos os 3 (três) EECs que não estavam associados a sistemas sinóticos atuantes na área da cidade do Rio de Janeiro. No entanto os dois eventos associados a FFs foram previstos corretamente e também aqueles relacionados a ZCAS, com exceção de um evento, que ocorreu em 15 de janeiro de 2010.

Os pares ressonantes da combinação RH900+V10M(A2) para  $POD=0.55$  foram separados em duas figuras, sendo que a figura 3.3 mostra os acertos, enquanto a figura 3.4 tem os alarmes falsos. Entre os pares de acertos e aqueles de alarme falso não se notam diferenças significativas, o que mostra a existência de campos atmosféricos muito semelhantes mas que causaram volumes de chuva bem diferentes.

Em 06 de abril de 2010 foi registrado um acumulado de 188 mm/24h, o maior volume de chuva em 24 horas de toda a série de dados. Na figura 3.3 nota-se que o padrão atmosférico de umidade relativa em 900 hPa junto com o vento a 10 m no domínio A2 resultou ressonante com o campo atmosférico do dia 02 de novembro de 2003, o que representa um acerto. Por outro lado, o par de ressonância dos dias 23 de dezembro de 2001 e 27 de outubro de 2009 na figura 3.4 representa um alarme falso. No entanto, apesar do alarme falso, houve registro de chuva não desprezível no dia 27 de outubro de 2009, quando foram registrados 10 mm/24h, sendo que em um dos 32 pluviômetros da rede da GEORIO o acumulado de chuva chegou a 40 mm/24h.

Ao serem analisadas as datas dos pares ressonantes percebe-se que tanto os acertos como os erros podem acontecer com ressonâncias entre campos próximos (menos de 2 anos) ou distantes no tempo (mais de 7 anos). Não se notam diferenças significativas entre as ressonâncias erradas e aquelas corretas que pudessem ajudar a melhorar o MeDPAt.

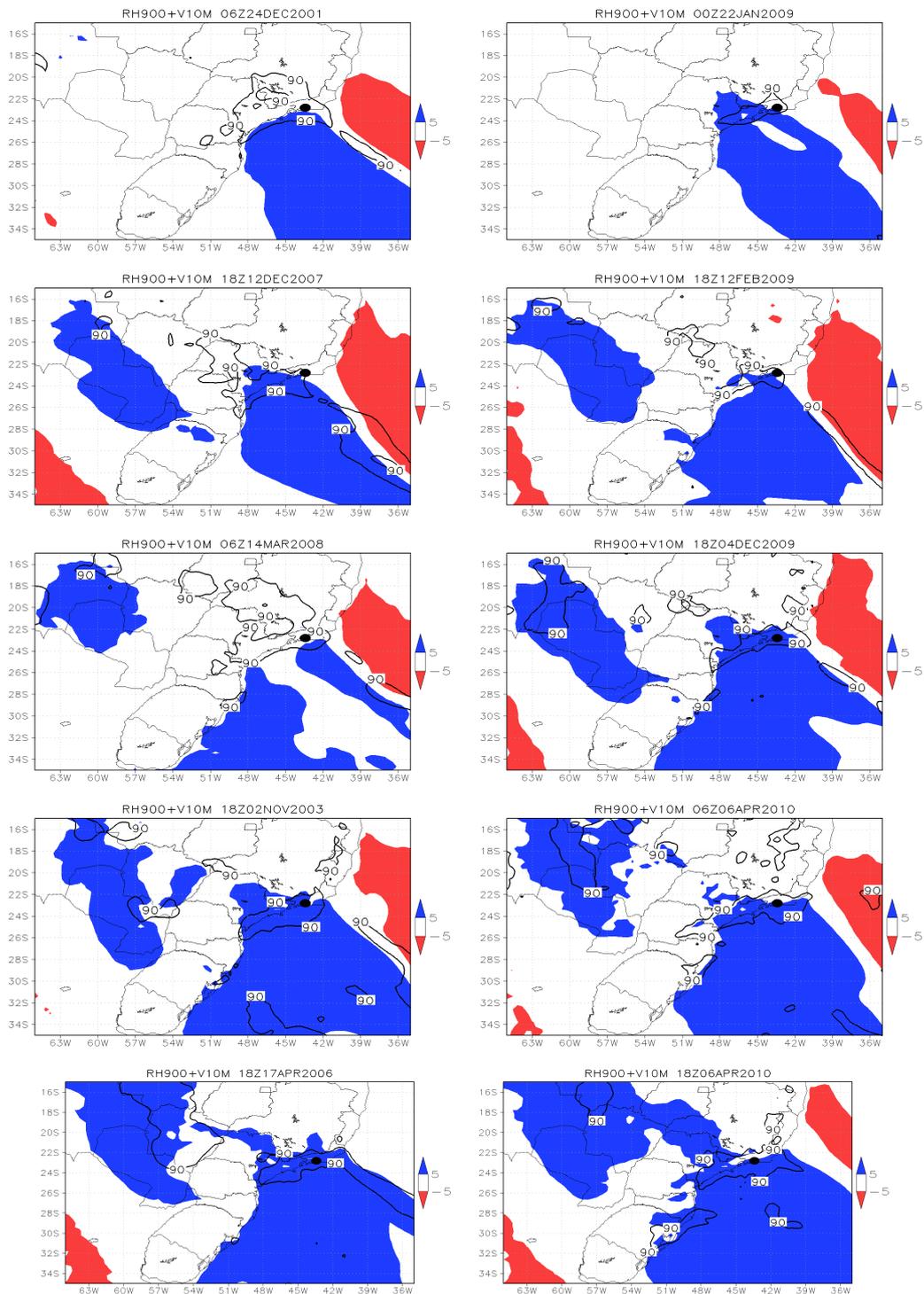


Figura 3.3 - Vento meridional a 10m com módulo maior que 5 m/s, com o vento de sul(norte) sombreado na cor azul(vermelha), e umidade relativa de 90% (contorno), para os **acertos** do experimento com limiar de similaridade de 0.9455 para a variável RH900+V10M(A2). Na coluna da direita estão os candidatos ressonantes com os padrões da coluna da esquerda. Os valores de similaridade entre os pares direita-esquerda são, respectivamente: 0.9486; 0.9455; 0.9542; 0.9616; 0.9564. O ponto preto em 22.9S/43.1W marca a posição do Rio de Janeiro.

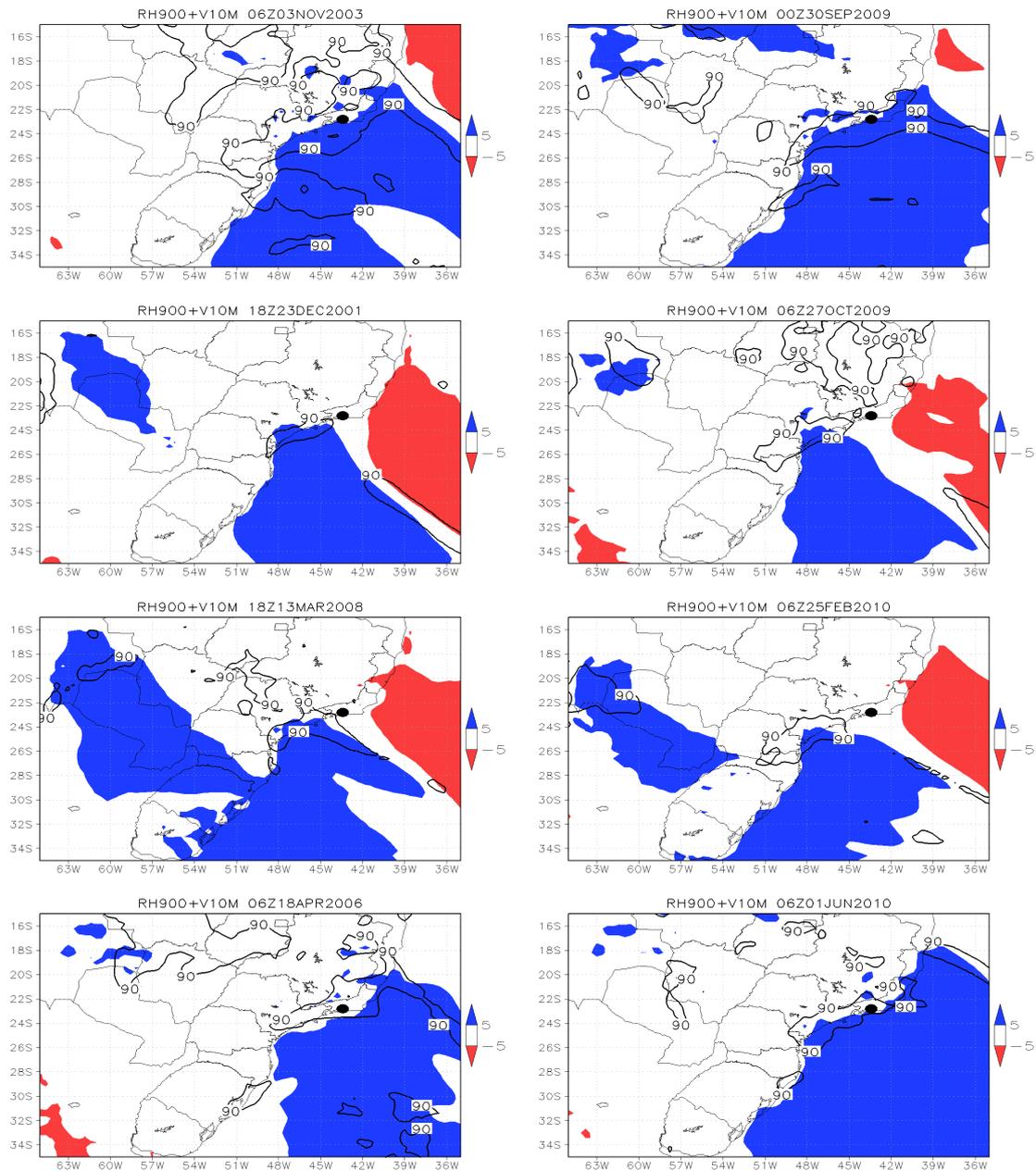


Figura 3.4 - Vento meridional a 10m com módulo maior que 5 m/s, com o vento de sul(norte) está sombreado na cor azul(vermelha), e umidade relativa de 90% (contorno), para os **alarmes falsos** do experimento com limiar de similaridade de 0.9455 para a variável RH900+V10M(A2). Na coluna da direita estão os candidatos ressonantes com os padrões da coluna da esquerda. Os valores de similaridade entre os pares direita-esquerda são, respectivamente: 0.9490; 0.9466; 0.9486; 0.9482. O ponto preto em 22.9S/43.1W indica a localização da cidade do Rio de Janeiro.

### 3.3 Análise Meteorológica de Casos de Chuva Significativa

Antes da análise do ponto de vista da cognição do previsor dos eventos de chuva significativa faz-se uma análise do ponto de vista meteorológico. Seguem as análises dos 3 (três) eventos de chuva significativa selecionados para este estudo.

#### 3.3.1 Caso - 1 (28/07/2009)

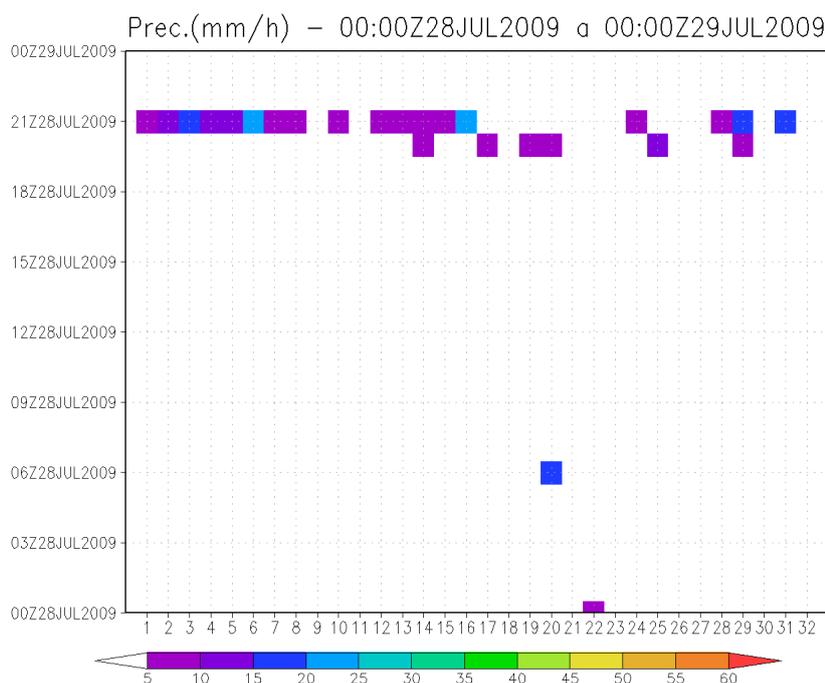


Figura 3.5 - Precipitação Observada na rede de 32 estações da GEORIO - Caso 1

Na figura 3.5 tem-se a distribuição temporal e espacial da precipitação num período de 24 horas dentro do qual está o evento chuvoso. Nota-se que segundo o critério da GeoRio o evento é significativo pois grande parte das estações apresentaram mais de 5 mm/h de precipitação, inclusive com 9 delas superando os 10 mm às 20Z e 21Z (17h00 e 18h00 no horário de Brasília). Os registros de 3 aeroportos da cidade (dados não apresentados aqui) confirmam chuva forte e trovoada nesse horário, inclusive com rajada de vento de 42 kts (77.8 km/h) às 20:15Z.

Na figura 3.6 tem-se a carta sinótica de superfície, a qual é utilizada pelos meteorologistas do AlertaRio, indicando apenas um cavado sobre a Região Sudeste às 18Z do dia 28. A sondagem (fig. 3.7) mostra índices não muito elevados. A Figura

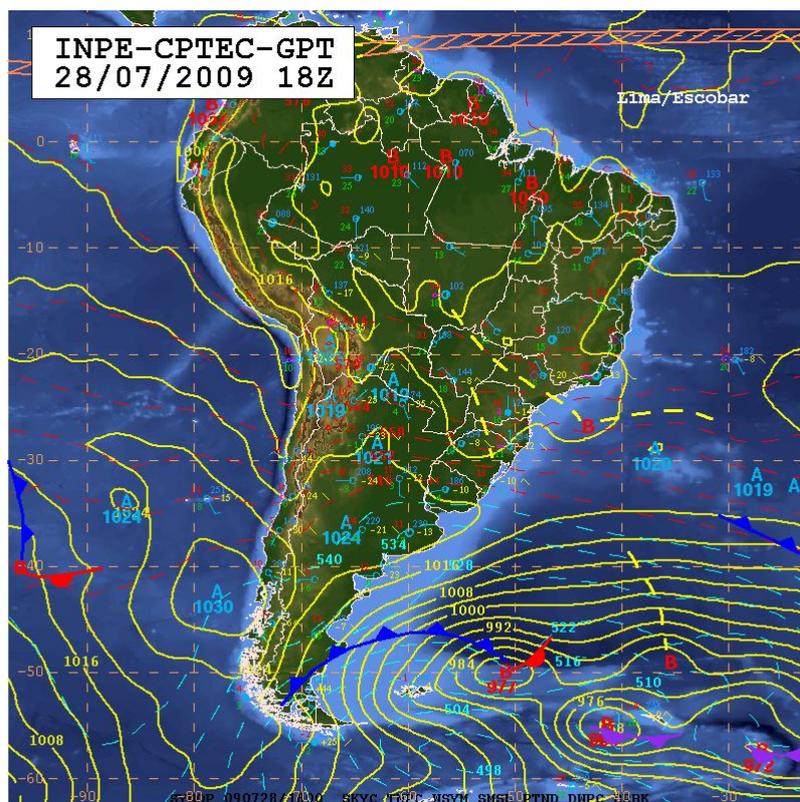


Figura 3.6 - Carta Sinótica - Caso 1

Fonte: Lima e Escobar (2009)

3.8 mostra as descargas elétricas atmosféricas (raios), evidenciando que o número de descargas atmosféricas sobre o RJ foi pequena. A imagem de satélite (figura 3.9) e de radar (3.10) mostram a nebulosidade e a precipitação alinhadas no sentido noroeste-sudeste sobre a região metropolitana do RJ. Essa linha está na vanguarda de uma banda de nebulosidade com convecção mais profunda notada sobre o Estado de São Paulo. A análise das previsões numéricas para este evento (fig. 3.11) revela que nenhum dos modelos previu corretamente o horário ou a intensidade da chuva observada.

### 3.3.2 Caso - 2 (21/01/2009)

Esse caso é o mais intenso entre os três casos analisados nesse trabalho. O pluviômetro de número da Tijuca registrou 102.2 mm em apenas 5 horas, enquanto no Sumaré foram 124.8 mm em 24 horas. A figura 3.12 mostra a distribuição espacial e

**83746 SBGL Galeao**

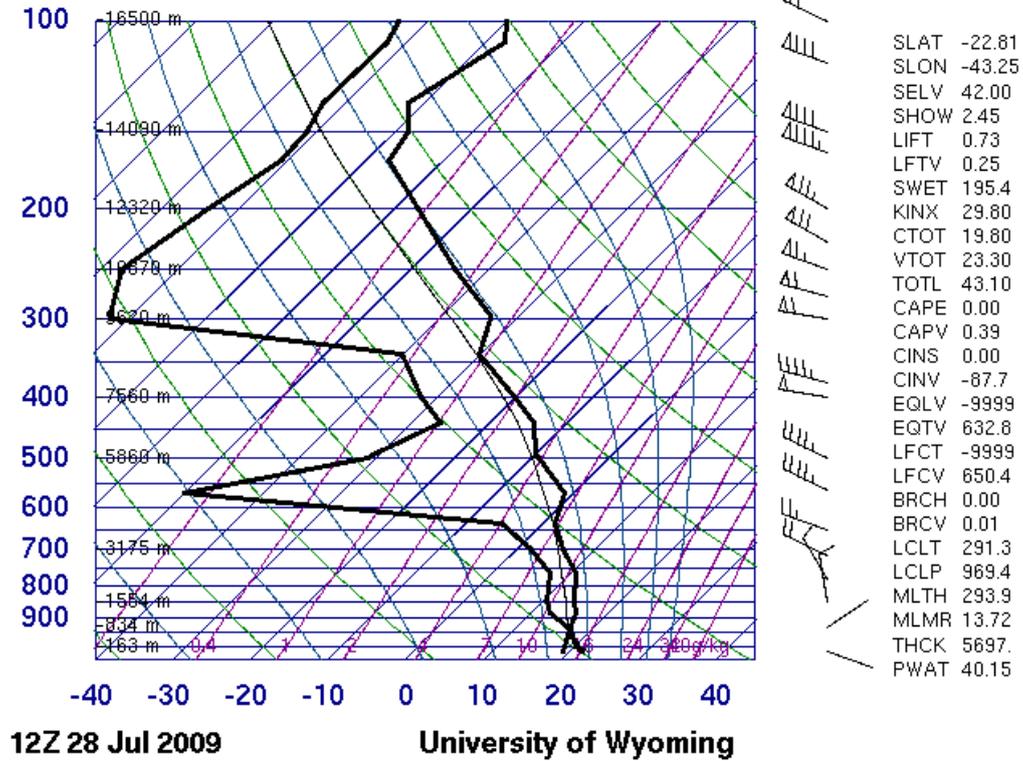


Figura 3.7 - Sondagem - 28/07/2009 às 1200Z - Caso 1  
 Fonte: University of Wyoming (2009b)

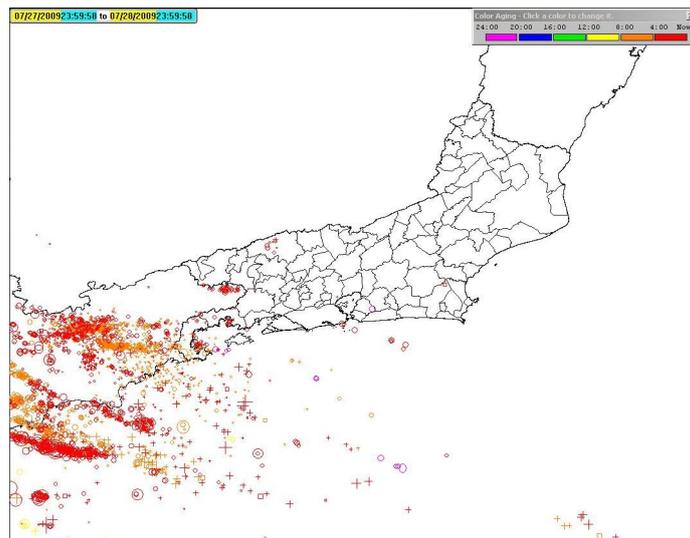


Figura 3.8 - Raios - Caso 1  
 Fonte: RINDAT (2009b)

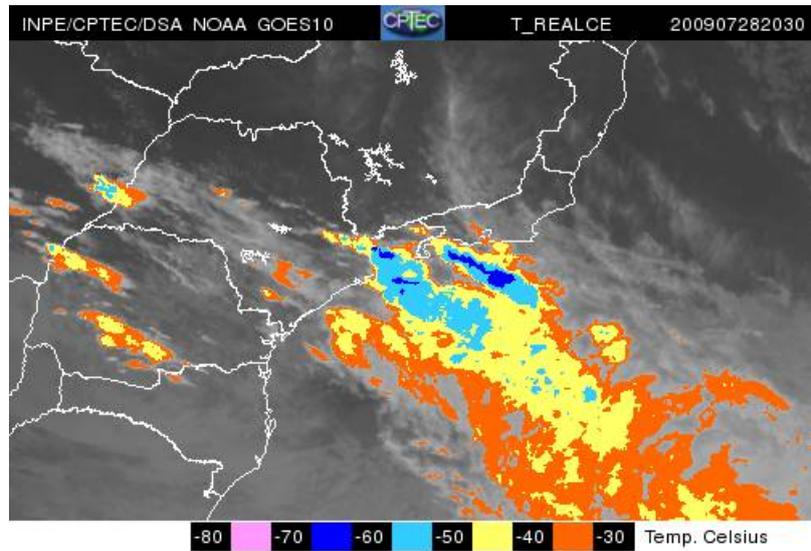


Figura 3.9 - Imagem de Satélite - Infravermelho - Caso 1  
 Fonte: INPE-CPTEC-DSA (2009b)

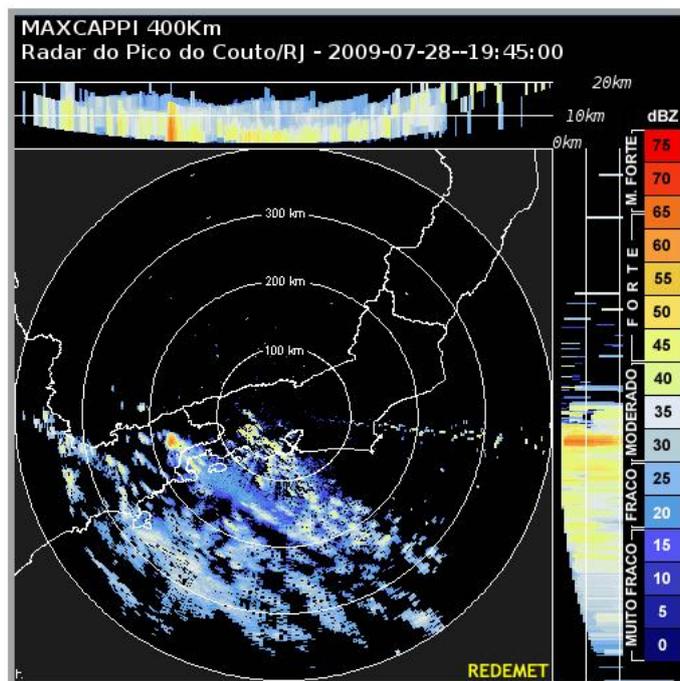


Figura 3.10 - Radar - Caso 1  
 Fonte: REDEMET (2009b)

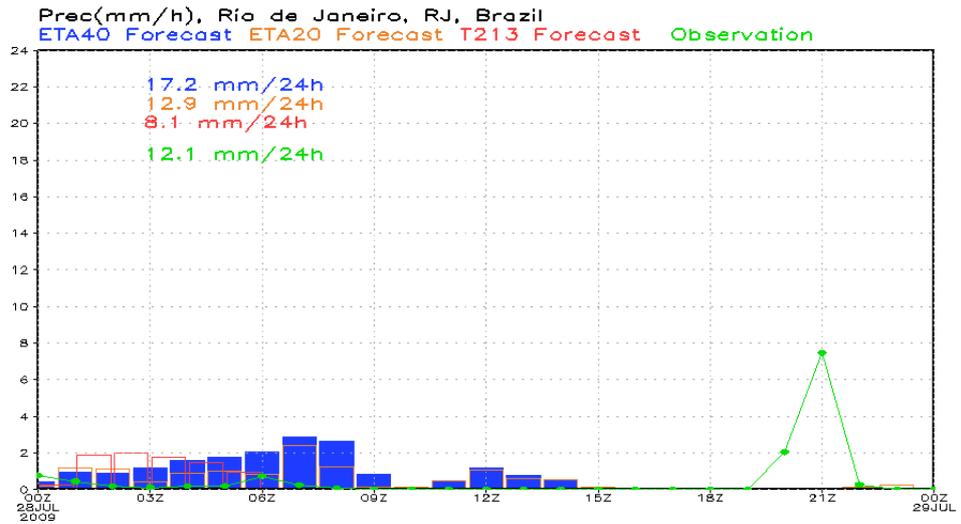


Figura 3.11 - Precipitação Observada e Prevista - Caso 1

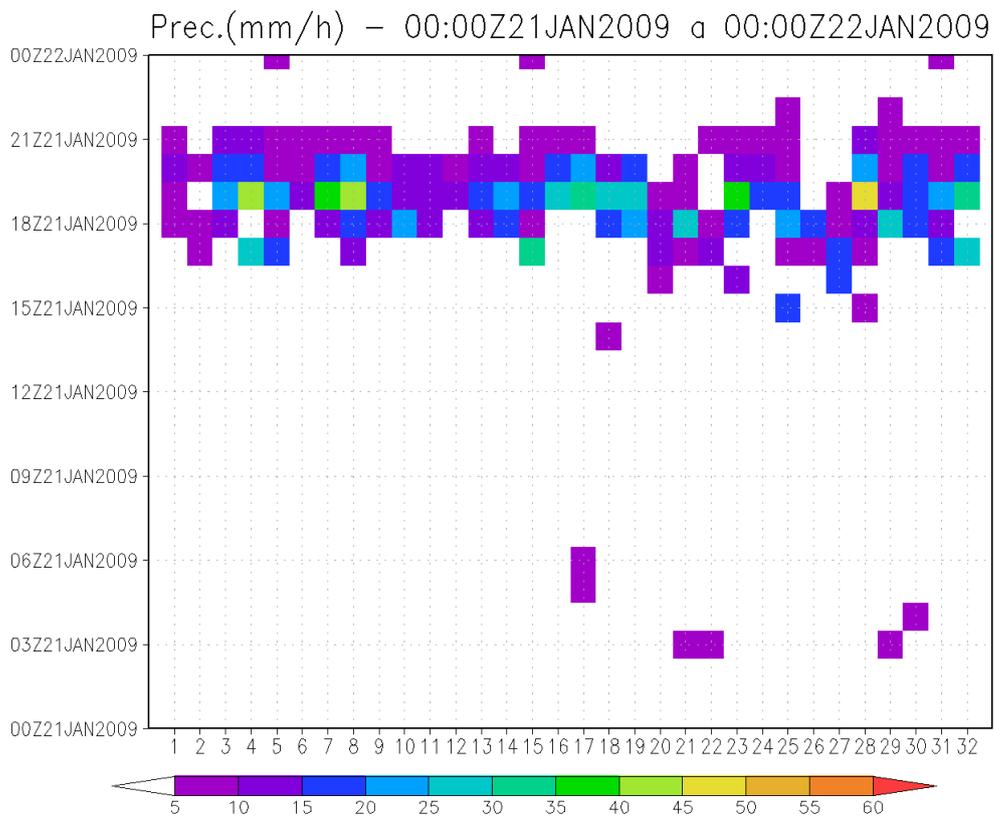


Figura 3.12 - Precipitação Observada na rede de 32 estações da GEORIO - Caso 2

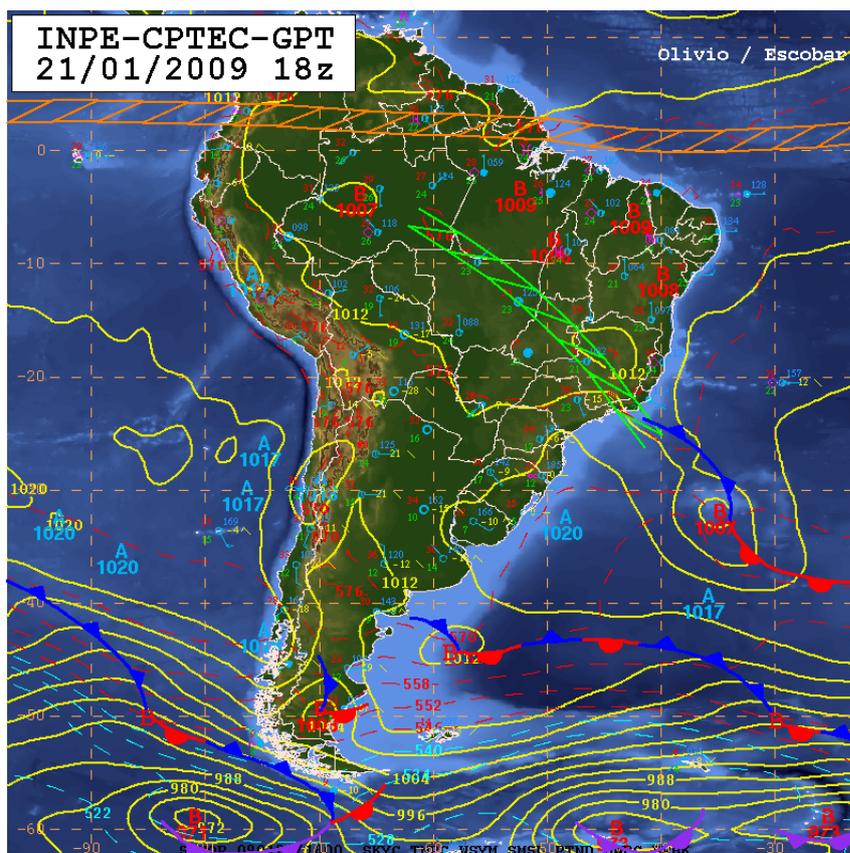


Figura 3.13 - Carta Sinótica - Caso 2

Fonte: Bahia e Escobar (2009)

temporal da chuva onde se nota intensidade maior que 40 mm/h às 19Z na estação 28 (Sumaré). A Análise sinótica de superfície na Fig. 3.13 mostra uma onda frontal sobre o Atlântico cujo ramo frio se acopla à ZCAS na costa do estado do RJ. Os dados de descargas atmosféricas (fig. 3.14) mostram uma grande concentração de descargas sobre o oeste do município do Rio de Janeiro no período da tarde. Já a imagem de satélite (fig 3.15) deixa clara a interação das nuvens associadas ao ramo frontal sobre o oceano e a convecção da ZCAS sobre o continente. Com relação ao prognóstico analisam-se as previsões dos modelos numéricos na Figura 3.18. Os modelos ETA20 e ETA40 apresentam um pico de precipitação horária às 14:00Z . Isso significa um erro de horário pois o pico de chuva aconteceu em torno das 18:00Z. Tem-se também uma subestimativa já que a intensidade da chuva (linha verde) chegou a 20 mm/h. A previsão do modelo Global do CPTEC–INPE (fig. 3.18 ) não

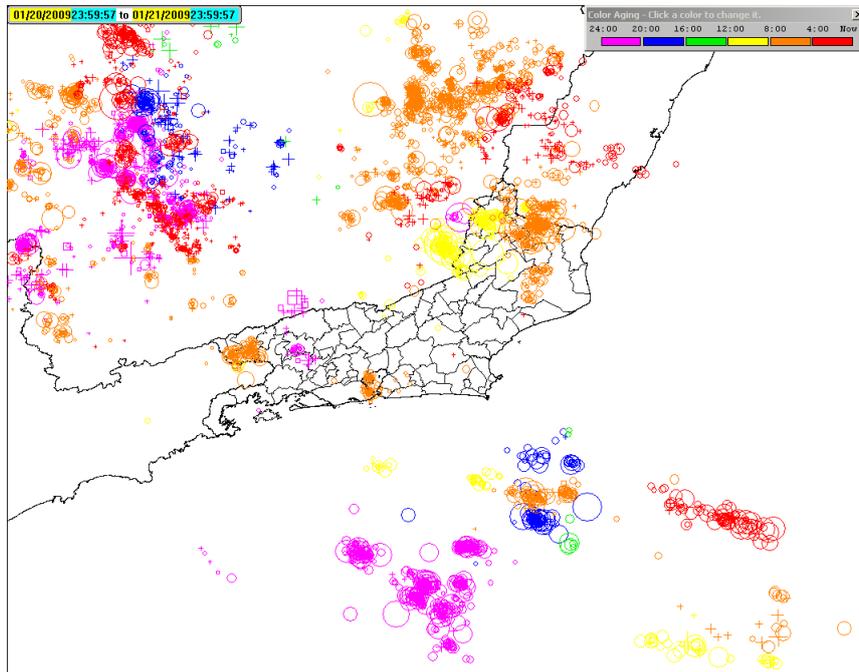


Figura 3.14 - Raios - Caso 2  
 Fonte: RINDAT (2009a)

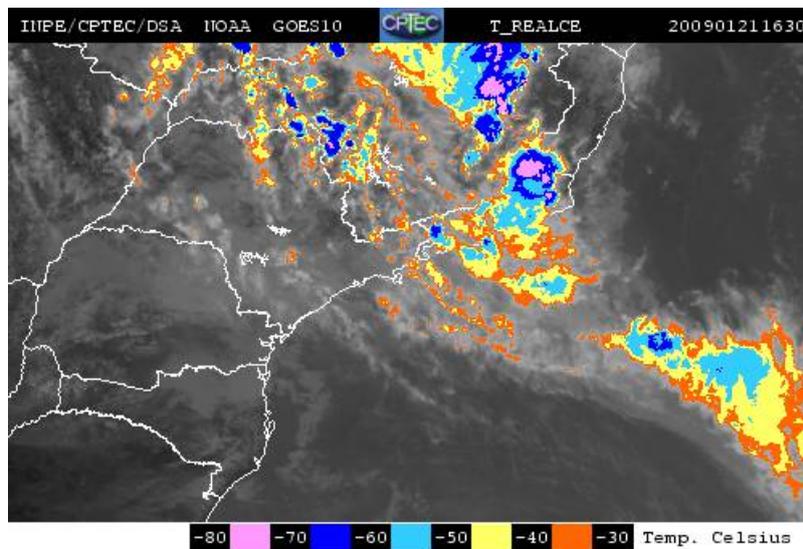


Figura 3.15 - Imagem de Satélite - Infravermelho - Caso 2  
 Fonte: INPE-CPTEC-DSA (2009a)

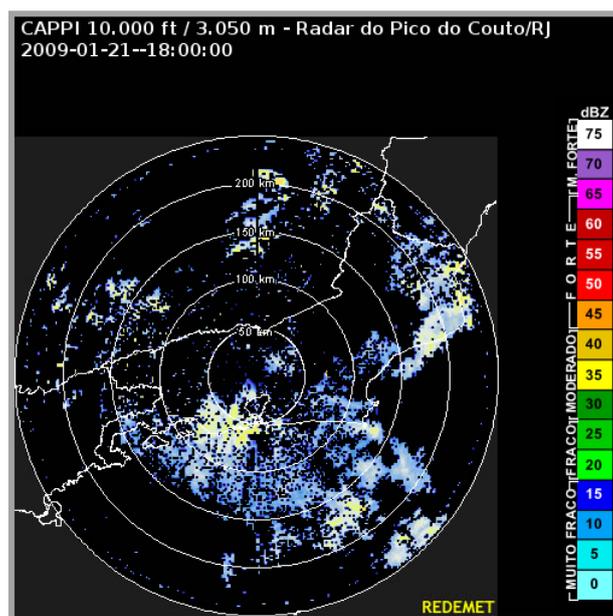


Figura 3.16 - Radar - Caso 2  
 Fonte: REDEMET (2009a)

difere muito e portanto também tem dificuldade em acertar o horário da chuva e subestima a intensidade.

### 3.3.3 Caso - 3 (29/06/2009)

O terceiro caso analisado é do mesmo ano dos dois casos anteriores, porém diferentemente do caso 2 que acontece no verão (período chuvoso), este ocorreu no inverno, mesma estação do Caso 1. Quanto à sua intensidade fica entre os dois casos anteriores. Analisando os registros pluviométricos deste evento (figura 3.19) nota-se um evento chuvoso de curta duração, com registro de chuva em apenas 3 horários, mas com pico de intensidade maior que 25 mm/h em dois pluviômetros (18 e 19).

A análise sinótica (figura 3.20) mostra a influência do escoamento em camadas médias da troposfera por causa da curvatura das isolinhas de espessura da camada 500/1000 hPa (tracejado em vermelho), indicando a atuação de ar mais frio em altitude devido à amplificação de um cavado. Em superfície tinha-se apenas atuação da borda norte de uma alta pressão pós-frontal. A sondagem das 00Z do dia 28 (fig. 3.21) mostra índices bastante elevados indicando potencial para condições de tempo severo, com o SWET de 240, o TOTL de 52. As imagens de satélite (figu-

**83746 SBGL Galeao**

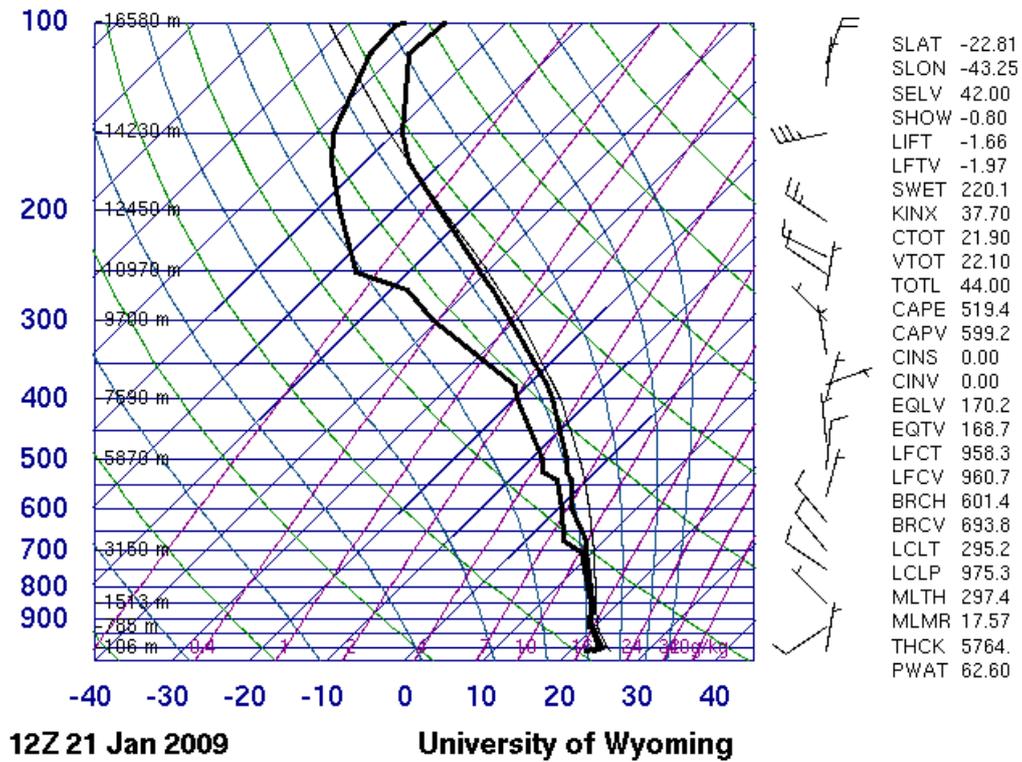


Figura 3.17 - Sondagem - Caso 2

Fonte: University of Wyoming (2009a)

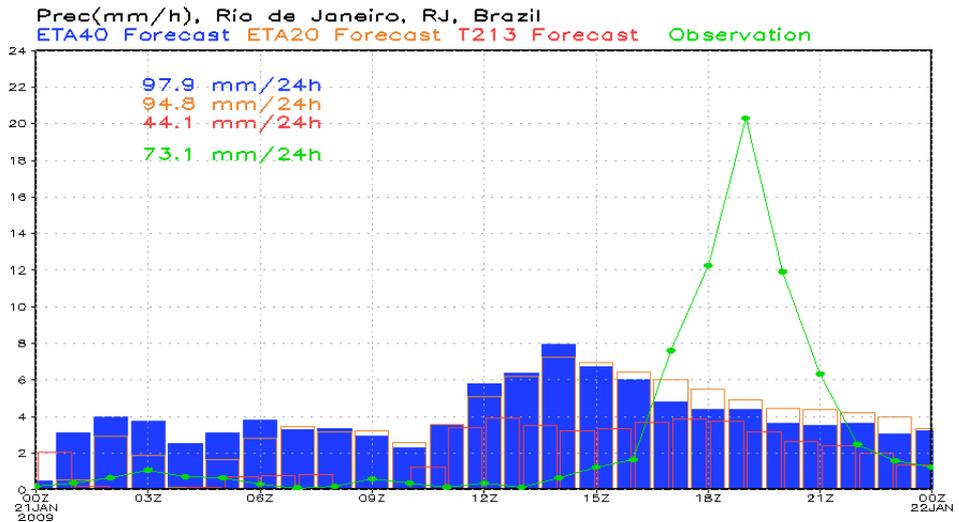


Figura 3.18 - Precipitação Observada e Prevista - Caso 2

ras 3.22), de radar (3.23) e de raios (fig. 3.24) mostram uma linha de instabilidade bem organizada sobre o município do RJ por volta das 03:00Z, ou seja, no início da madrugada.

A análise prognóstica (fig. 3.25) revela que as previsões numéricas não conseguem acertar o horário e nem o pico de intensidade da precipitação. Os modelos numéricos ETA20 e ETA40 apresentam a precipitação distribuída com intensidade aproximadamente constante. No entanto as observações mostram que o evento foi rápido com duração inferior a 3 horas. Nos modelos ETA20 e ETA40 a máxima intensidade horária prevista é de menos de 2 mm enquanto as observações mostram 12 mm/h como intensidade média nas 32 estações. Em dois pluviômetros foram registradas intensidades superiores a 25 mm (Fig. 3.19) . O modelo Global também apresentou duração do evento maior do que o observado e intensidade significativamente inferior.

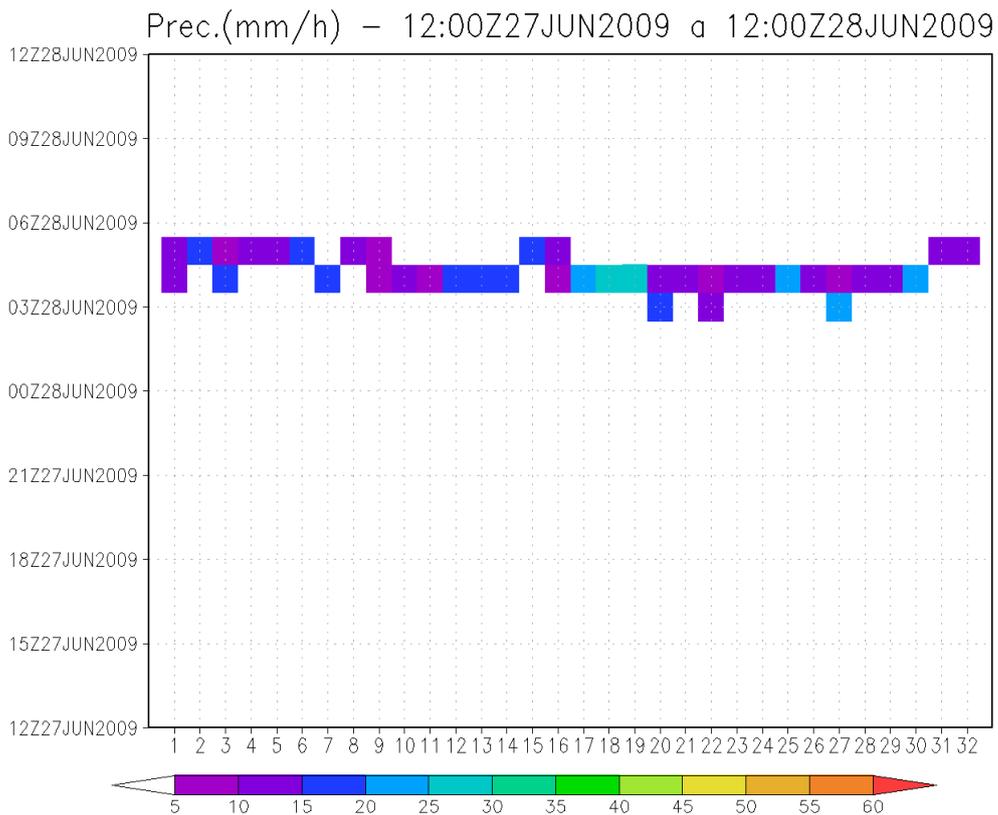


Figura 3.19 - Precipitação Observada na rede de 32 estações da GEORIO - Caso 3

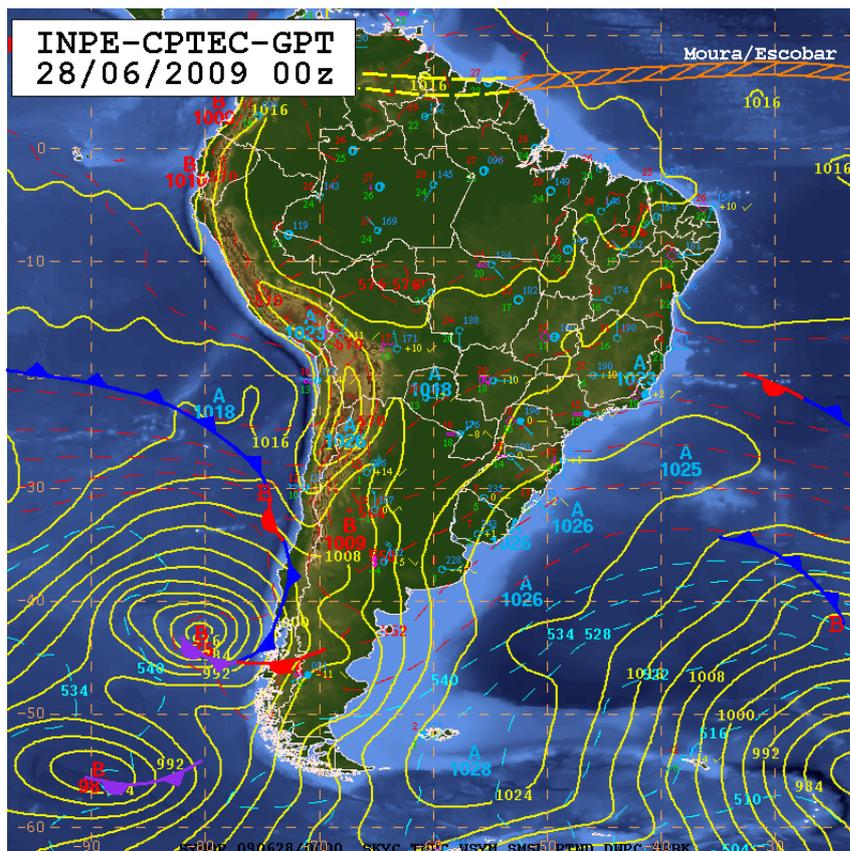


Figura 3.20 - Carta Sinótica - Caso 3  
 Fonte: Moura e Escobar (2009)

**83746 SBGL Galeao**

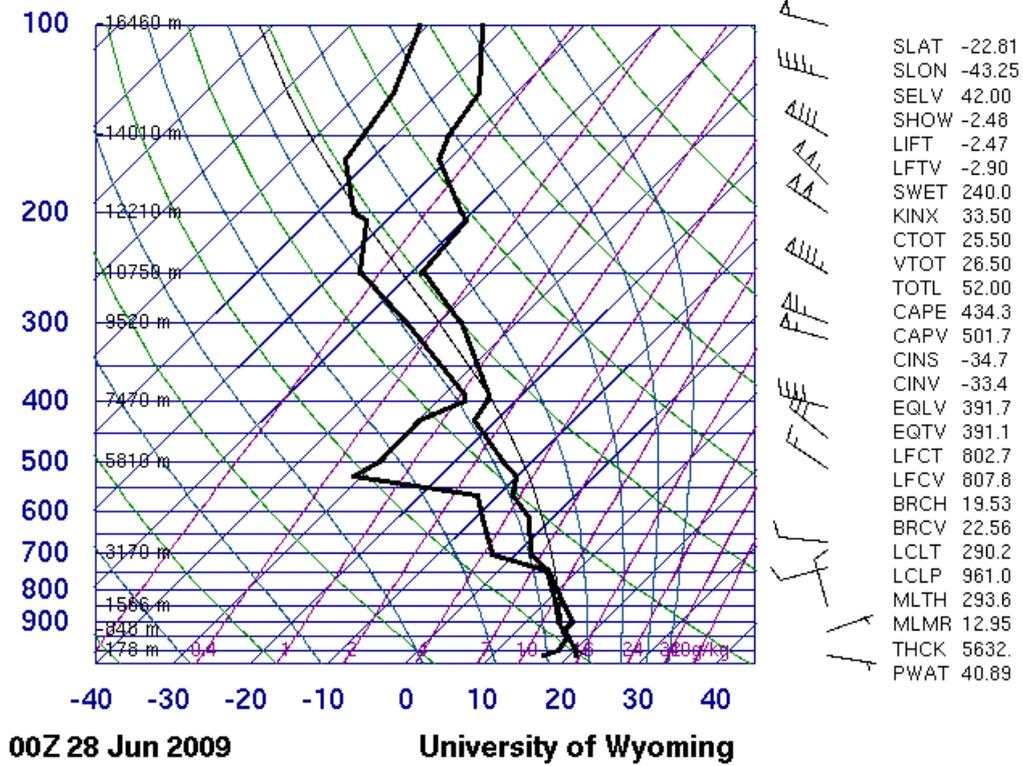


Figura 3.21 - Sondagem - Caso 3  
 Fonte: University of Wyoming (2009c)

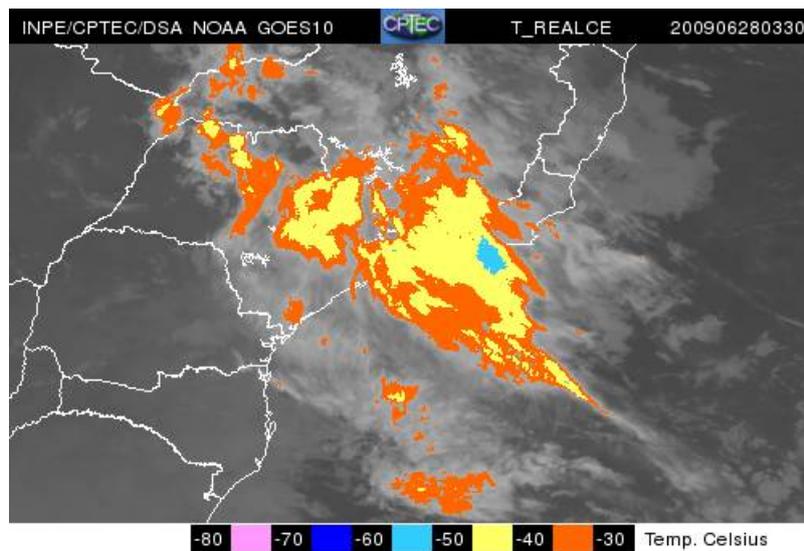


Figura 3.22 - Imagem de Satélite - Infravermelho - Caso 3  
 Fonte: INPE-CPTEC-DSA (2009c)

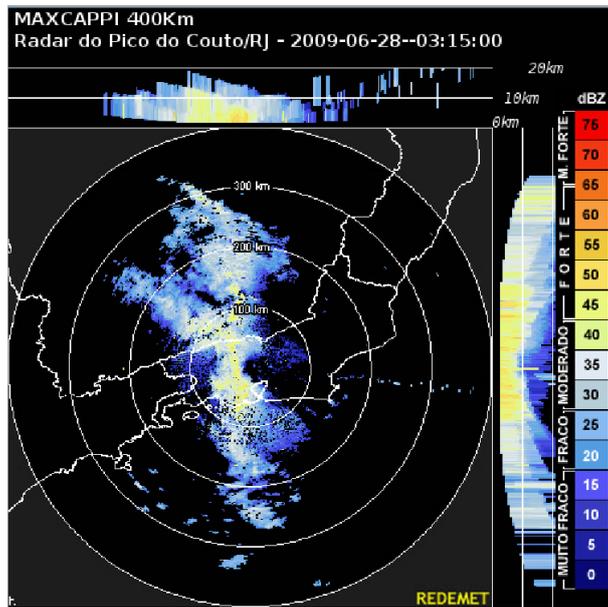


Figura 3.23 - Radar - Caso 3  
 Fonte: REDEMET (2009c)

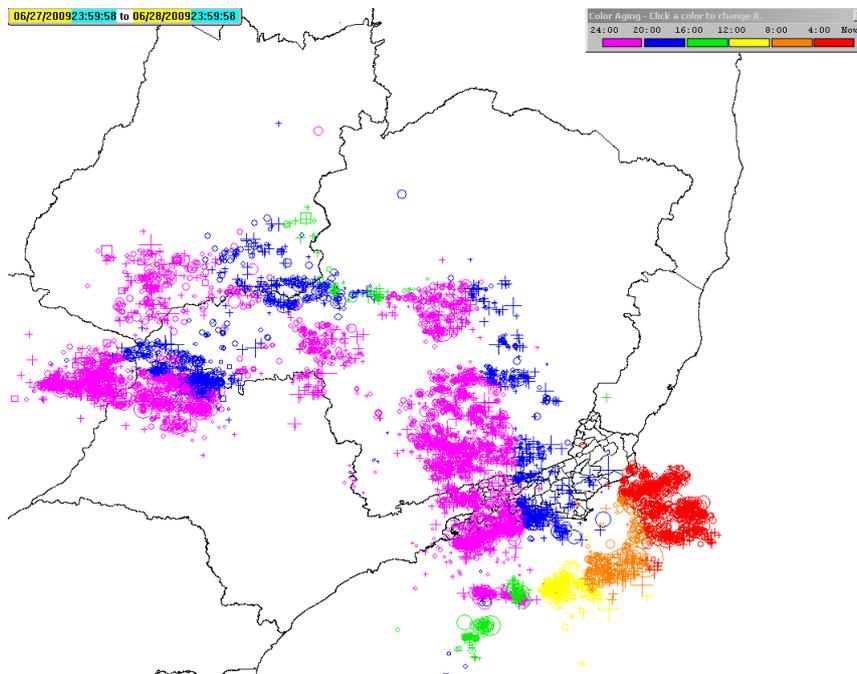


Figura 3.24 - Raios - Caso 3  
 Fonte: RINDAT (2009c)

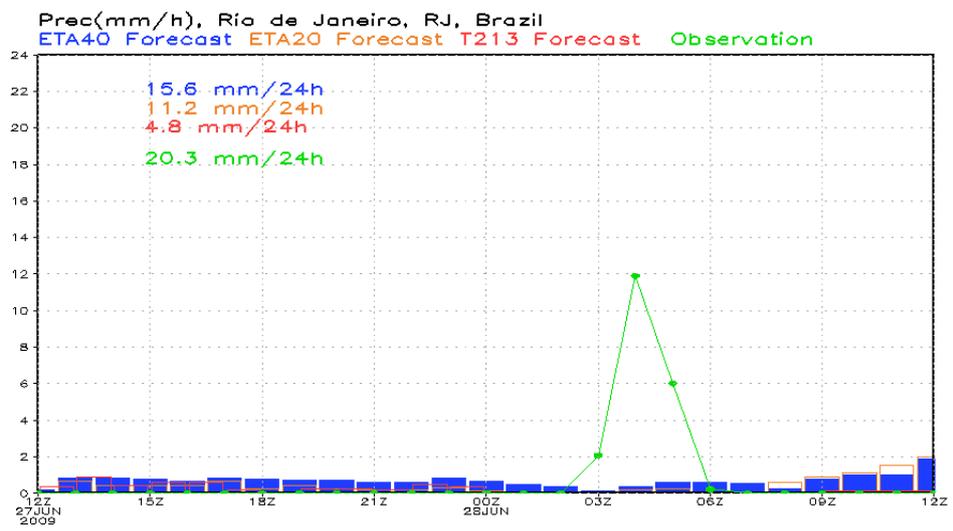


Figura 3.25 - Precipitação Observada e Prevista - Caso 3

### 3.4 Análise do Trabalho Cognitivo de Meteorologistas



Figura 3.26 - Sala de Trabalho dos previsores meteorológicos da GEORIO.

O ambiente de trabalho está na figura 3.26 onde nota-se uma sala comprida e não muito ampla com uma janela ao fundo, na lateral direita do previsor. Essa janela é o único meio de ter contato visual direto com a atmosfera. O uso da janela como um auxílio à percepção da nebulosidade e contribuição para a validação dos dados interpretados a partir dos modelos também é mencionado pelos profissionais. Os dados meteorológicos são todos fornecidos por ferramentas computacionais, as quais mostram a situação da atmosfera no passado próximo a partir de uma rede de 32 pluviômetros, e por modelos matemáticos, que prevêem o seu comportamento para o futuro. Não é feito nenhum tipo de anotação entre as consultas a estes artefatos e as informações são mantidas na mente do meteorologista, compondo uma imagem mental sobre o estado presente e evolução futura do escoamento atmosférico.

Uma série de procedimentos e critérios (vide Anexo A) se encontra documentada para auxiliar a decisão de troca de nível de alerta (vigilância, atenção, alerta e alerta máximo) bem como as ações necessárias para cada um desses níveis, como,

por exemplo, as instituições que devem ser comunicadas.

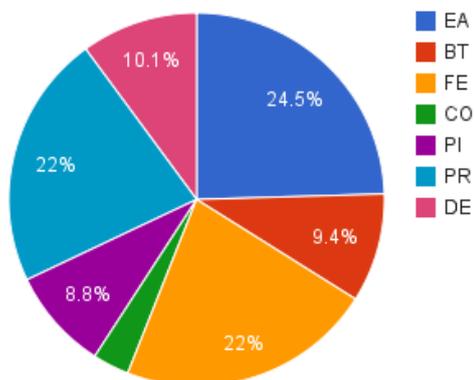


Figura 3.27 - Porcentagem de categorias de apoio à tomada de decisão. Experiência Anterior (EA), Base Teórica (BT), Ferramenta (FE), Colaboração (CO), Pista (PI), Procedimento (PR), Decisão (DE).

Também é subjetiva a interpretação que o previsor faz de cada uma dessas consultas. Durante as consultas o meteorologista cria um modelo mental que é constituído por: (a) conhecimento teórico a respeito da dinâmica da atmosfera (BT); (b) conhecimento corrente, recebido pelas ferramentas/artefatos (FE); (c) colaboração com outros previsores (CO); (d) experiências anteriores (EA); pistas (PI); procedimentos (PR) e (e) decisão (DE).

O gráfico da figura 3.27 mostra a porcentagem de cada categoria de extratos dos dados coletados nas entrevistas com o previsor M1B para o caso de chuva 1 e validado por 3 meteorologistas com experiência. Estes indicam a grande importância da experiência anterior do meteorologista (24.5%) e das ferramentas disponíveis (22%) no processo de previsão do tempo. Considerando-se o conhecimento tácito formado pelas categorias *Experiência Anterior*, *Pista* e *Colaboração* e o conhecimento explícito representando pela *Base Teórica*, *Ferramentas* e *Procedimentos* percebe-se que o conhecimento explícito tem maior participação (56%). No entanto, a participação do conhecimento tácito se mostra bastante expressiva (36%).

### 3.4.1 Previsão de Chuva Significativa

O sistema cognitivo homem-máquina foi analisado em suas partes para que fosse avaliado o papel do meteorologista diante das previsões dos modelos numéricos da atmosfera. Estes últimos são a principal ferramenta prognóstica do meteorologista para prazos maiores do que 06 horas. A análise foi feita para os 3 (três) episódios de chuva descritos na seção 3.3. Para dois desses episódios o modelo numérico da atmosfera apresentou previsões com falhas, as quais puderam ser parcialmente corrigidas pela perícia do meteorologista. O terceiro evento de chuva não foi previsto corretamente nem pelo modelo numérico e nem pelo meteorologista.

O primeiro episódio (vide mapas nas figuras 3.28 a 3.31) ocorreu no inverno, em 28 de julho de 2009 (vide figura 3.11). A chuva aconteceu entre o final da tarde e início da noite, com um pico de intensidade moderada de quase 8 mm/h às 21Z (18:00h no horário de Brasília). As previsões dos modelos numéricos previam chuva apenas para o período da madrugada e da manhã desse mesmo dia, com nenhuma ou muito pouca chuva prevista para o período da tarde. Ao narrar a história o meteorologista recorda que “*o modelo ETA estava dando previsão de chuva e naquele momento não estava ocorrendo*”. Às 8:00h da manhã o meteorologista previu ausência de chuva no período da manhã e possibilidade de chuva no período tarde/noite. Essa previsão do meteorologista foi contrária, porém mais precisa do que apontavam as previsões numéricas, que são a sua principal ferramenta prognóstica para um prazo maior do que 06 horas. O previsor justifica a sua decisão ousada explicitando o conhecimento utilizado com as seguintes palavras: “*a brisa traz umidade do oceano no período da tarde que, ajudada pela topografia, favorece a formação de nuvens.*”

O segundo episódio (vide mapas nas figuras 3.32 a 3.40) ocorreu no dia 21 de janeiro de 2009 e foi o mais intenso dentre os 3 (três) estudados, com registro de alagamentos e escorregamentos de massa na cidade do Rio de Janeiro. O pico de intensidade média da chuva na cidade aconteceu às 19Z (17:00h no horário local de verão - BRST). Nesse caso os modelos numéricos apresentaram menos falhas do que no caso anterior, porém ainda não conseguiram indicar com precisão a máxima intensidade da chuva e o horário de sua ocorrência. A previsão do meteorologista naquele dia para o período da tarde foi de pancadas de chuva. Aliás durante a entrevista o meteorologista deixa claro que a chuva foi bem prevista com grande antecedência - “*... no dia anterior, no domingo, já tinha previsão de pancadas à tarde.*” Os modelos numéricos indicavam chuva ao longo de todo o dia com relativo aumento na intensidade no período da

tarde. A previsão do meteorologista agregava informação ao indicar a possibilidade de haver um pico de chuva forte no período da tarde ao prever “*pancada de chuva*”. Portanto o meteorologista também agrega informação à previsão numérica neste caso, ainda que esse diferencial tenha sido menor do que no caso anterior.

O terceiro episódio (vide mapas nas figuras 3.41 a 3.45) analisado é mais um episódio de inverno, ocorrido em 28 de julho de 2009, no início da madrugada. Na figura 3.25 nota-se que os modelos numéricos previam uma quantidade de chuva inferior a 1 mm/h, o que é um valor muito inferior aos 12 mm/h medidos às 04Z (01:00h no horário de Brasília - BRT). A previsão do meteorologista na tarde anterior (cerca de 10 horas antes) era apenas de pancadas isoladas de chuva sem descargas atmosféricas. Isso significa que nesse caso a previsão do meteorologista também foi falha ao não indicar a possibilidade de chuva de forte intensidade (maior que 25 mm/h nos pluviômetros 18 e 19 - vide figura 3.19). Um meteorologista descreveu a situação com as seguintes palavras: “*Chuva inesperada, os modelos não davam muito indicativo ... ninguém dá nada por ela ....*”. O meteorologista ainda reforça a surpresa com a chuva - “*ah, esse foi estranho*” - e ainda justifica porque achou estranho usando terminologia técnica - “*tinha uma mega alta ... ninguém dava nada por ela .. nem circulação! ...*”.

Em síntese, em dois casos a perícia do meteorologista melhorou a previsão fornecida pelos modelos numéricos da atmosfera. No terceiro caso o evento chuvoso não foi previsto nem pelos modelos nem pelo meteorologista. Em nenhum dos casos analisados os modelos numéricos tiveram melhor destreza que o previsor humano.



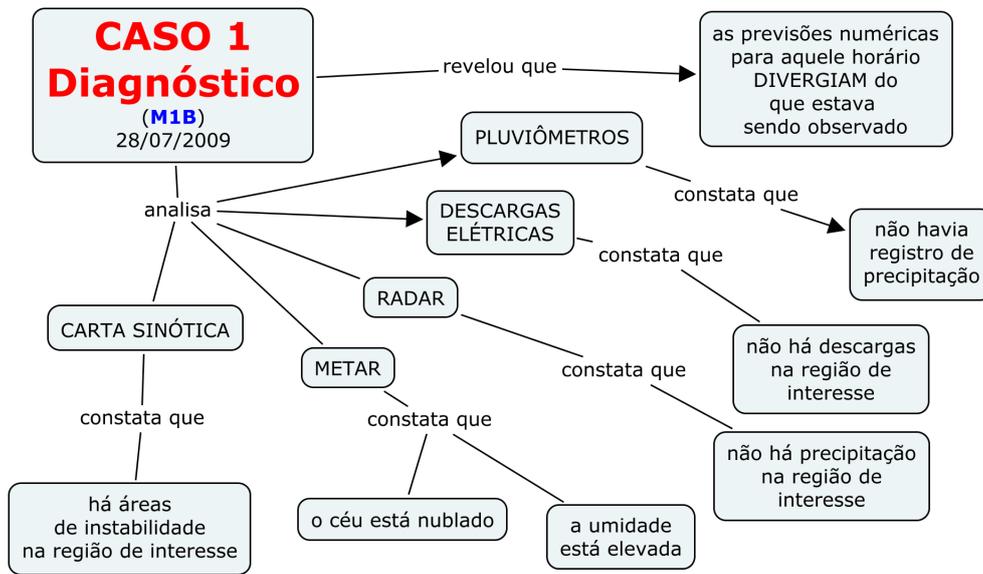


Figura 3.29 - Mapa Conceitual dos processos cognitivos durante a previsão de um evento de chuva - Diagnóstico - Caso 1.

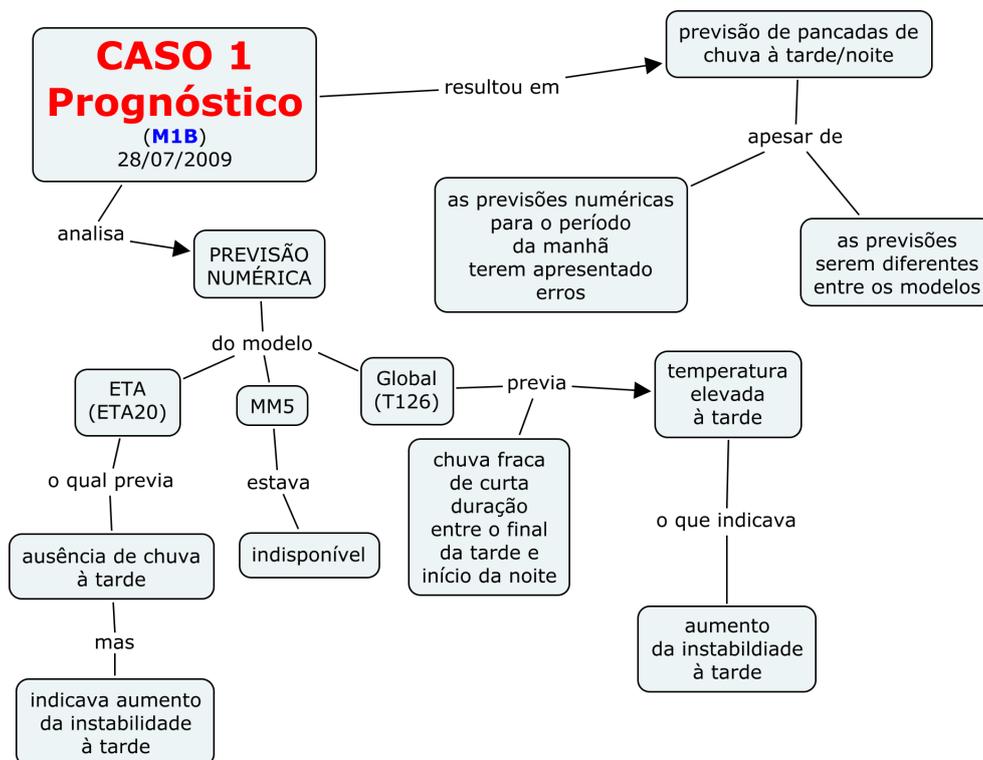


Figura 3.30 - Mapa Conceitual dos processos cognitivos durante a previsão de um evento de chuva - Prognóstico - Caso 1.

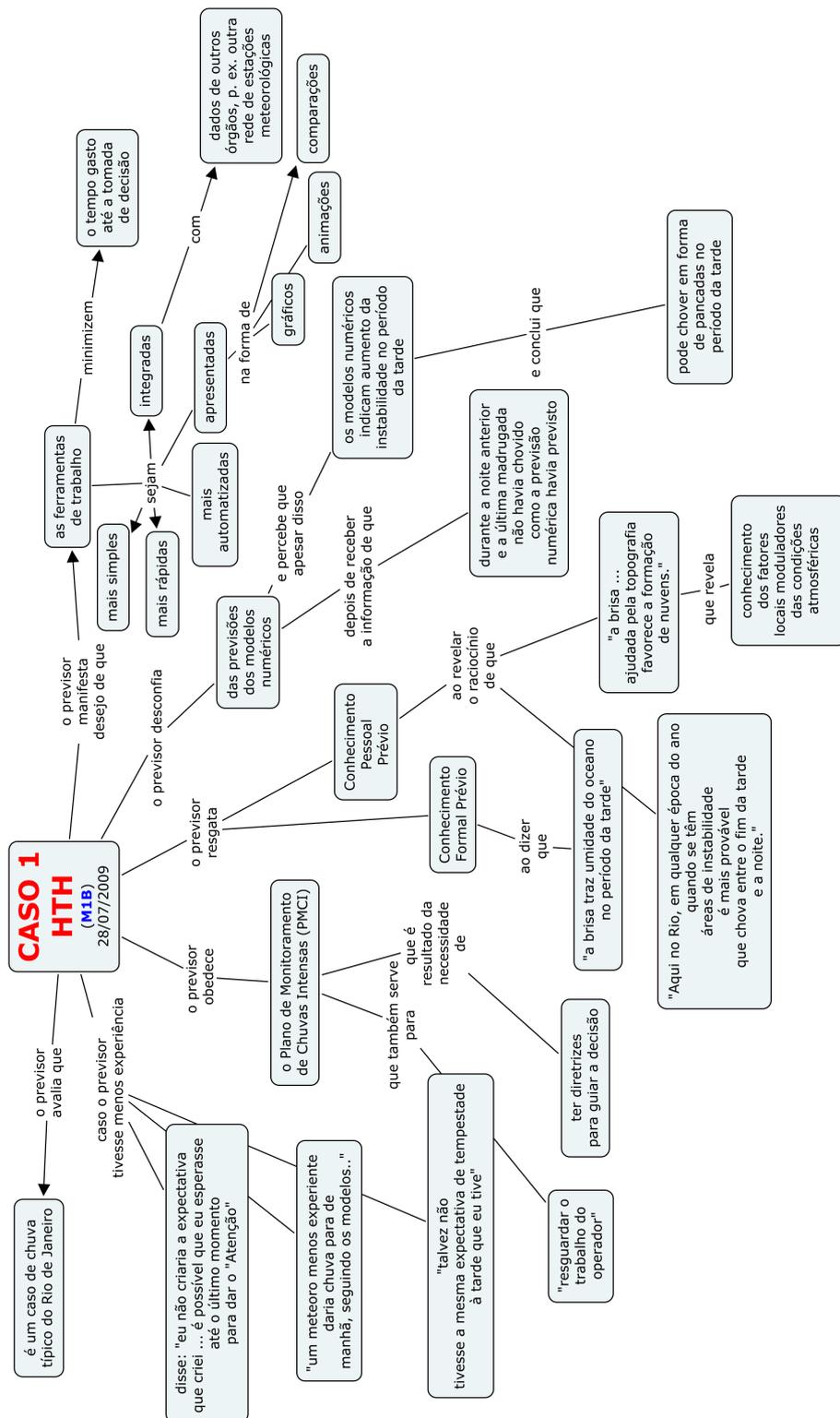


Figura 3.31 - Mapa Conceitual dos processos cognitivos durante a previsão de um evento de chuva - História por trás da História - Caso 1.

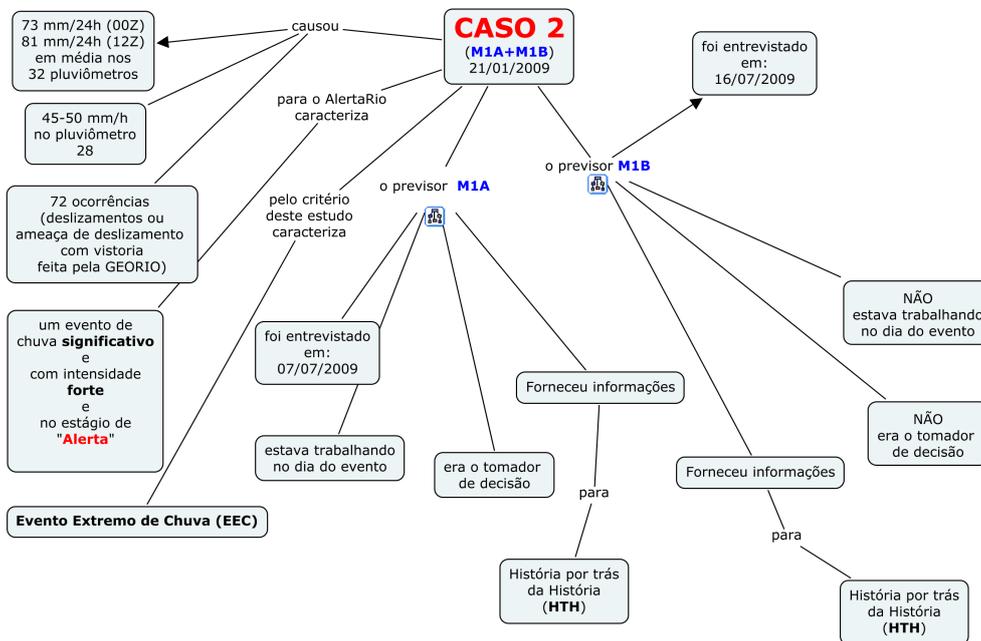


Figura 3.32 - Mapa Conceitual dos processos cognitivos durante a previsão de um evento de chuva - Caso 2.

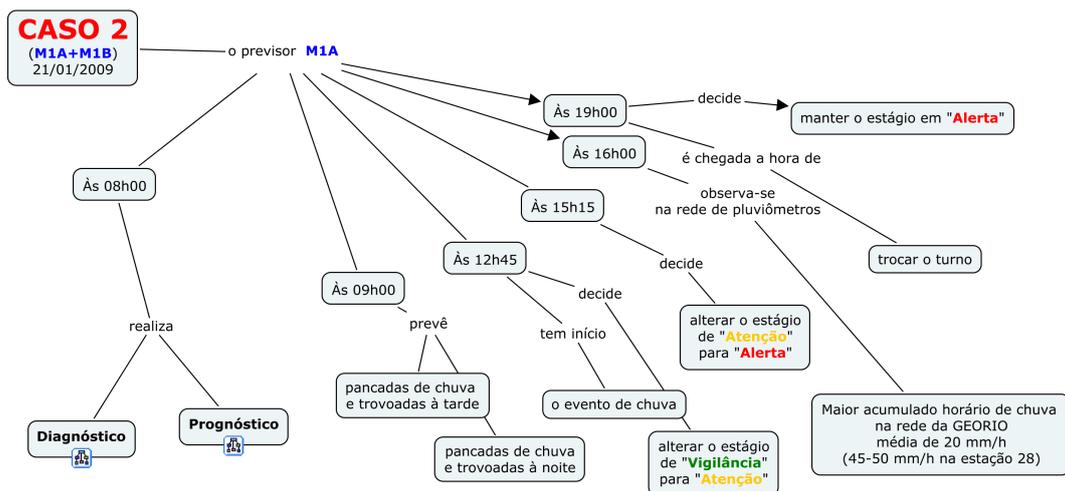


Figura 3.33 - Mapa Conceitual dos processos cognitivos durante a previsão de um evento de chuva - M1A - Caso 2.

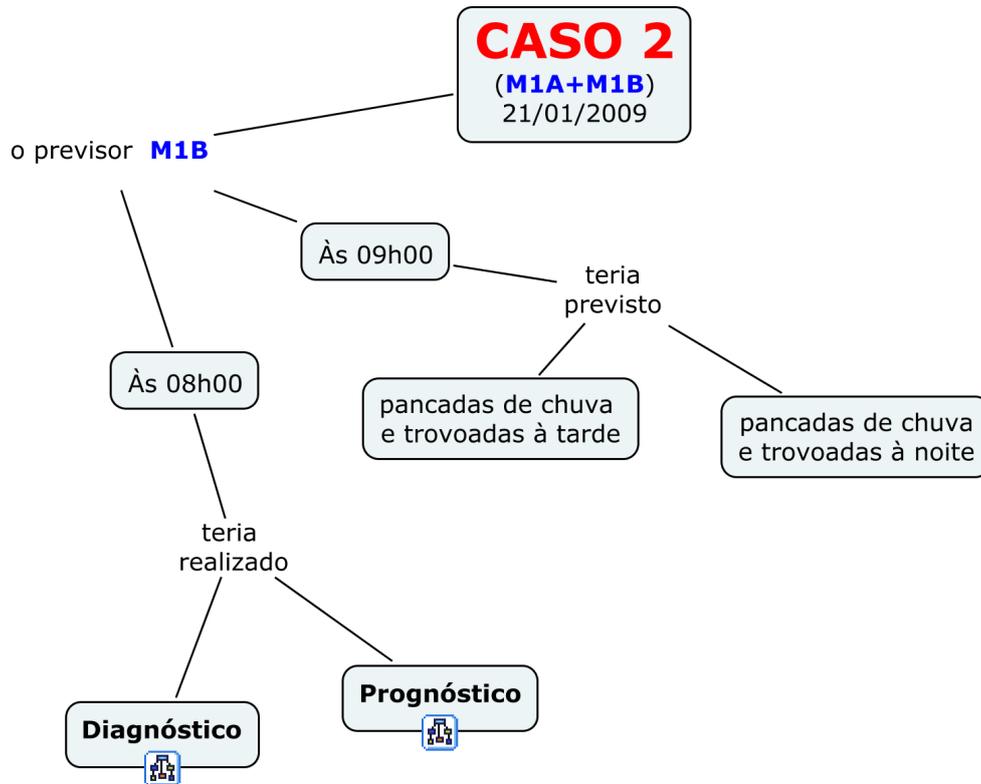


Figura 3.34 - Mapa Conceitual dos processos cognitivos durante a previsão de um evento de chuva - M1B - Caso 2.

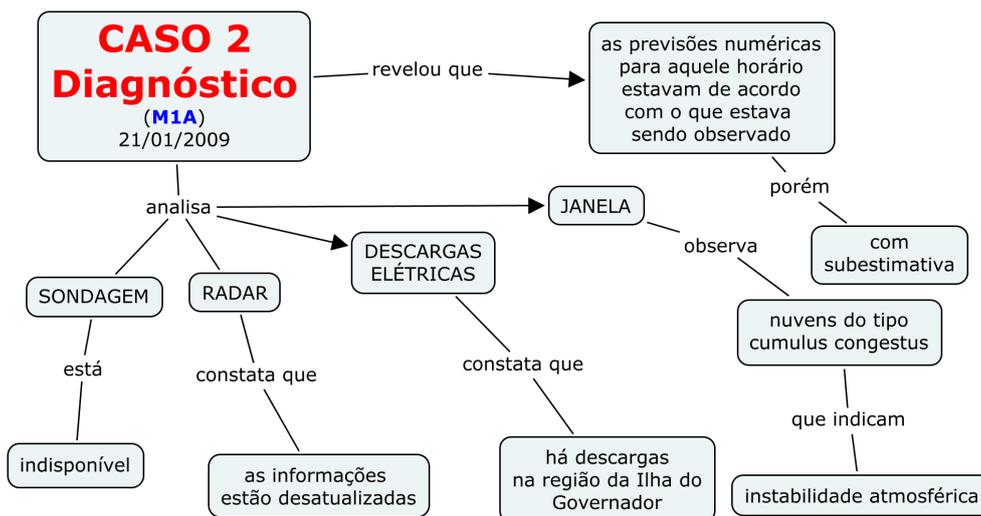


Figura 3.35 - Mapa Conceitual dos processos cognitivos durante a previsão de um evento de chuva - Diagnóstico - M1A - Caso 2.

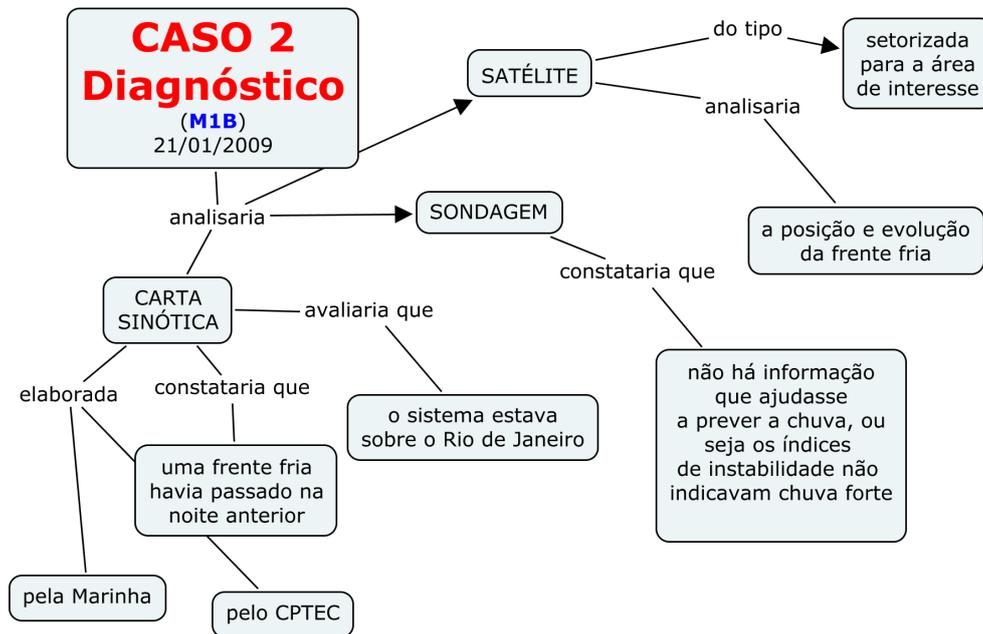


Figura 3.36 - Mapa Conceitual dos processos cognitivos durante a previsão de um evento de chuva - Diagnóstico - M1B - Caso 2.



Figura 3.37 - Mapa Conceitual dos processos cognitivos durante a previsão de um evento de chuva - Prognóstico - M1A - Caso 2.



Figura 3.38 - Mapa Conceitual dos processos cognitivos durante a previsão de um evento de chuva - Prognóstico - M1B - Caso 2.

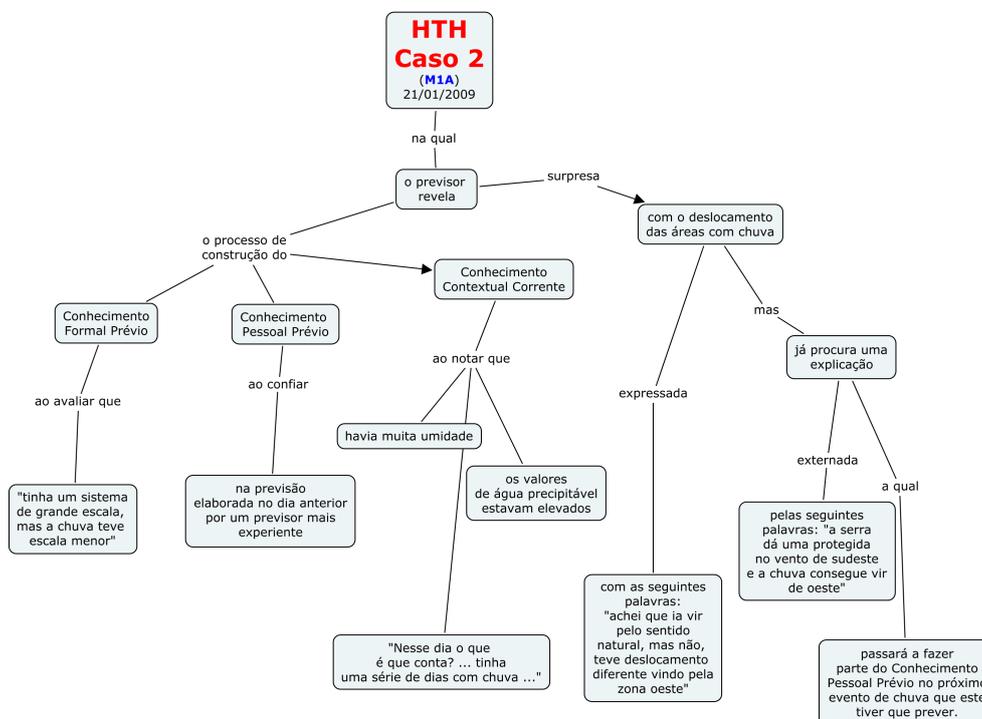


Figura 3.39 - Mapa Conceitual dos processos cognitivos durante a previsão de um evento de chuva - História por Trás da História (HTH) - M1A - Caso 2.

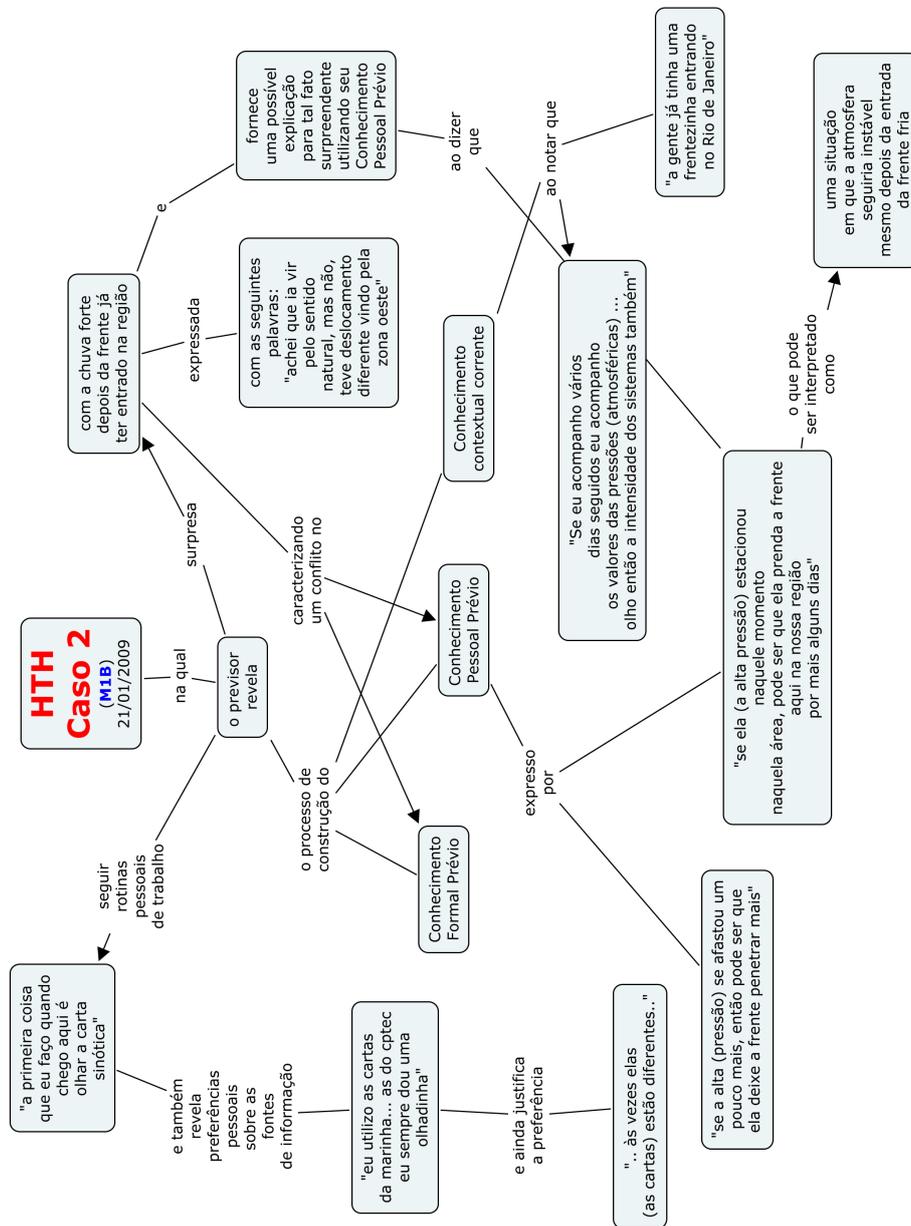


Figura 3.40 - Mapa Conceitual dos processos cognitivos durante a previsão de um evento de chuva - História por Trás da História (HTH) - M1B - Caso 2.

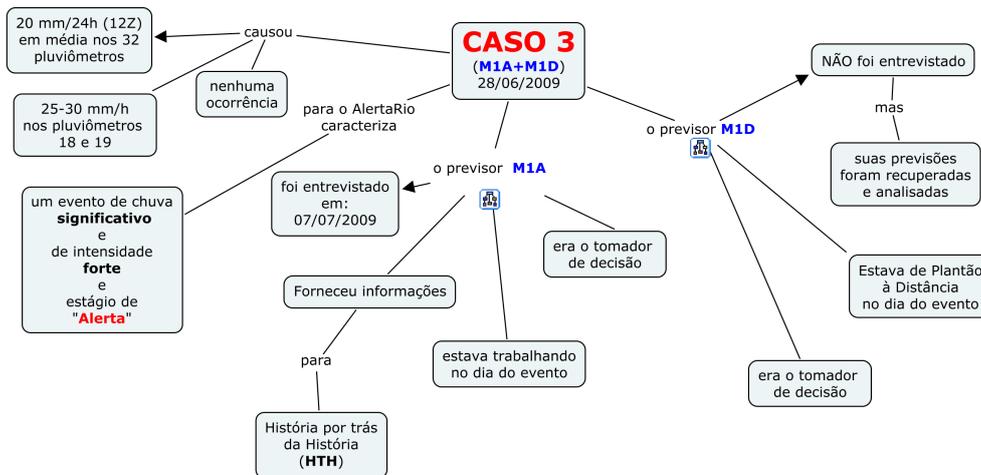


Figura 3.41 - Mapa Conceitual dos processos cognitivos durante a previsão de um evento de chuva - Caso 3.

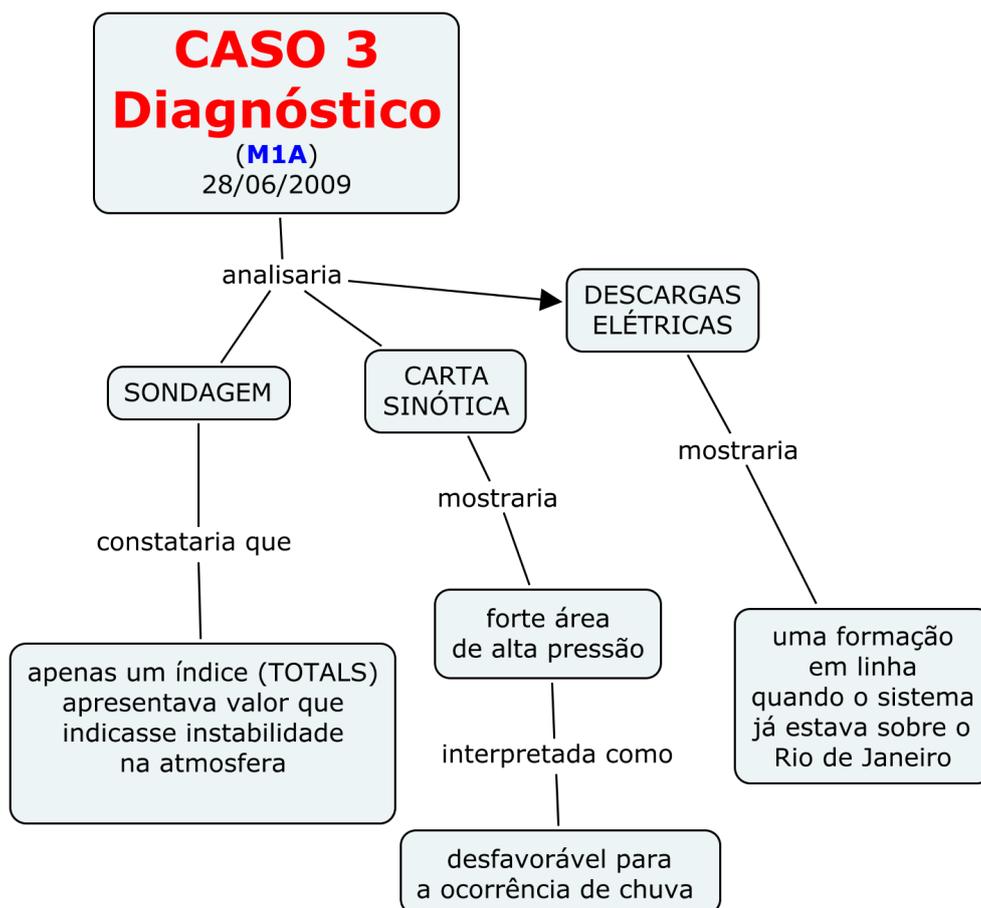


Figura 3.42 - Mapa Conceitual dos processos cognitivos durante a previsão de um evento de chuva - Diagnóstico - M1A - Caso 3.

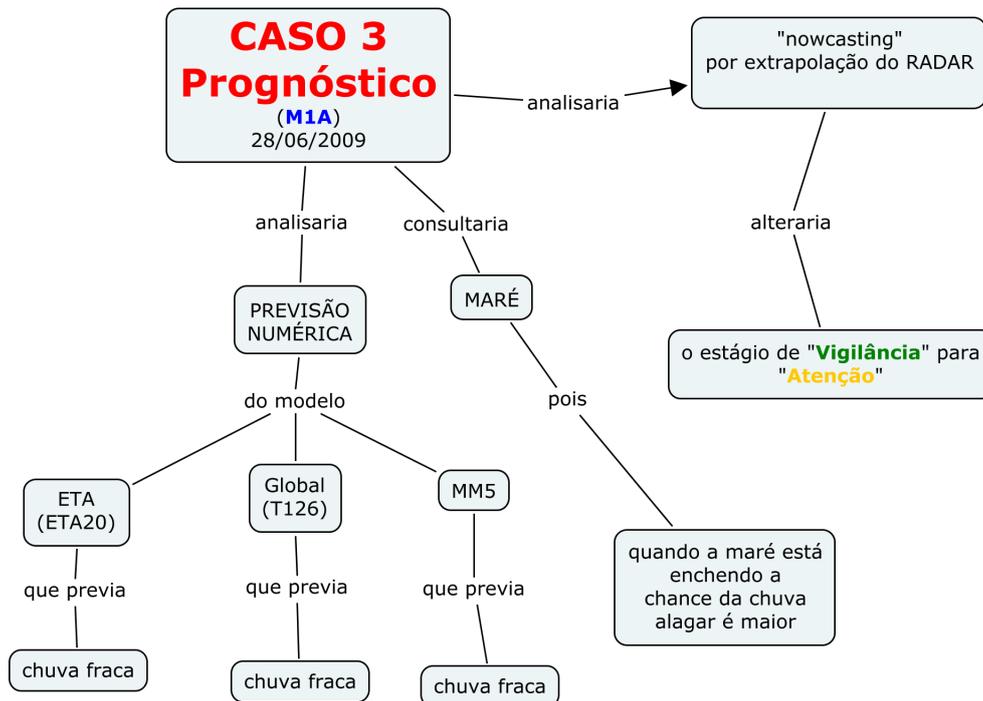


Figura 3.43 - Mapa Conceitual dos processos cognitivos durante a previsão de um evento de chuva - Prognóstico - M1A - Caso 3.

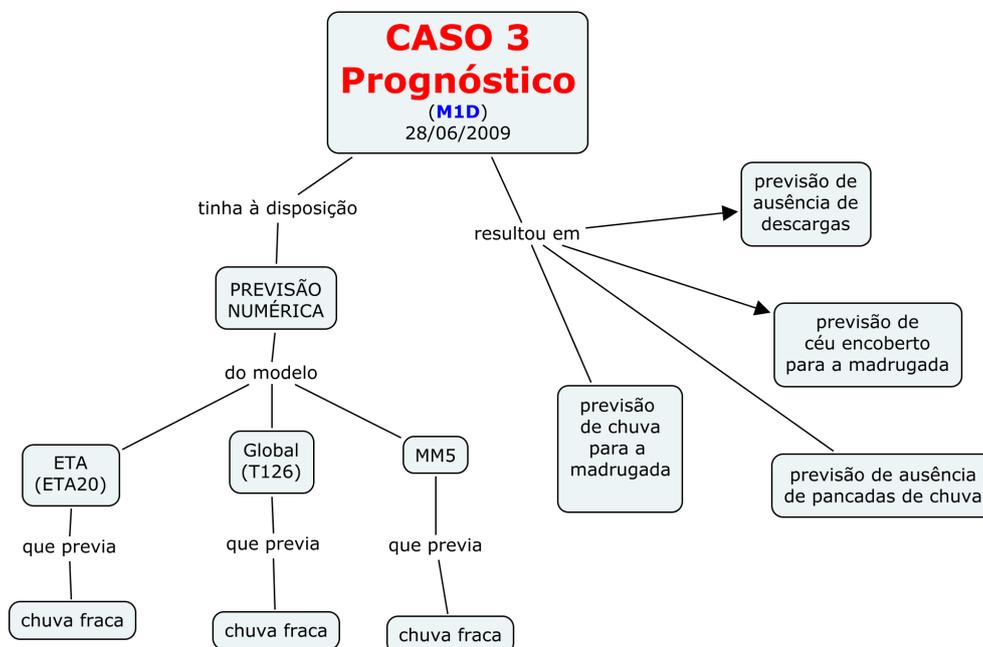


Figura 3.44 - Mapa Conceitual dos processos cognitivos durante a previsão de um evento de chuva - Prognóstico - M1D - Caso 3.

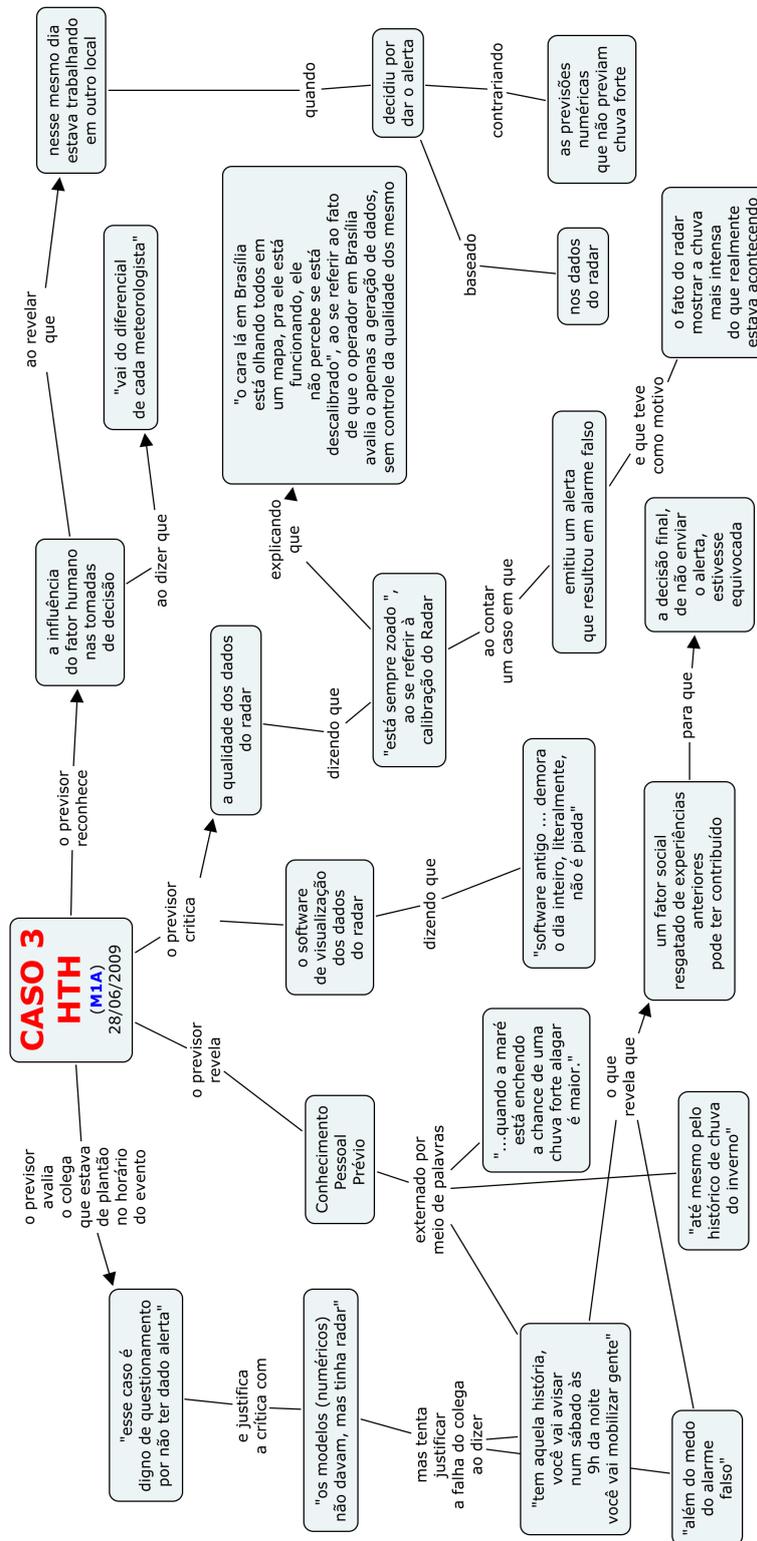


Figura 3.45 - Mapa Conceitual dos processos cognitivos durante a previsão de um evento de chuva - História por Trás da História (HTH) - M1A - Caso 3.

## 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Extremos de Chuva e seus padrões no Rio de Janeiro

Nos meses de dezembro e janeiro os EECs estão mais associados a eventos de ZCAS. Mais do que isso, não foi observado nenhum EEC associado a frente frias nesses dois meses. Climatologicamente os meses de dezembro e janeiro estão entre os mais chuvosos e quentes do ano na cidade do Rio de Janeiro. Nos outros meses do ano em que houve ocorrência de EEC a FF esteve mais vezes presente, com exceção do mês de outubro. Essa exceção no mês de outubro se deve ao fato de que em 2007 houve um episódio de ZCAS que causou EEC em dois dias consecutivos de outubro, o que foi considerado neste estudo como dois EECs. Fica evidente também que os EECs ocorrem em todas as estações do ano, apesar de mais frequentes no verão e menos no inverno. Ainda assim EECs ocorridos fora do verão podem ser muito fortes como, por exemplo, o EEC ocorrido em 6 de abril de 2010, o qual apresentou o maior acumulado de chuva em 24 horas de toda a série de dados.

### 4.2 Método para a Detecção de Padrões Atmosféricos de Eventos Extremos de Chuva - MeDPAt-EEC

Dentre todos os campos atmosféricos gerados pelo modelo ETA40 que foram testados como padrão para EEC, a combinação de umidade relativa em 900 hPa e a componente meridional do vento a 10 m de altura para o domínio A2 (RH900+V10M\_A2) mostrou a melhor destreza nas previsões. Essa combinação inclusive mostrou resultados melhores do que a própria chuva prevista pelo modelo ETA40. O método MEDPAT-EEC se mostrou mais eficiente com EECs associados a Frente Fria ou ZCAS, não sendo capaz de prever EECs que não estivessem associados a um sistema sinótico predominante. Esse resultado era esperado uma vez que o método foi desenhado para prever os EECs associados a padrões atmosféricos gerados por sistemas meteorológicos de escala sinótica ao considerar a precipitação média na cidade (rede de 32 pluviômetros da GEORIO) para caracterizar um EEC.

Esses resultados sugerem que a maior parte dos EECs no Rio de Janeiro estão associados a sistemas de escala sinótica (FF e ZCAS), o que está de acordo com trabalhos anteriores (SELUCHI; CHOU, 2009; LIMA; SATYAMURTI, 2010). Entretanto, a maior parte dos experimentos produziram um grande número de alarmes falsos quando os campos atmosféricos utilizados eram, por exemplo, das variáveis de pressão ao

nível do mar (PMSL) e altura geopotencial em 500 hPa (HGT500), as quais são frequentemente utilizadas em estudos para caracterizar padrões atmosféricos associados a EECs no Sudeste do Brasil (LIMA; SATYAMURTI, 2010; SELUCHI; CHOU, 2009; TEIXEIRA; SATYAMURTI, 2011; CARVALHO et al., 2002).

Uma análise mais detalhada dos campos atmosféricos da combinação RH900+V10M(A2) mostrou que nos campos atmosféricos associados a EECs se destaca uma linha de confluência de ventos próximo à superfície sobre o Oceano Atlântico se prolongando em direção ao litoral do Rio de Janeiro. Ao sul dessa linha tem-se uma ampla área de ventos com componente sul superior a 5 m/s, se estendendo por uma faixa de latitude de cerca de 10 graus. Essa característica corrobora os resultados de Lima e Satyamurti (2010), que, para EECs na Região Sudeste do Brasil encontraram maior contribuição de umidade vinda de leste, onde se encontra o oceano.

### 4.3 Análise do Trabalho Cognitivo

A previsão de tempo recebida pela sociedade é o resultado de um sistema cognitivo complexo que envolve meteorologista e computador. O primeiro utiliza seu conhecimento e sua experiência dentro de um contexto social e psicológico enquanto o segundo apresenta resultados de modelos matemáticos.

Em um típico dia de trabalho o previsor chega ao posto de trabalho com o modelo mental prévio, ou seja, o modelo que o mesmo havia construído mentalmente no dia anterior (vide figuras 4.1 a 4.10). Naturalmente alguns detalhes se perderam durante o período de descanso do trabalho. O modelo mental prévio é o ponto de partida para o modelo mental corrente. A entrada de novas informações se inicia ainda antes de chegar ao trabalho, quando olha pela janela ainda antes de sair de casa ou quando observa o céu no percurso para o trabalho. Ao assumir seu turno recebe um resumo do profissional que deixa o turno anterior e então se inicia um processo de *batimento*, ou seja, de comparação com o que era esperado de condição da atmosfera naquele momento e o que de fato está sendo observado. Como nenhuma previsão é 100% perfeita, há sempre ajustes e correções a serem feitas. Essas correções foram bastante significativas no evento de chuva do dia 28 de julho de 2009 (vide seção 3.3.1). Em seguida o previsor inicia o trabalho de elaboração de uma nova previsão. O primeiro passo é o diagnóstico completo que havia sido iniciado ainda em casa ou no percurso para o trabalho. Nessa etapa entram os artefatos computacionais

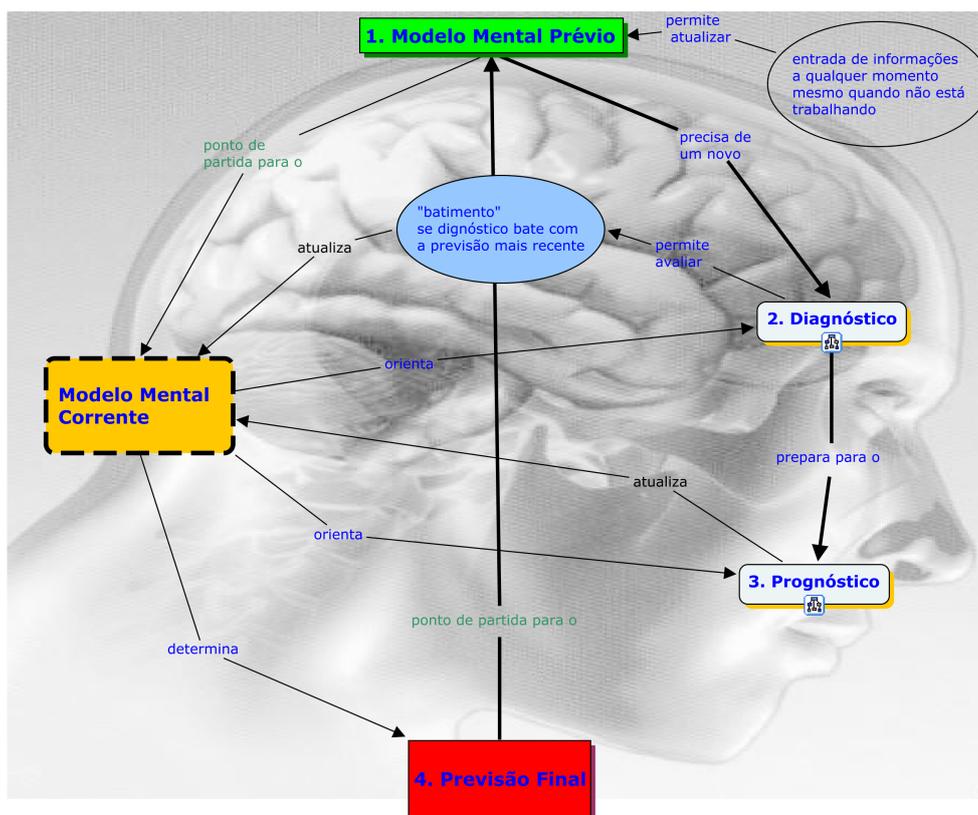


Figura 4.1 - Mapa Conceitual dos processos cognitivos de um previsor meteorológico.

que, através de imagens, tabelas, mapas, texto exibidas em monitores fornecem um diagnóstico completo, o qual vai atualizar o modelo mental corrente. Em seguida se inicia a etapa prognóstica que tem como principal ferramenta o modelo numérico de previsão de tempo. Nesse ponto mais uma vez é feita a comparação entre o que o modelo numérico previa nas primeiras horas e o que, de fato, está sendo observado. Novamente são feitos ajustes e correções no modelo mental corrente. Por fim o previsor terá a previsão de tempo para elaborar os boletins e enviar alertas caso a previsão indique a necessidade.

#### 4.3.1 Atividade Cognitiva de Meteorologistas na previsão de Chuva Significativa

Os resultados obtidos sugerem que a experiência e o conhecimento tácito do meteorologista são fatores importantes na realização de uma previsão meteorológica e emissão de alerta de um evento de chuva intensa com potencial para causar transtornos à população. Um previsor experiente do AlertaRio disse: “quando a maré

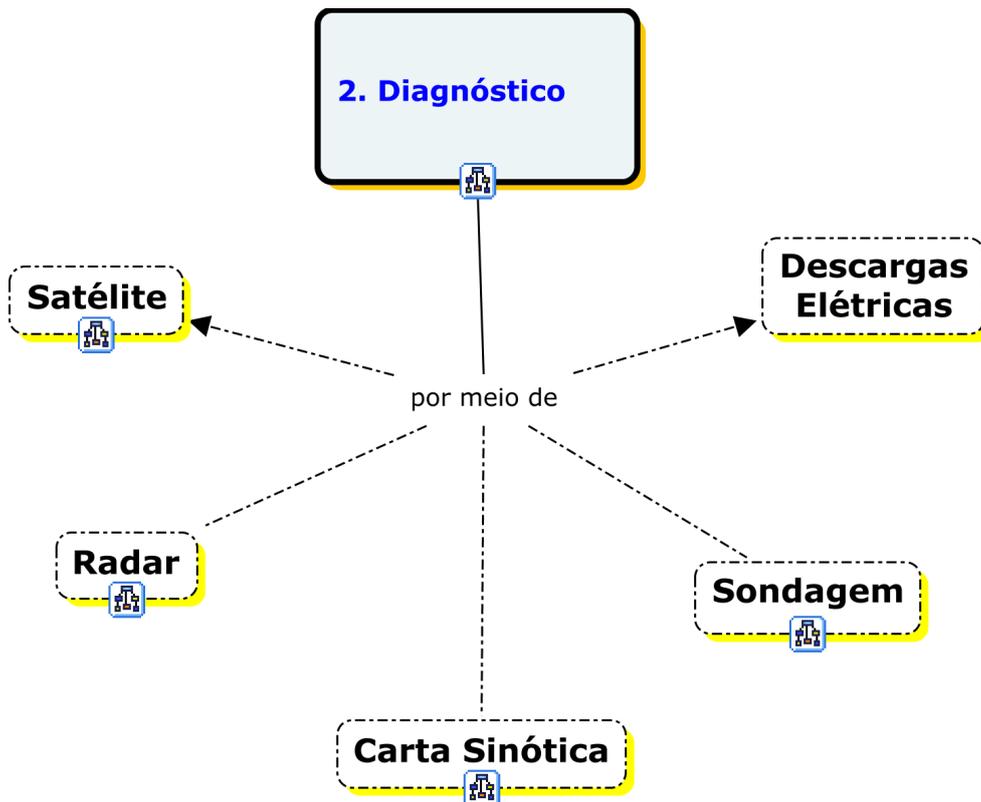


Figura 4.2 - Mapa Conceitual dos Processos Cognitivos de um Previsor Meteorológico - Diagnóstico

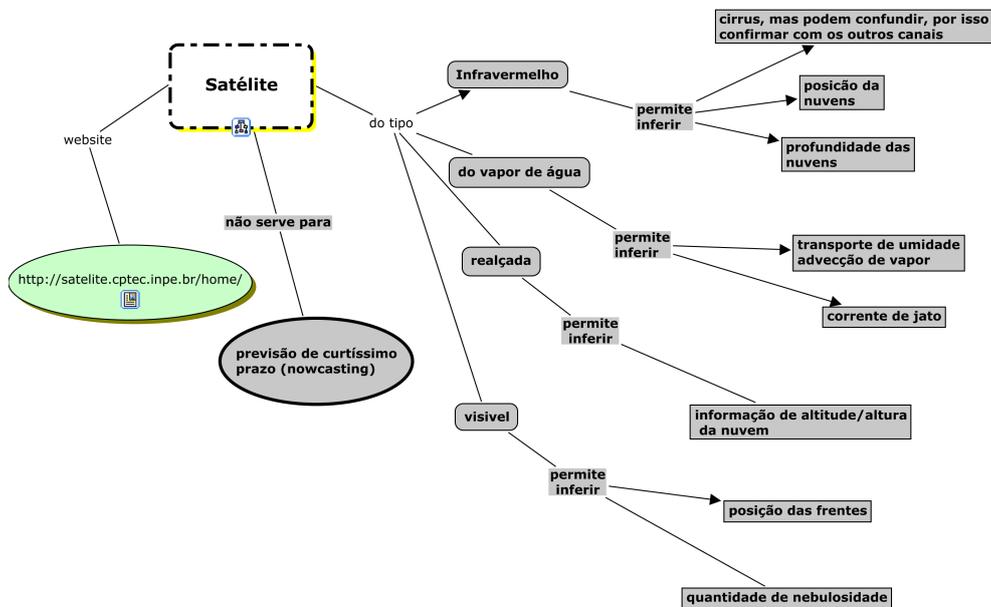


Figura 4.3 - Mapa Conceitual dos Processos Cognitivos de um Previsor Meteorológico - Diagnóstico por Satélite

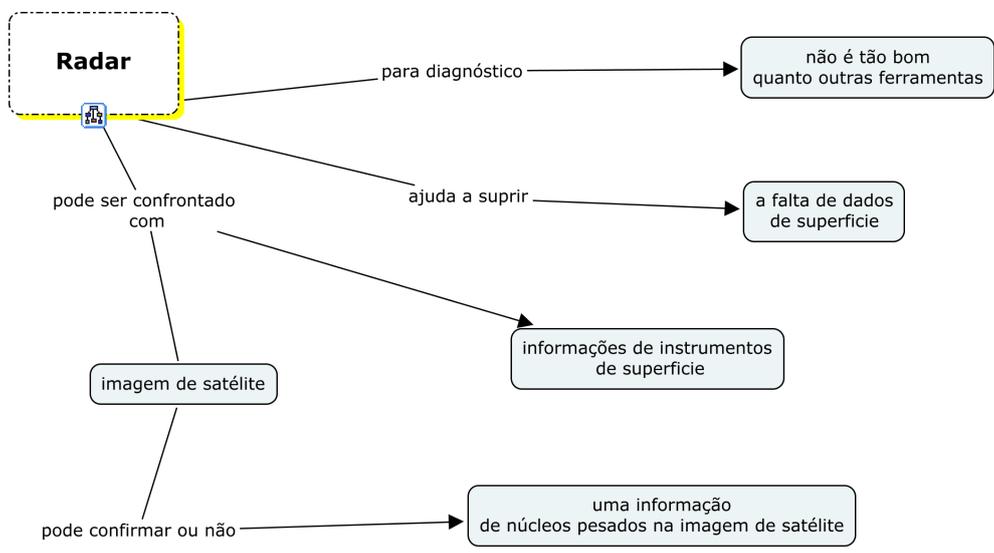


Figura 4.4 - Mapa Conceitual dos Processos Cognitivos de um Previsor Meteorológico - Diagnóstico por Radar

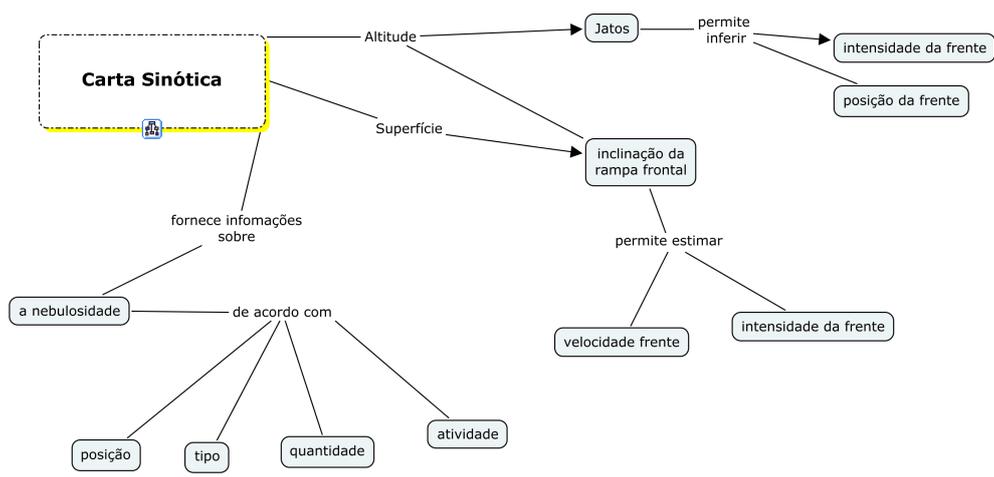


Figura 4.5 - Mapa Conceitual dos Processos Cognitivos de um Previsor Meteorológico - Diagnóstico por Cartas Sinóticas

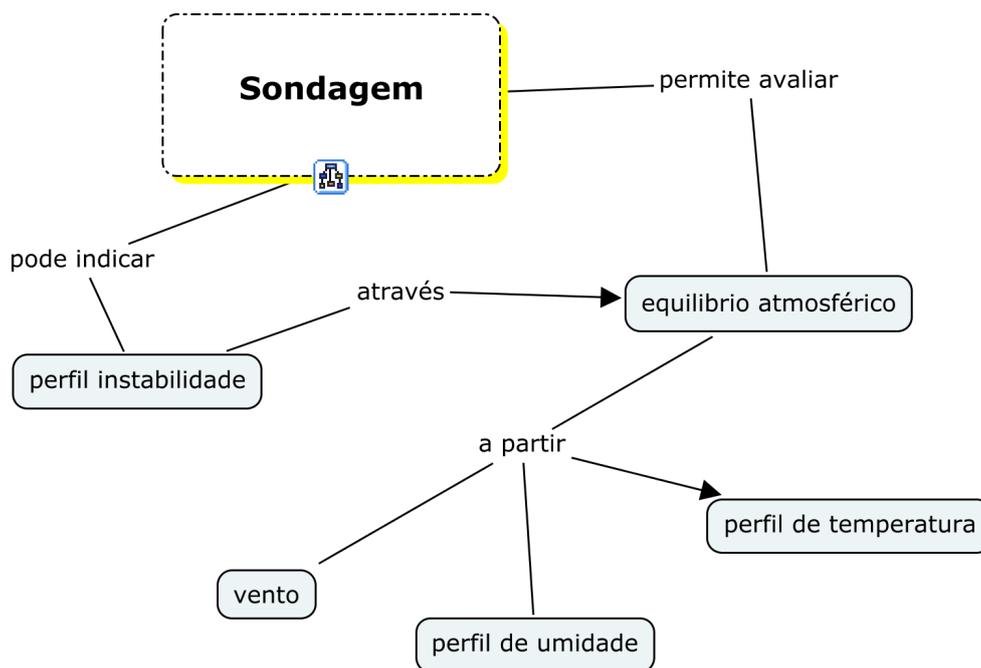


Figura 4.6 - Mapa Conceitual dos Processos Cognitivos de um Previsor Meteorológico - Diagnóstico por Sondagem Atmosférica

está subindo a chance de uma chuva forte alagar é maior”. Fatores humanos externos à questão meteorológica também influenciam a tomada de decisão. Ao narrar um episódio de chuva forte o meteorologista mostra preocupação com a repercussão negativa do alerta caso houvesse um alarme falso: “... até porque tem aquela história, você vai avisar num sábado às 9h da noite, você vai mobilizar gente ...”. Essa afirmação caracteriza uma realidade que foi descrita por Hollnagel (2009), segundo o qual o fruto de um trabalho é resultado de um processo muito mais psicológico e social do que técnico e objetivo. Ainda segundo Hollnagel (2009) a causa pode ser objetivamente definida por meio de um conjunto de fatores ou condições que propiciaram as condições necessárias e suficientes para que o efeito tenha ocorrido. Hollnagel (2009) ainda coloca a influência do sentimento de conforto na explicação de eventos inesperados como critério para a verdade. No presente estudo, quando, por exemplo, um meteorologista deixa de dar um alerta para evitar mobilizar ou até mesmo para evitar incomodar pessoas ele está seguindo exatamente esse princípio de optar pelo mais confortável como critério para a verdade.

Durante o estudo fica evidente que a tarefa de prever o tempo depende de um processamento mental do previsor a partir da análise dos resultados de diferentes modelos

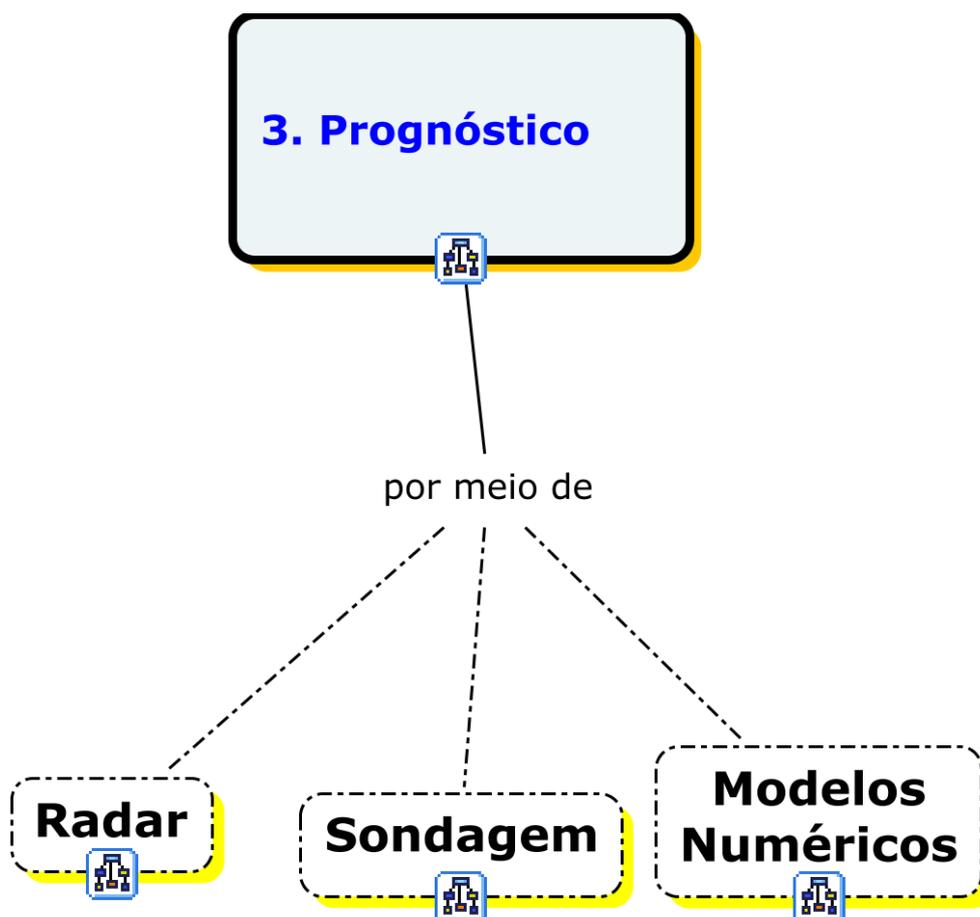


Figura 4.7 - Mapa Conceitual dos Processos Cognitivos de um Previsor Meteorológico - Prognóstico

matemáticos da dinâmica da atmosfera. Devido à pressão exercida pelos curtos prazos de tempo envolvidos nessa tarefa nem sempre o previsor tem tempo hábil para utilizar todas as ferramentas. A escolha de quais ferramentas serão consultadas, bem como a ordem destas consultas, variam de previsor a previsor e dependem também do tipo de situação meteorológica e da época do ano. A influência do conhecimento tácito é perceptível na principal decisão do meteorologista: a alteração de nível de alerta. Para isto, cada indivíduo utiliza parâmetros próprios além dos procedimentos já predefinidos para saber *se, quando, onde e como* uma chuva intensa poderá atingir o município do Rio de Janeiro. Nas palavras do meteorologista essa subjetividade foi descrita por um dos previsores entrevistados da seguinte forma: “ ... aí vem a sensibilidade do meteorologista ...”.

As diferenças de desempenho entre os previsores é justificada pelo largo emprego

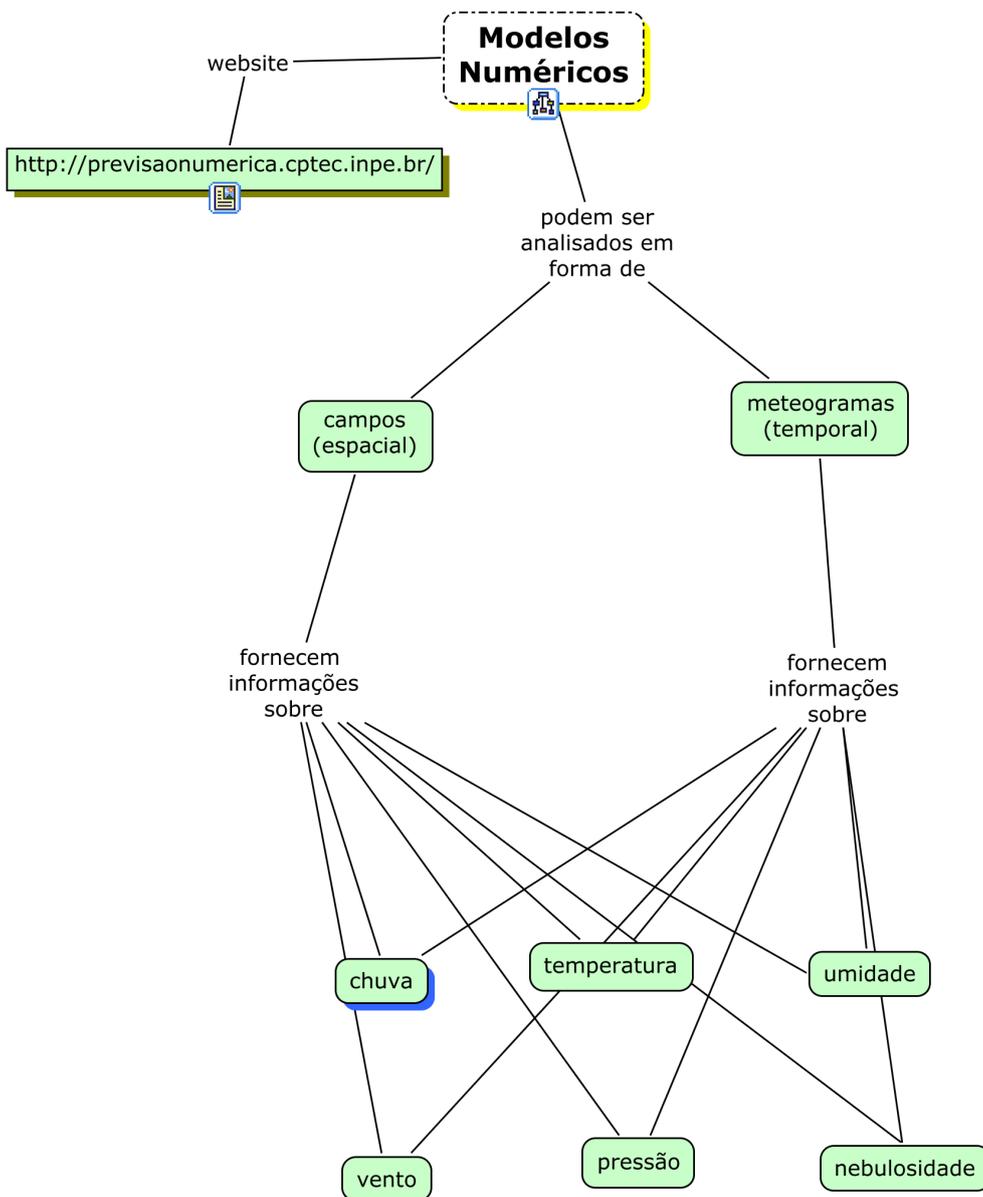


Figura 4.8 - Mapa Conceitual dos Processos Cognitivos de um Previsor Meteorológico - Prognóstico com Modelo Numérico

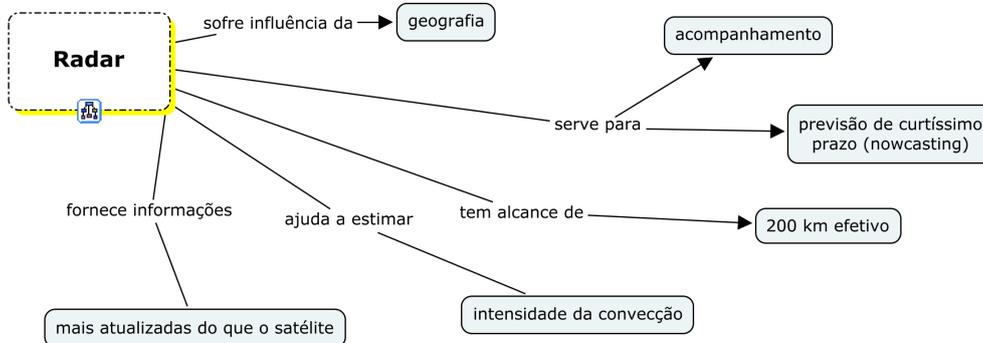


Figura 4.9 - Mapa Conceitual dos Processos Cognitivos de um Previsor Meteorológico - Prognóstico com Radar

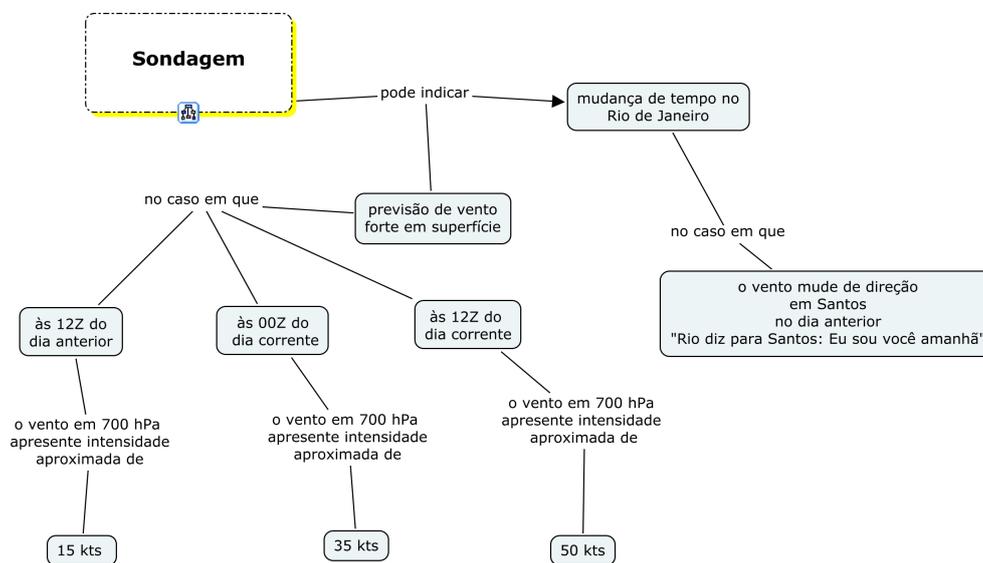


Figura 4.10 - Mapa Conceitual dos Processos Cognitivos de um Previsor Meteorológico - Prognóstico com Sondagem

de conhecimento tácito na construção do modelo mental da dinâmica atmosférica do previsor meteorológico. Esse modelo é constituído por conhecimento pessoal prévio, oriundo de estudo e treinamentos, experiências passadas, perícia, base teórica e conhecimento corrente, obtido por meio das ferramentas. Dolif et al. (2011) analisaram o trabalho dos mesmos meteorologistas, também no AlertaRio, porém do ponto de vista da engenharia de resiliência e também destacaram a importância do conhecimento tácito para lidar com situações críticas.

Além disso, os modelos numéricos de previsão do tempo, que são a principal ferramenta dos previsores, apresentam deficiências em prever grandes volumes de chuva e muitas vezes apresentam previsões que são diferentes entre os distintos modelos consultados. E não são apenas as previsões do que vai acontecer que apresentam imprecisões, mas também as observações do que já aconteceu e do que está acontecendo no momento presente. Durante as entrevistas sobre o evento de 21 de janeiro de 2009 o previsor revelou que precisa lidar com informações conflitantes e falta de dados atualizados. Para o evento selecionado os modelos matemáticos que simulam o comportamento da atmosfera apresentavam previsões diferentes entre si. Inclusive um desses modelos não estava atualizado, caracterizando falta de informação. Um dos previsores se referindo aos dados necessários durante o evento disse: “quando a sondagem chegou a chuva já estava acontecendo”. Ainda para este mesmo evento as informações de descargas atmosféricas não estavam atualizadas. O radar meteorológico, uma importante ferramenta de previsão a curto prazo de chuvas intensas por vezes tem problemas de acurácia pois fica descalibrado. O meteorologista narra essa dificuldade de lidar com o radar descalibrado com as seguintes palavras: “aconteceu de eu emitir um alerta e quando a chuva chegou eu falei - é só isso? Que vexame!”. Além disso, a quantidade de estações meteorológicas nem sempre é suficiente para diagnosticar todas as áreas da cidade. Esta carência de apoio tecnológico pressiona o trabalho contra os limites do erro. Para contornar estes problemas e situações que fogem da rotina, os profissionais precisam criar e executar quase simultaneamente novos planos de ação, ou seja, precisam estar prontos para improvisar (Figura 4.11). De acordo com Hollnagel (2006) a variabilidade no desempenho do trabalho é necessária para lidar com a complexidade do mundo real. O desempenho normal de cada meteorologista difere entre si e do normativo, uma vez que não segue exatamente as regras e procedimentos prescritos e sim os que resultam dos ajustes realizados e heurísticas criadas para se obter o êxito neste tipo de ambiente imprevisível. Esta adaptabilidade e flexibilidade, que leva o ser humano a antever problemas e adaptar

o trabalho às condições e deficiências locais, de acordo com a visão sistêmica sobre os acidentes, quando se torna insuficiente leva à ocorrência de uma previsão falha ou divulgada sem a antecipação suficiente para a preparação da resposta aos efeitos do evento natural. Quanto mais problemas tecnológicos e estruturais se acumulam, aumenta o hiato entre a necessidade do profissional para realizar o trabalho e a disponibilidade de recursos, conforme ilustrado na figura 4.11, o que não necessariamente o impede de conseguir concluir o trabalho de forma correta tecnicamente na maioria das vezes, mas não sempre.

Além disso, a pressão exercida pelo crescimento da demanda que, no caso estudado, se traduz em mais solicitações das condições meteorológicas fora dos horários estabelecidos para emissão de boletins e maior antecedência nas emissões de alertas, também aumenta a necessidade de flexibilidade e adaptabilidade cognitiva por parte dos profissionais. Desse modo pode-se elaborar a mesma ilustração de outro ponto de vista como mostra a figura 4.12

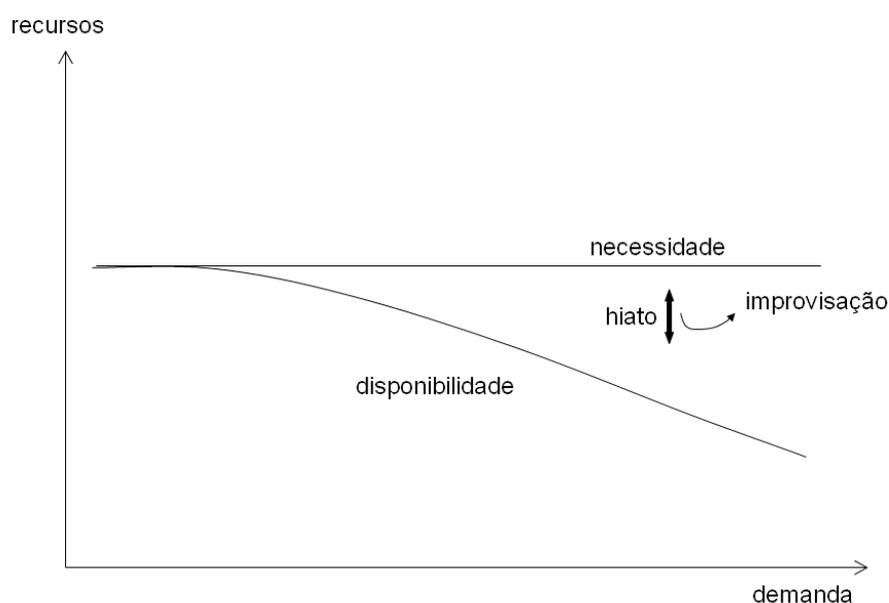


Figura 4.11 - Gráfico qualitativo da relação entre recursos e demanda com necessidade constante e diminuição da disponibilidade.

Fonte: Adaptado de Engelbrecht et al. (2011)

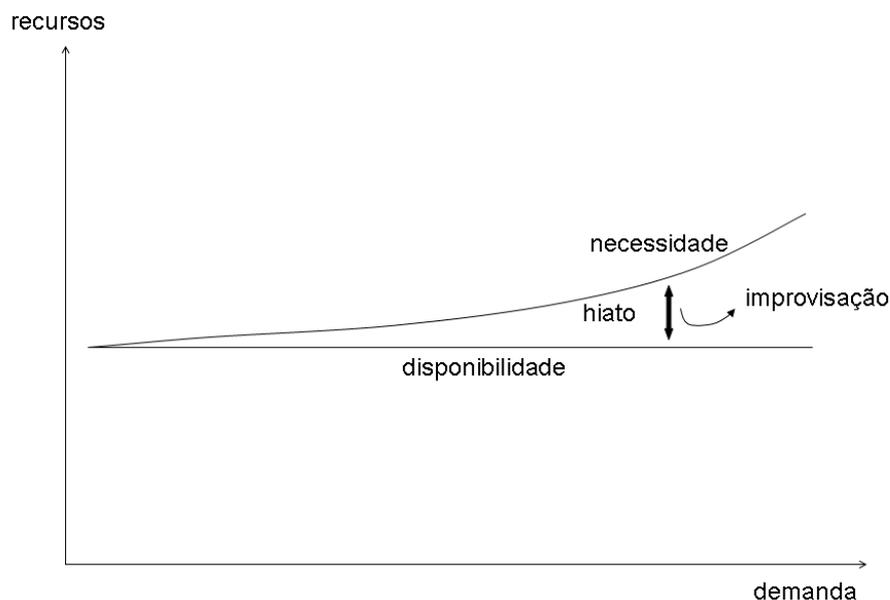


Figura 4.12 - Gráfico qualitativo da relação entre recursos e demanda com aumento da necessidade e disponibilidade constante.

Fonte: Adaptado de Engelbrecht et al. (2011)

Entretanto, esta improvisação que, pontualmente se mostra segura, contribui para o surgimento de novos problemas que não eram conhecidos e que podem resultar em previsões inadequadas. Sistemas complexos como estes devem ser entendidos não apenas como uma interação física entre homem e máquina, mas sim como um sistema cognitivo conjunto, conforme proposto por Hollnagel e Woods (2005).

O trabalho cognitivo do meteorologista acontece com intensidade variável no tempo (vide Fig. 4.13). Nos casos analisados, com um turno de trabalho das 07h00 às 19h00, notam-se dois picos de intensidade na atividade cognitiva, um pela manhã e outro à tarde, sendo o vespertino de maior intensidade e amplitude. Pela manhã o previsor está elaborando a previsão meteorológica e eventualmente elaborando boletins de alerta para chuvas fortes que costumam ocorrer com maior frequência entre a tarde e a noite. Segue-se um período de menor atividade, quando o previsor fica apenas monitorando, ou seja, passa apenas a manter seu modelo mental corrente atualizado e ajustado com as informações que chegam a todo momento de satélites, radares,

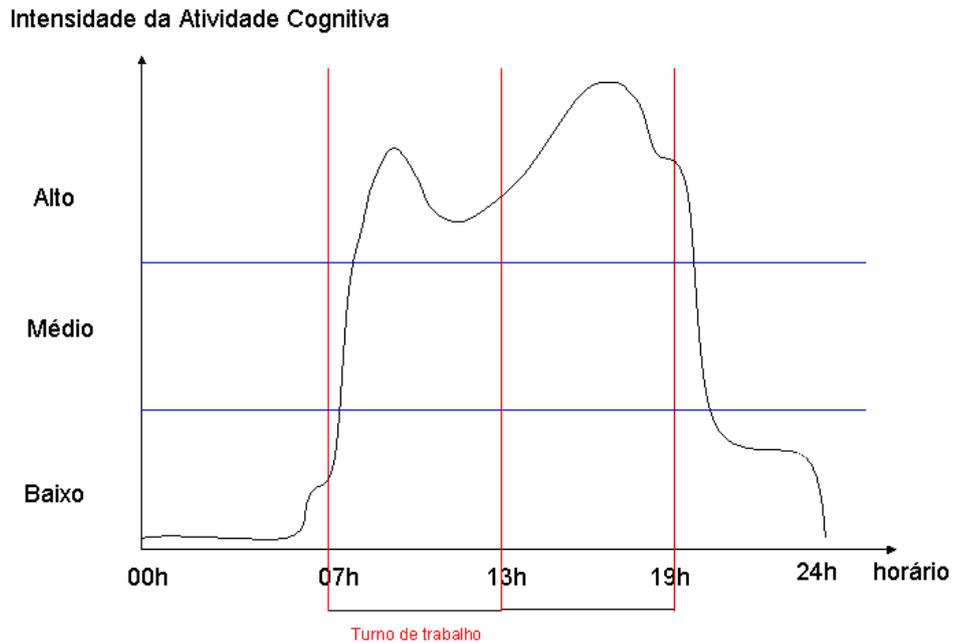


Figura 4.13 - Evolução Temporal da Intensidade de Atividade Cognitiva de um previsor meteorológico ao longo de um dia de trabalho.

sondagens atmosféricas, estações meteorológicas de superfície entre outras. Um novo e mais intenso pico é observado no período da tarde. Nesse período o previsor deve atualizar a previsão feita pela manhã baseado nas novas informações que chegam e nas novas previsões numéricas que ficam prontas no início da tarde. Além disso, é nesse período em que começam a ocorrer as chuvas, obrigando o previsor a se manter focado em todas as novas informações que chegam. É também nesse momento em que a maior parte dos alertas é emitida, ou seja, decisões críticas são tomadas. Outra informação importante no gráfico da Figura 4.13 que deve ser destacado é o fato de que a intensidade do trabalho cognitivo já começa a aumentar assim que o previsor acorda, ou seja, bem antes do início do seu turno de trabalho (mais detalhes na seção 4.3). É a fase em que o modelo mental prévio começa a ser atualizado e corrigido com informações simples como aquelas que podem ser obtidas ao olhar pela janela para verificar se as condições do tempo são aquelas esperadas. Nas palavras do previsor: “ ele está sempre verificando, mesmo estando de folga”. Esse gráfico retrata a média, no entanto notaram-se diferenças entre os previsores em função de seu grau de experiência e de sua motivação para o trabalho. Previsores novatos são

mais inseguros e apresentam maior intensidade de atividade cognitiva fora do turno de trabalho. O previsor experiente é mais seguro, provavelmente porque sabe melhor em que situações e que tipo de informações lhe são necessárias, o que permite uma maior eficiência cognitiva e assim menos intensidade de trabalho cognitivo.

Os previsores revelam o uso de regras empíricas e heurísticas que os ajudam a tomar decisões quanto na hora de elaborar a previsão meteorológica. [Joslyn e Jones \(2008\)](#) encontraram resultado semelhante ao fazer a análise do trabalho cognitivo de meteorologistas da marinha dos Estados Unidos. [Joslyn e Jones \(2008\)](#) sugerem que os meteorologistas baseiam suas decisões mais frequentemente em rotinas de previsão e em regras práticas do que em modelos mentais elaborados da dinâmica da atmosfera.

Os previsores do AlertaRio que ao fim das entrevistas revelarem conhecimento mais amplo demonstravam maior iniciativa para aprender do que os outros. [Ericsson et al. \(2006\)](#) sugerem que a prática deliberada favorece o desenvolvimento de maior perícia para um determinado grau de experiência, o que pode explicar o que foi observado com os meteorologistas no AlertaRio.

Notou-se que dentre as ferramentas utilizadas pelo previsor do AlertaRio, não havia informações probabilísticas. Isso parece ser uma fragilidade do sistema. [Nadav-Greenberg et al. \(2008\)](#) argumentam que melhores decisões são tomadas quando o meteorologista recebe informações sobre as incertezas na comparação com informações apenas determinísticas. Num estudo mais recente [Nadav-Greenberg e Joslyn \(2009\)](#) sugerem que a informação sobre a incerteza nas previsões também ajuda na tomada de decisão de pessoas leigas que são simples usuários da previsão, o público em geral.

#### **4.3.2 Pontos Críticos e Fragilidades**

Abaixo encontram-se listados dificuldades apontadas pelos meteorologistas, pontos críticos e fragilidades identificados no trabalho cognitivo do meteorologista na previsão de chuva significativa na cidade do Rio de Janeiro para os 3 (três) eventos de chuva significativa estudados:

Caso 1 (M1B)

- Falta de ferramenta (modelo numérico *MM5*)

- Ferramentas com informações contraditórias entre si (modelo previa chuva e radar não apresentava chuva)
- Ocorrência de chuva antes do horário previsto, necessidade de ajuste na previsão
- Contato telefônico com meteorologista mais experiente proporcionou conforto com a decisão de mudar o nível de alerta
- Avaliação incorreta sobre a evolução das condições atmosféricas

#### Caso 2 (M1A,M1B)

- Ferramentas com previsões conflitantes e incorretas
- Falta de informações (ou desatualizadas)
- Demora na chegada dos dados de raios (rede lenta)
- Situação meteorológica pouco comum (chuva vinha pelo oeste, da Baía da Guanabara)
- Desconfiança nas ferramentas (“não sei se esse valor aqui é confiável”)
- Janela pequena para visualização (confirma a presença da chuva)
- Persistência da chuva nos dias anteriores (inércia/persistência)
- Pouco contato com meteorologistas mais experientes
- Divergências entre as ferramentas (cartas sinóticas diferentes)
- Maiores dificuldades quando não trabalhou nos dias anteriores
- Ferramentas mais adequadas em certas épocas do ano
- Lidando com evento atípico (frente já tinha passado)
- O meteorologista olha ferramentas além das que estão na rotina
- Atraso na disponibilização dos dados de radar (30 a 40 minutos)
- Mudanças nas fontes de informação sem aviso prévio surpreendem o previsor

- Rede do prédio lenta atrasa a chegada dos dados

### Caso 3 (M1A)

- Ferramentas com indicativos de chuva não disponíveis em tempo hábil (“quando chegam já está chovendo”)
- Baixa probabilidade histórica de evento chuvoso forte no inverno (inércia)
- Não adaptação à unidade (polegadas) de determinada ferramenta
- Informação (sondagem) não disponível em tempo hábil
- Dificuldade em obter dados (sondagem) de outra instituição (Infraero –Galeão) em tempo hábil
- Lidar com evento não previsto
- Receio de repetir alarme falso recente
- Ferramenta descalibrada (exige contato com fonte da informação – radar)
- Procedimento nem sempre cumprido por todos
- Conhecimentos de sistemas naturais envolvidos (maré alta)

### Entrevista M1C

- Vaidade humana (“medo de alguém saber mais que vc”)
- Falha de comunicação nos ícones de tempo que significam uma coisa para o meteorologista e outra coisa para o público.
- Sistemas meteorológicos com comportamento inesperado
- Seguir política (inclusive os critérios de chuva para emitir alertas) da GeoRio
- Envolvimento de diferentes setores da sociedade (Imprensa, Defesa Civil)
- Pressão para não emitir alarme falso

## Entrevista M1C + M2B

- Mesmo de folga tem que saber o que está acontecendo



## 5 CONCLUSÕES

### 5.1 Método para a Detecção de Padrões Atmosféricos de Eventos Extremos de Chuva - MeDPAt-EEC

O método apresentado neste trabalho (MeDPAt-EEC) se mostrou eficiente no reconhecimento de padrões atmosféricos associados a EECs na cidade do Rio de Janeiro utilizando o modelo atmosférico ETA40. Entre as variáveis testadas a combinação de umidade relativa em 900 hPa e o vento meridional a 10 m apresentou o maior índice de detecção dos EECs. Por outro lado, algumas das variáveis encontradas em estudos anteriores sobre padrões sinóticos de EEC se mostraram ineficientes, como por exemplo a pressão ao nível do mar e o geopotencial em 500 hPa.

Dada a relevância da convergência de massa em baixos níveis encontrada neste trabalho e o significativo transporte de vapor de água de leste encontrado em (LIMA; SATYAMURTI, 2010), sugere-se uma maior investigação de padrões associados a EECs considerando padrões atmosféricos de vento e umidade em baixos níveis também em outras cidades da Região Sudeste, principalmente aquelas próximas da costa. Além disso, a temperatura da superfície do mar também pode ter grande contribuição para os EECs no Rio de Janeiro e, conseqüentemente, também em outras cidades da Região Sudeste, já que é sabido que a quantidade de vapor de água evaporada dos oceanos depende da temperatura de sua superfície.

No presente trabalho não foram incluídas características termodinâmicas da atmosfera para compor os padrões de EECs testados. Entretanto, acredita-se que essas características também podem ajudar a diferenciar EECs de eventos de chuva não extremos, inclusive podendo melhorar a previsão dos EECs não associados a sistemas em escala sinótica, os quais não foram considerados neste estudo.

Considera-se que o presente estudo contribui para um melhor entendimento dos mecanismos atmosféricos associados a EECs na cidade do Rio de Janeiro e também nas áreas costeiras da Região Sudeste do Brasil. Além disso são dadas sugestões para futuros estudos que podem seguir avançando no conhecimento deste tema, melhorando a previsibilidade de EECs.

Uma outra característica desse método é que da maneira como foi desenhado pode ser utilizado também na previsão e no estudo dos padrões de outros tipos de fenômenos atmosféricos e seus extremos. O MeDPAt-EEC pode ser aplicado a outras

localidades, sendo suficiente apenas escolher as datas de ocorrência dos eventos meteorológicos de interesse e o modelo atmosférico que produza previsões para o ponto de interesse. Também é possível utilizar mais de um modelo atmosférico para o mesmo ponto gerando uma previsão por conjunto que permite gerar um prognóstico probabilístico. O desafio do método reside na descoberta dos níveis e variáveis meteorológicas em que o padrão atmosférico se apresenta mais evidente e que, portanto, viabilizará o seu uso nas previsões.

## **5.2 Análise do Trabalho Cognitivo de Meteorologistas e eliciação do Conhecimento**

A realização desta pesquisa tornou possível analisar aspectos fundamentais e decisivos do trabalho dos meteorologistas na previsão de chuvas significativas na cidade do Rio de Janeiro.

Para lidar com a complexidade da tarefa de prever eventos de chuva significativa, foram empregadas técnicas de Análise do Trabalho Cognitivo combinadas, que possibilitaram capturar dados a respeito da realização de tarefas tanto rotineiras quanto aquelas que são realizadas em momentos decisivos. A análise de casos de chuva significativa contribuiu para a identificação de aspectos relativos à cognição no trabalho dos meteorologistas. A partir disto, já é possível começar a identificar, no sistema, pontos críticos que podem estar contribuindo para a pressão exercida contra o limite do desempenho seguro das atividades. Estes pontos precisam ser mais bem analisados, assim como o uso dos artefatos nestas funções. A experiência e a percepção de pistas, que são baseadas em conhecimento tácito, foram identificadas como fatores de grande importância para a tomada de decisão. Desse modo é necessário aprofundar a eliciação deste conhecimento dos meteorologistas a fim de permitir a manutenção do mesmo e o rápido aprendizado dos novatos. Do ponto de vista organizacional os resultados obtidos mostram a necessidade de desenvolvimento de mecanismos de apoio à colaboração entre profissionais experientes e novatos, além da manutenção de meteorologistas experientes no quadro de funcionários do Alerta-Rio. A falta, inacurácia e dificuldades de acesso às informações exige maior esforço cognitivo do profissional para se adaptar. Sendo assim, é possível concluir que há a necessidade de se tornar mais fácil e ágil o acesso do meteorologista a informações precisas e corretas. Isso irá permitir que o mesmo não precise adaptar tanto seu trabalho, conferindo ou corrigindo dados mentalmente, evitando, portanto, o aumento da pressão exercida sobre o trabalho. Neste ciclo, a pressão contribui também para

o aumento da improvisação, o que pode levar a falhas.

Concluiu-se que os processos cognitivos do previsor meteorológico mapeados nos eventos de chuva moderada (Caso 1 e Caso 3) se revelaram semelhantes àqueles observados no caso do evento extremo de chuva (Caso 2). Uma possível explicação é o fato de que, a priori, o meteorologista não teve um nível de conforto suficiente que o motivasse fazer uma seleção entre perfis de trabalho cognitivo distintos. A adequação da estratégia de raciocínio à realidade vivenciada por parte do previsor em casos de chuva moderada ou extrema parece ocorrer de forma semelhante.

Com esse estudo pôde-se notar que é necessário investir na manutenção do conhecimento e da perícia dentro de um grupo de previsores meteorológicos. É necessário investir também na interação entre homem-máquina. [Schumacher et al. \(2010\)](#) sugere que fatores sociais são tão importantes para a eficácia dos alertas meteorológicos quanto o momento de emissão e a informação contida nos avisos. [Schumacher et al. \(2010\)](#) sugerem ainda que esses fatores sociais devem ser considerados em pesquisas futuras em conjunto com os investimentos e atenção dada para melhorar a capacidade de detecção de extremos de chuva e de emissão de alertas.

Portanto, o presente trabalho aponta na mesma direção de estudos anteriores, reforçando a tese de que o fator humano exerce grande influência na emissão de alertas meteorológicos e que a melhora das previsões necessariamente deve levar em conta o conjunto homem-máquina e não apenas as partes individualmente.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAHIA, O.; ESCOBAR, G. C. J. **Carta sinótica de superfície da América do Sul para as 18:00 GMT de 21 de janeiro de 2009**. 2009. Cachoeira Paulista, 2009. Cartas Sinóticas Elaboradas por Meteorologistas do Grupo de Previsão do Tempo. Disponível em: <<http://img0.cptec.inpe.br/~rgptimg/Produtos-Pagina/Carta-Sinotica/Analise/Superficie/?C=M;O=D>>. Acesso em: 14 abr. 2010. 47

BLACK, T. L. The new nmc mesoscale eta model: description and forecast examples. **Weather Forecasting**, v. 9, p. 265–278, 1994. 4

BUSTAMANTE, J. F.; GOMES, J. L.; CHOU, S. C.; ROZANTE, J. R. Evaluation of april 1999 rainfall forecasts over south america using de eta model. **Climanálise**, [http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/artigos/Eta\\_forecast\\_april99.pdf](http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/artigos/Eta_forecast_april99.pdf), n. 4, 1999. 4

BUSTAMANTE, J. S.; CHOU, S. C.; R., R. J.; L., G. J. A weather predictability evaluation for the eta model for south america (in portuguese). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, p. 59–70, 2005. 12

CAÑAS, A. J.; HILL, G.; CARFF, R.; SURI, N.; LOTT, J.; GÓMEZ, G.; ESKRIDGE, T. C.; ARROYO, M.; CARVAJAL, R. Cmaptools: a knowledge modeling and sharing environment. In: FIRST INT. CONFERENCE ON CONCEPT MAPPING, Pamplona. **Proceedings...** Spain, 2004. 33

CARPENTER, G. A.; GROSSBERG, S. Adaptive resonance theory. In: ARDIB, M. A. (Ed.). **The handbook of brain theory and neural network**. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2002. 2. ed. 25

CARVALHO, C. S.; GALVÃO, T. **Prevenção de riscos de deslizamentos em encostas: guia para elaboração de políticas municipais: guia para elaboração de políticas municipais**. Brasília, 2006. 111 p. 2

CARVALHO, L. M. V.; C., J.; B., L. The south atlantic convergence zone: intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. **Journal of Climatology**, v. 17, p. 88–108, 2004. 7

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMAN, B. Extreme precipitation events in south-eastern south america and large-scale convective patterns in south atlantic convergence zone. **Journal of Climate**, v. 15, p. 2377–2394, 2002. 7, 72

CAVALCANTI, I. F. A. (Ed.). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1997–2010. Disponível em:  
<<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim>>. Acesso em: 10 de setembro de 2011. 12

CERQUEIRA, F. A. Avaliação do modelo eta em situações de chuvas intensas. In: INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. INPE, 2005. p. 1–44. Disponível em: <<http://150.163.34.248/col/sid.inpe.br/iris@1916/2005/10.03.11.20/doc/>>. 4

CHOU, S. C. **Estudos da previsibilidade de eventos meteorológicos extremos na Serra do Mar**. 2004. Fapesp (04/09649-0), CNPq (PQ 308725/2007-7 e AT 373194/2006-4. Disponível em:  
<<http://www.cptec.inpe.br/serradomar/desenvolvimento.shtml>>. xv, 6

CHOU, S. C.; BUSTAMENTE, J. F.; GOMES, J. L. Evaluation of eta model seasonal precipitation forecasts over south america. **Nonlinear Processes in Geophysics**, v. 12, p. 537–555, 2005. 4

CHOU, S. C.; SILVA, M. G. A. J. da. Objective evaluation of eta model precipitation forecast over south america. **Revista Climanalise**, v. 1, p. 1–17, 1999. Disponível em: <[http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/pdf/ETA\\_Chou.pdf](http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/pdf/ETA_Chou.pdf)>. Acesso em: 14 de Junho de 2011. 4, 12

CRANDALL, B.; KLEIN, G.; HOFFMAN, R. R. **Working minds: a practioner's guide to cognitive task analysis**. Cambridge: The MIT Press, 2006. 313 p. 27, 28, 29, 30, 31, 33

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS DA FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DE WYOMING. **Sondagem atmosférica do Rio de Janeiro em 21 de janeiro de 2009 às 12:00 GMT**. 2009. Lamarie, Wyoming, EUA, 2009. Gráfico do Tipo Skew-T Log-P com dados de sondagem atmosférica do Aeroporto Galeão no Rio de Janeiro. O código WMO da estação é 83746 e fica localizada na latitude -22.82 e longitude -43.25. Disponível em:

<<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>>. Acesso em: 14 abr. 2010. 50

\_\_\_\_\_. **Sondagem atmosférica do Rio de Janeiro em 28 de julho de 2009 às 12:00 GMT**. 2009. Lamarie, Wyoming, EUA, 2009. Gráfico do Tipo Skew-T Log-P com dados de sondagem atmosférica do Aeroporto Galeão no Rio de Janeiro. O código WMO da estação é 83746 e fica localizada na latitude -22.82 e longitude -43.25. Disponível em: <<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>>. Acesso em: 13 abr. 2010. 44

\_\_\_\_\_. **Sondagem atmosférica do Rio de Janeiro em 28 de junho de 2009 às 00:00 GMT**. 2009. Lamarie, Wyoming, EUA, 2009. Gráfico do Tipo Skew-T Log-P com dados de sondagem atmosférica do Aeroporto Galeão no Rio de Janeiro. O código WMO da estação é 83746 e fica localizada na latitude -22.82 e longitude -43.25. Disponível em: <<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>>. Acesso em: 15 abr. 2010. 53

DERECZYNSKI, C. P.; S. de O. J.; O., M. C. Climatologia da precipitação no município do rio de janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 1, p. 24–38, 2009. 7, 12, 35

DOLIF, G.; ENGELBRECHT, A.; JATOBÁ, A.; DIAS, A.; GOMES, J. O.; BORGES, M. R. S.; NOBRE, C. A.; CARVALHO, P. V. R. Critical decision method to assess resilience and brittleness in heavy rainfall forecast. In: 4TH RESILIENCE ENGINEERING INTERNATIONAL SYMPOSIUM, Sophia-Antipolis, France. **Proceedings...** Sophia-Antipolis, 2011. 80

ENGELBRECHT, A.; DOLIF, G.; GOMES, J. O.; CARVALHO, P. V. R.; NOBRE, C. A.; JATOBÁ, A.; SILVA, A. J. D. A análise do trabalho dos meteorologistas na previsão de chuvas intensas no rio de janeiro. **Ação Ergonômica**, v. 9, n. 2, p. 11–17, 2011. 81, 82

ERICSSON, K. A.; CHARNESS, N.; FELTOVICH, P.; HOFFMAN, R. (Ed.). **The cambridge handbook of expertise and expert performance**. Cambridge: University Press, 2006. 84

FRITSCH, J. M.; CARBONE, R. E. Improving quantitative precipitation forecasts in the warm season. **Bulletin of American Meteorological Society**, v. 85, n. 7, p. 955–965, July 2004. 4

GARCIA-BREIJO, E.; ATKINSON, J.; GARRIGUES, J.; GIL, L.; IBANEZ, J.; GLANC, M.; OLGUIN, C. An electronic tongue for monitoring drinking waters using fuzzy artmap neural network implemented on a microcontroller. In: IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, 2011, Gdansk, Poland. **Proceedings...** Gdansk: IEEE Xplore Digital Library, 2011. p. 1270–1275. 25

GUHA-SAPIR, D.; VOS, F.; BELOW, R.; S., P. **Annual disaster statistical review 2010: the numbers and trends**. Brussels, Belgium, 2011. 1

HOFFMAN, R. R.; COFFEY, K. M.; FORD, K. M.; NOVAK, J. D. A method for eliciting, preserving, and sharing the knowledge of forecasters. **Weather and Forecasting**, v. 21, p. 416–428, 2006. 8, 33

HOFFMAN, R. R.; CRANDALL, B. W.; SHADBOLT, N. R. Use of the critical decision method to elicit expert knowledge: a case study in cognitive task analysis methodology. **Human Factors**, v. 40, n. 2, 1998. 28

HOLLNAGEL, E. Resilience - the challenge of the unstable. In: HOLLNAGEL, E.; WOODS, D. D.; LEVESON, N. (Ed.). **Resilience engineering - concepts and precepts**. England: Ashgate Publishing Limited, 2006. p. 8–16. 80

\_\_\_\_\_. **The ETTO principle: efficiency-thoroughness trade-off**. Paris, France: MINES Paris Tech, 2009. ISBN 978-0-7546-7678-2. v, 76

HOLLNAGEL, E.; WOODS, D. **Joint cognitive systems: foundations of cognitive systems engineering**. Taylor & Francis, 2005. Disponível em: <<http://ebooks.ulb.tu-darmstadt.de/1174/>>. 82

I., J. Z. The step-mountain eta coordinate model: further developments of the convection, viscous sublayer and turbulence closure schemes. **Monthly Weather Review**, v. 122, p. 927–945, 1994. 14

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. **Imagem de satélite da América do Sul em 21 de janeiro de 2009 às 16:30 GMT**. 2009. Cachoeira Paulista, 2009. Imagens do Satélite GOES-12 no Canal Infravermelho, Realçada e Setorizada para o Sudeste. Disponível em: <[http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes\\_anteriores.jsp](http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes_anteriores.jsp)>. Acesso em: 14 abr. 2010. 48

\_\_\_\_\_. **Imagem de satélite da América do Sul em 28 de julho de 2009 às 20:30 GMT.** 2009. Cachoeira Paulista, 2009. Imagens do Satélite GOES-12 no Canal Infravermelho, Realçada e Setorizada para o Sudeste. Disponível em: <[http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes\\_anteriores.jsp](http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes_anteriores.jsp)>. Acesso em: 13 abr. 2010. 45

\_\_\_\_\_. **Imagem de satélite da América do Sul em 28 de junho de 2009 às 03:30 GMT.** 2009. Cachoeira Paulista, 2009. Imagens do Satélite GOES-12 no Canal Infravermelho, Realçada e Setorizada para o Sudeste. Disponível em: <[http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes\\_anteriores.jsp](http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes_anteriores.jsp)>. Acesso em: 15 abr. 2010. 53

IPCC. **Climate change: the physical basis. Summary for policymakers.** [S.l.]: World Meteorological Organization(WMO), 2007. 1

JOSLYN, S.; JONES, D. Strategies in naturalistic decision making: A cognitive task analysis of naval weather forecasting. In: SCHRAAGEN, J. M.; MILITELLO, L. G.; ORMEROD, T.; LIPSHITZ, R. (Ed.). **Naturalistic decision making and macrocognition.** Burlington, VT, USA: Ashgate Publishing Co., 2008. p. 183–201. 84

KENAYA, R.; CHEOK, K. C. Euclidean art neural networks. In: WORLD CONGRESS ON ENGINEERING AND COMPUTER SCIENCE, 2008, San Francisco, USA. **Proceedings...** San Francisco, 2008. 25

KLEIN, G. A.; CALDERWOOD, R.; MCGREGOR, D. Critical decision method for eliciting knowledge. **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics**, v. 19, n. 3, p. 462–472, 1989. 28

KOBIYAMA, M.; CA, M. M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. de O.; MARCELINO, E. V.; CALVES, E. F. G.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G. S. F.; RUDORFF, F. de M. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos.** 1. ed. Curitiba: Editora Organic Trading, 2006. 109 p. 1

LIMA, K. C.; SATYAMURTI, P. Large-scale atmospheric conditions associated with heavy rainfall episodes in southeast brazil. **Theoretical Applied Climatology**, v. 101, p. 121–135, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00704-009-0207-9>>. xxv, 7, 12, 17, 20, 22, 35, 71, 72, 89

LIMA, M.; ESCOBAR, G. C. J. **Carta sinótica de superfície da América do Sul para as 18:00 GMT de 28 de julho de 2009**. 2009. Cachoeira Paulista, 2009. Cartas Sinóticas Elaboradas por Meteorologistas do Grupo de Previsão do Tempo. Disponível em: <<http://img0.cptec.inpe.br/~rgptimg/Produtos-Pagina/Carta-Sinotica/Analise/Superficie/?C=M;O=D>>. Acesso em: 13 abr. 2010. 43

LIU, Y.; WEISBERG, R. H. A review of self-organizing maps applications in meteorology and oceanography. In: MWASIAGI, J. I. (Ed.). **Self organizing maps - applications and novel algorithm design**. InTech, 2011. cap. 14, p. 253–272. ISBN 978-953-307-546-4. Disponível em: <<http://www.intechopen.com/articles/show/title/a-review-of-self-organizing-map-applications-in-meteorology-and-oceanography>>. Acesso em: 15 janeiro 2012. 8

LLOBET, E.; HINES, H. L.; GARDNER, J. W.; BARLETT, N. P.; MOTTRAM, T. T. Fuzzy artmap based electronic nose data analysis. **Sensors and Actuators B**, Elsevier Science Publishers B. V., v. 61, p. 183–190, 1999. 25

MARCELINO, E. V. **Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos**. Santa Maria, RS, Brasil: Inst. Nac. de Pesquisas Espaciais(INPE) e Minist. da Ciência e Tecnologia(MCT), 2008. 38 p. 1, 2, 3

MARCHIORI, S. C.; SILVEIRA, M. d. C. G. da; LOTUFO, A. D. P.; MINUSSI, C. R.; LOPES, M. L. M. Neural network based on adaptive resonance theory with continuous training for multi-configuration transient stability analysis of electric power systems. **Appl. Soft Comput.**, Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, The Netherlands, The Netherlands, v. 11, p. 706–715, January 2011. ISSN 1568-4946. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2009.12.032>>. 8

MESINGER, F. A blocking technique for representation of mountains in atmospheric models. **Riv. Meteor. Aeronautica**, v. 44, p. 195–202, 1984. 14

MESINGER, F.; JANJIC, 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. **Monthly Weather Review**, v. 116, p. 1493–1518, 1988. 4

MOURA, C.; ESCOBAR, G. C. J. **Carta sinótica de superfície da América do Sul para as 00:00 GMT de 28 de junho de 2009**. 2009. Cachoeira Paulista, 2009. Cartas Sinóticas Elaboradas por Meteorologistas do Grupo de Previsão do Tempo. Disponível em: <<http://img0.cptec.inpe.br/~rgptimg/Produtos-Pagina/Carta-Sinotica/Analise/Superficie/?C=M;O=D>>. Acesso em: 15 abr. 2010. 52

NADAV-GREENBERG, L.; JOSLYN, S. L. Uncertainty forecasts improve decision making among nonexperts. **Journal of Cognitive Engineering and Decision Making**, v. 3, n. 3, 2009. 84

NADAV-GREENBERG, L.; JOSLYN, S. L.; TAING, M. U. The effect of uncertainty visualizations on decision making in weather forecasting. **Journal of Cognitive Engineering and Decision Making**, v. 2, n. 1, p. 24–47, 2008. 84

NOVAK, J. D.; CAÑAS, A. J. **The theory underlying concept maps and how to construct and use them**. Pensacola, FL, USA, 2008. 33

RAMIREZ, M. C. V.; VELHO, H. C. Linear and nonlinear statistical downscaling for rainfall forecasting over south-eastern brazil. **Monthly Weather Review**, v. 21, p. 969–989, 2006. 25

RAMIREZ, M. C. V.; VELHO, H. C.; FERREIRA, N. J. Artificial neural network technique for rainfall forecasting applied to th são paulo region. **Journal of Hydrology**, v. 30, p. 146–162, 2005. xxv, 12, 17, 20, 25

REDE DE METEOROLOGIA DO COMANDO DA AERONÁUTICA.  
**Refletividade de radar meteorológico em 21 de janeiro de 2009 às 18:00 GMT**. 2009. Produto MAXCAPPI de 400 km do Radar localizado no Pico do Couto no Estado do Rio de Janeiro. Disponível em:  
<<http://www.redemet.aer.mil.br>>. Acesso em: 14 abr. 2010. 49

\_\_\_\_\_. **Refletividade de radar meteorológico em 28 de julho de 2009 às 19:45 GMT**. 2009. Produto MAXCAPPI de 400 km do Radar localizado no Pico do Couto no Estado do Rio de Janeiro. Disponível em:  
<<http://www.redemet.aer.mil.br>>. Acesso em: 13 abr. 2010. 45

\_\_\_\_\_. **Refletividade de radar meteorológico em 28 de junho de 2009 às 03:15 GMT**. 2009. Produto MAXCAPPI de 400 km do Radar localizado no Pico

do Couto no Estado do Rio de Janeiro. Disponível em:

<<http://www.redemet.aer.mil.br>>. Acesso em: 15 abr. 2010. 54

REDE INTEGRADA NACIONAL DE DETECÇÃO DE DESCARGAS.

**Descargas elétricas da atmosfera em 21 de janeiro de 2009.** jan 2009.

Figura Fornecida pelo Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro.

Disponível em: <<http://www.rindat.com.br>>. Acesso em: 14 abr. 2010. 48

\_\_\_\_\_. **Descargas elétricas da atmosfera em 28 de julho de 2009.** jul 2009.

Figura Fornecida pelo Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro.

Disponível em: <<http://www.rindat.com.br>>. Acesso em: 13 abr. 2010. 44

\_\_\_\_\_. **Descargas elétricas da atmosfera em 28 de junho de 2009.** jun

2009. Figura Fornecida pelo Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro.

Disponível em: <<http://www.rindat.com.br>>. Acesso em: 15 abr. 2010. 54

ROGERS, E.; BLACK, T. L.; DEAVEN, D. G.; DIMEGO, G. J. Changes to the operational "early"eta analysisforecast system at the national centers for environmental prediction. **Weather and Forecasting**, v. 11, Sep. 1996. xv, 5, 6

RYAN, B. On the difficulty of weather forecasting. **Bulletin of American Meteorological Society**, 1982. 1

SCHEUREN, J.-M.; POLAIN, O. le; BELOW, R.; GUHA-SAPIR, D.; PONSERRE, S. **Annual disaster statistics review**. 2007. World Wide Web, <http://www.emdat.be/Publications/publications.html>. 1, 3

SCHUMACHER, R. S.; LINDSEY, D. T.; SCHUMACHER, A. B.; BRAUN, J.; MILLER, S. D.; DEMUTH, J. L. Multidisciplinary analysis of an unusual tornado: meteorology, climatology, and the communication and interpretation of warnings. **Weather and Forecasting**, v. 25, p. 1412–1429, 2010. 91

SELUCHI, M. E.; CHOU, S. C. Synoptic patterns associated with landslide events in the serra do mar, brazil. **Theoretical Applied Climatology**, v. 98, p. 67–77, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00704-008-0101-x>>. xxv, 7, 12, 17, 20, 35, 71, 72

SOMEREN, M. W. V.; BARNANRD, Y. F.; SANDBERG, J. A. C. **The think aloud method: a practical guide to modeling cognitive processes**. London: Academic Press Limited, 1994. 209 p. 28

- TEIXEIRA, M. d. S.; SATYAMURTI, P. Trends in the frequency of intense precipitation events in southern and southeastern brazil during 1960-2004. **Journal of Climate**, v. 24, p. 1913–1921, 2011. 3, 72
- VASCONCELLOS, F. C.; CAVALCANTI, I. F. A. Extreme precipitation over southeastern brazil in the austral summer and relations with the southern hemisphere annular mode. **Atmospheric Science Letters**, v. 11, p. 21–26, 2010. 7
- WANG, W.; SEAMAN, N. L. A comparison study of convective parameterization schemes in a mesoscale model. **Monthly Weather Review**, v. 125, february 1997. 4
- WILKS, D. S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. Burlington, MA, USA: Elsevier Inc., 2006. 627 p. Second Edition. 17, 25
- ZHAO, Q.; CARR, F. H. A prognostic cloud scheme for operational nwp models. **Monthly Weather Review**, v. 125, p. 1931–1953, 1997. 14



**APÊNDICE A - GRÁFICOS DA PRECIPITAÇÃO OBSERVADA NA  
REDE DE 32 PLUVIÔMETROS DA GEORIO PARA OS 32 EECs de  
2000 a 2010**

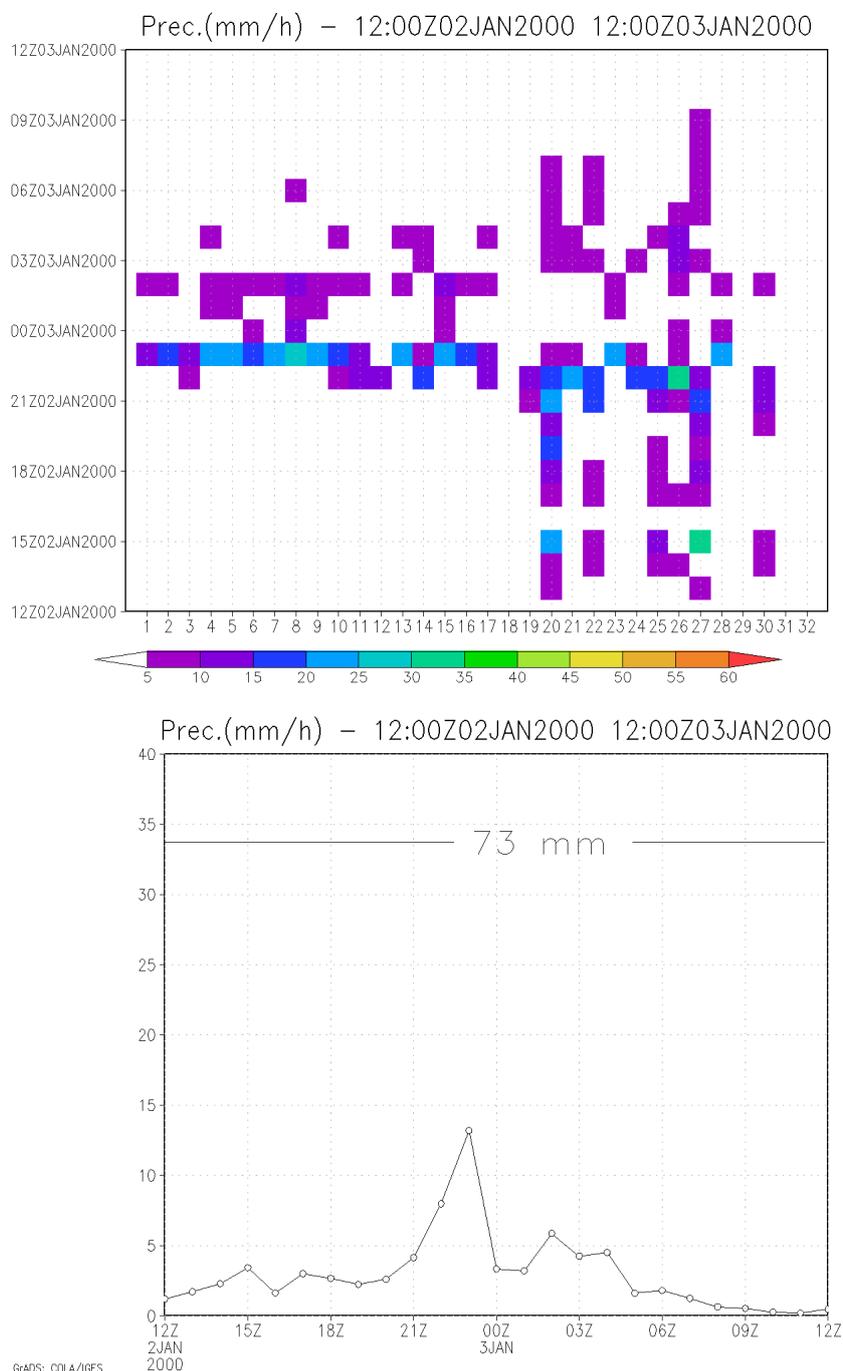


Figura A.1 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 03 de janeiro de 2000.

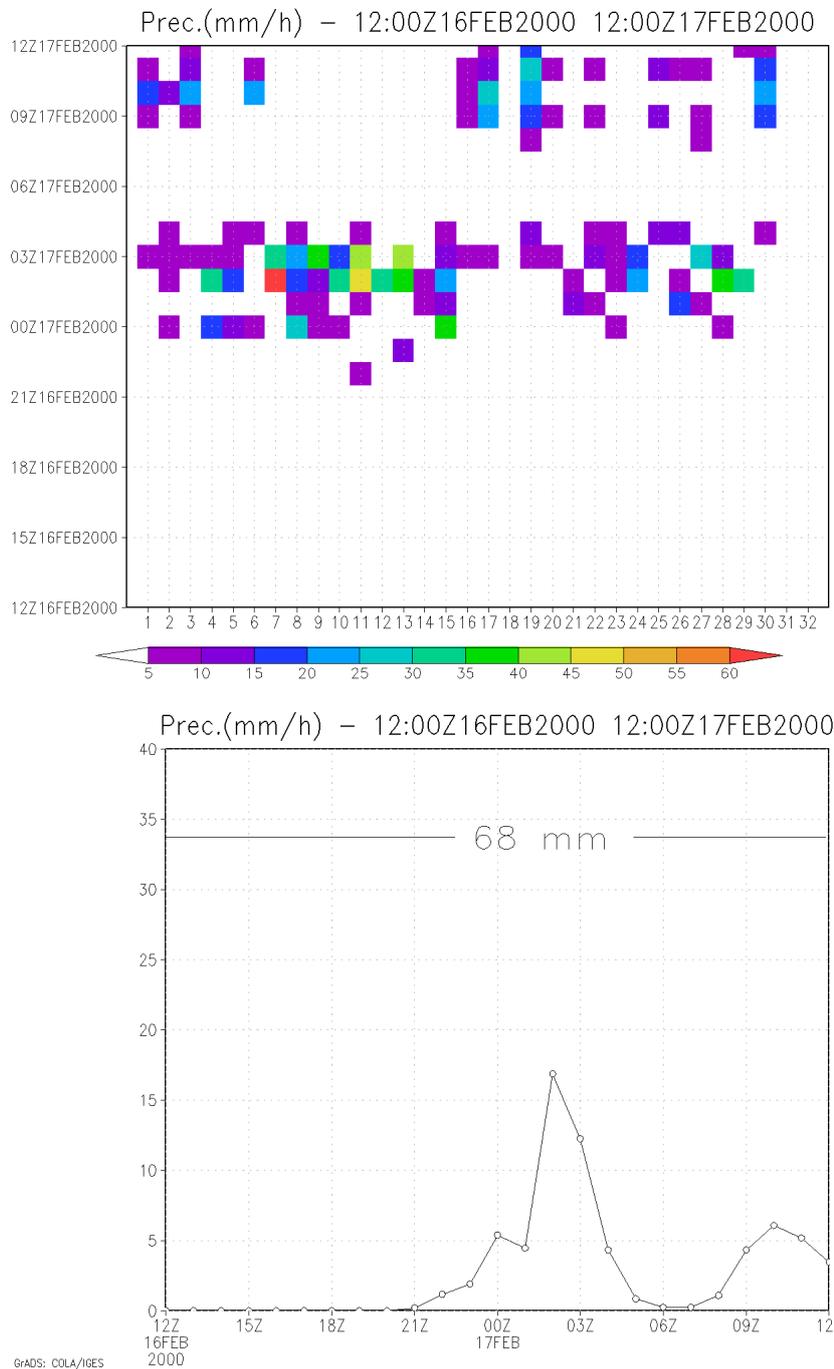


Figura A.2 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 17 de fevereiro de 2000.

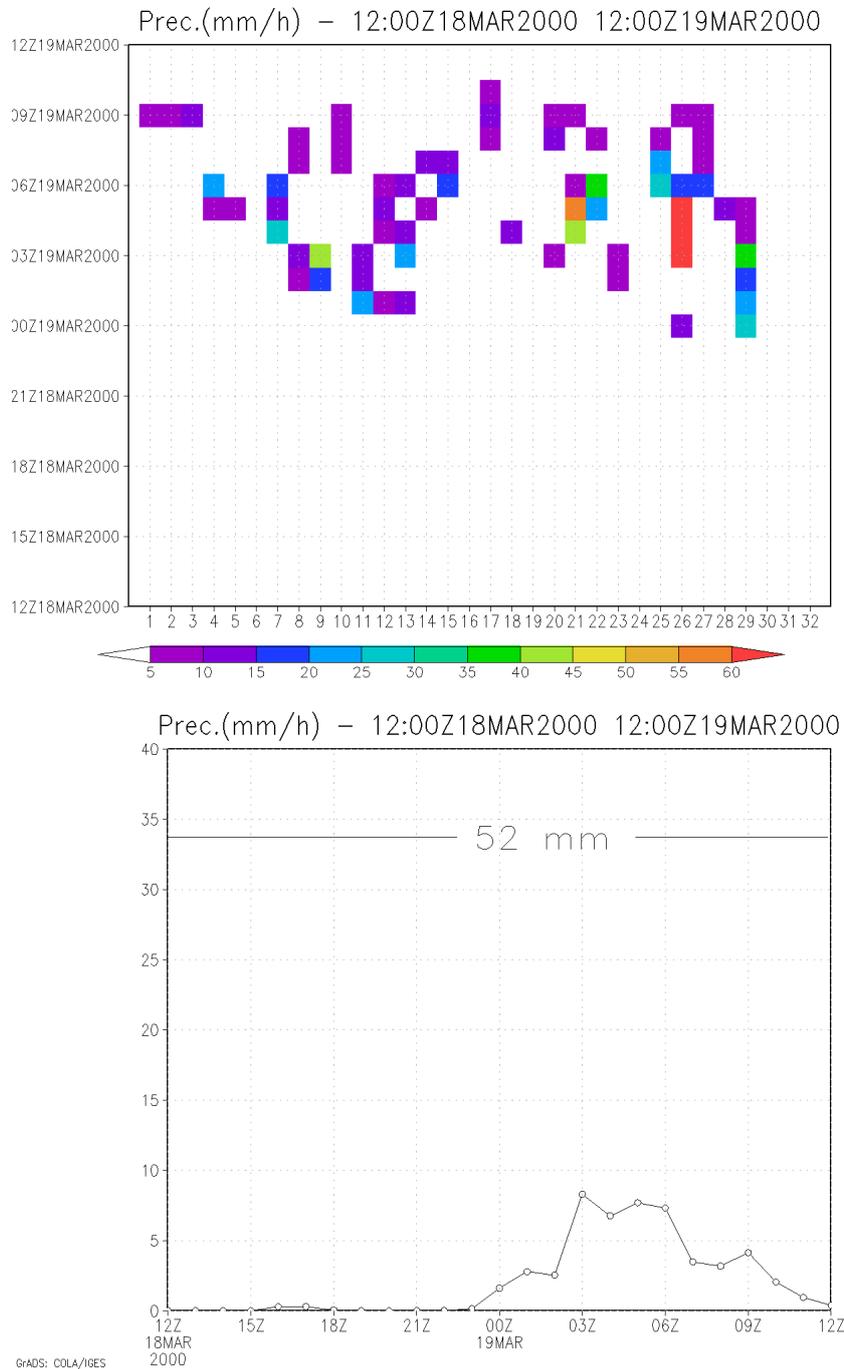


Figura A.3 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 19 de março de 2000.

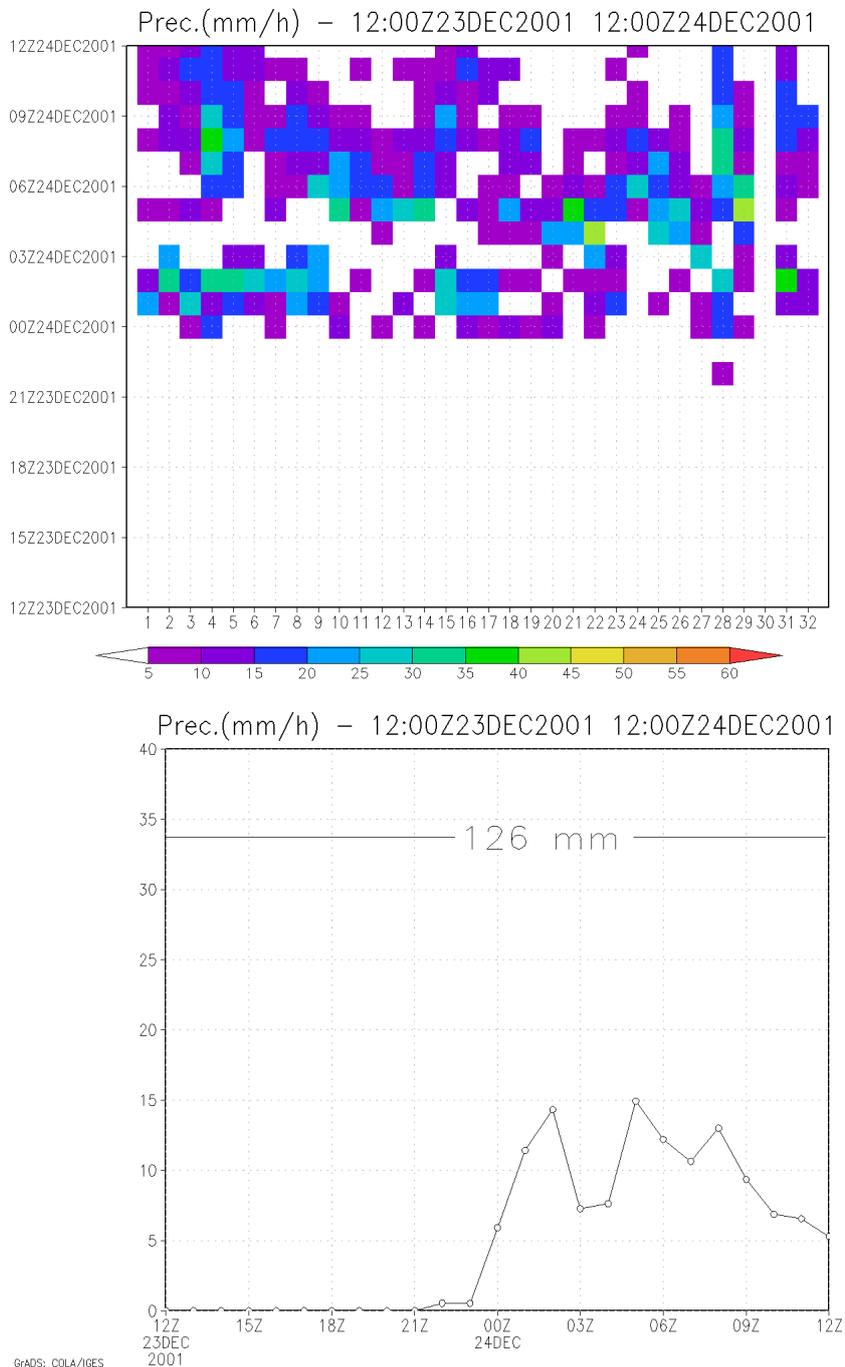


Figura A.4 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 24 de dezembro de 2001.

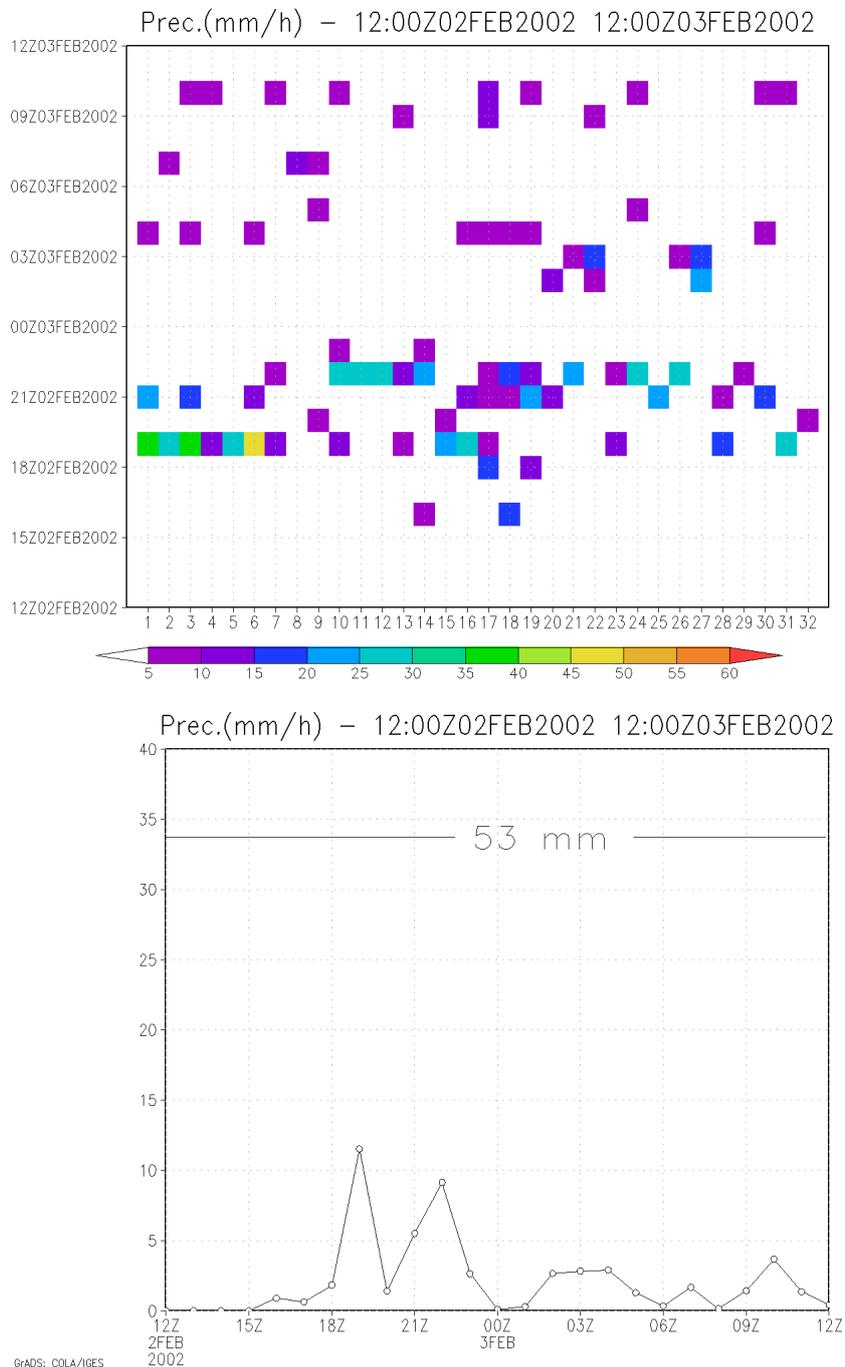


Figura A.5 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 03 de fevereiro de 2002.

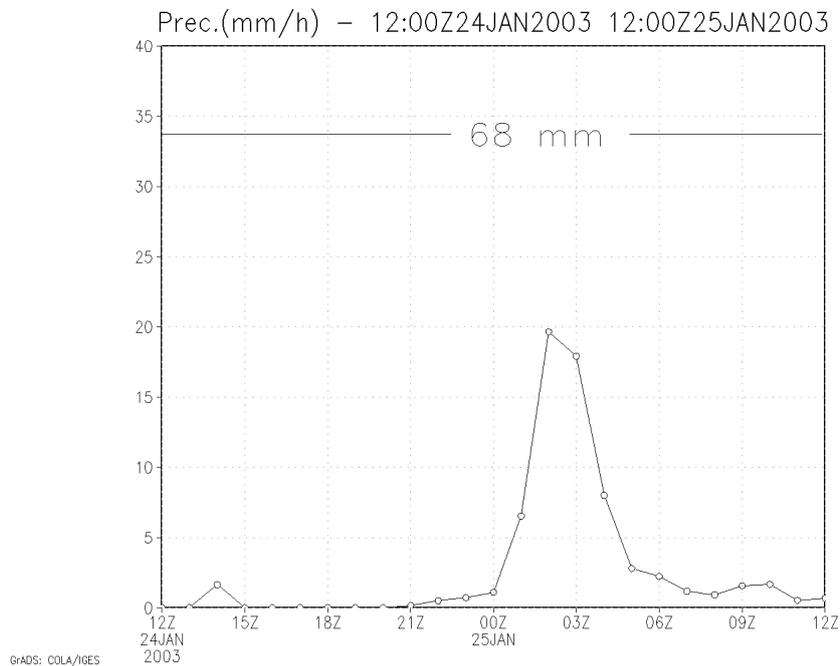
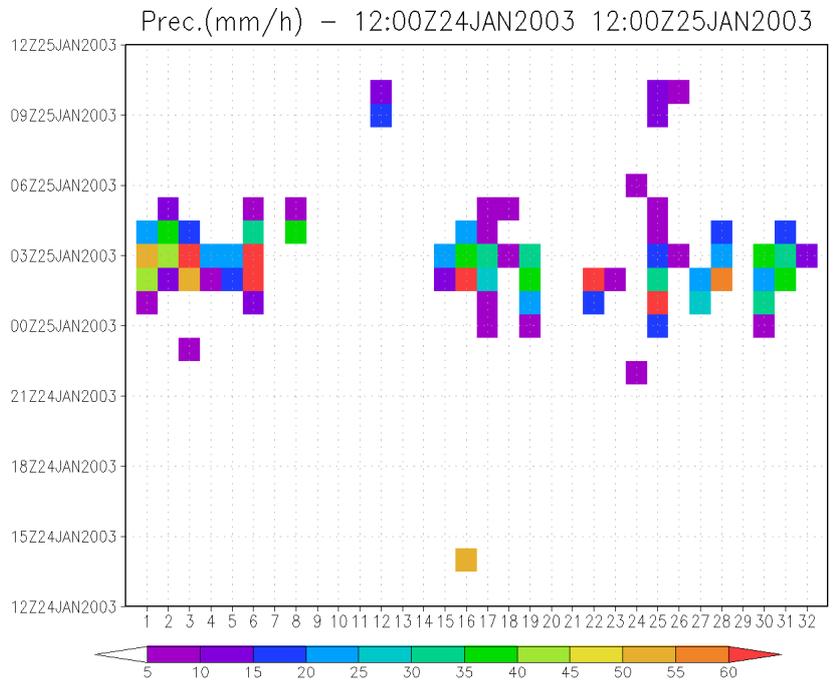


Figura A.6 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 25 de janeiro de 2003.

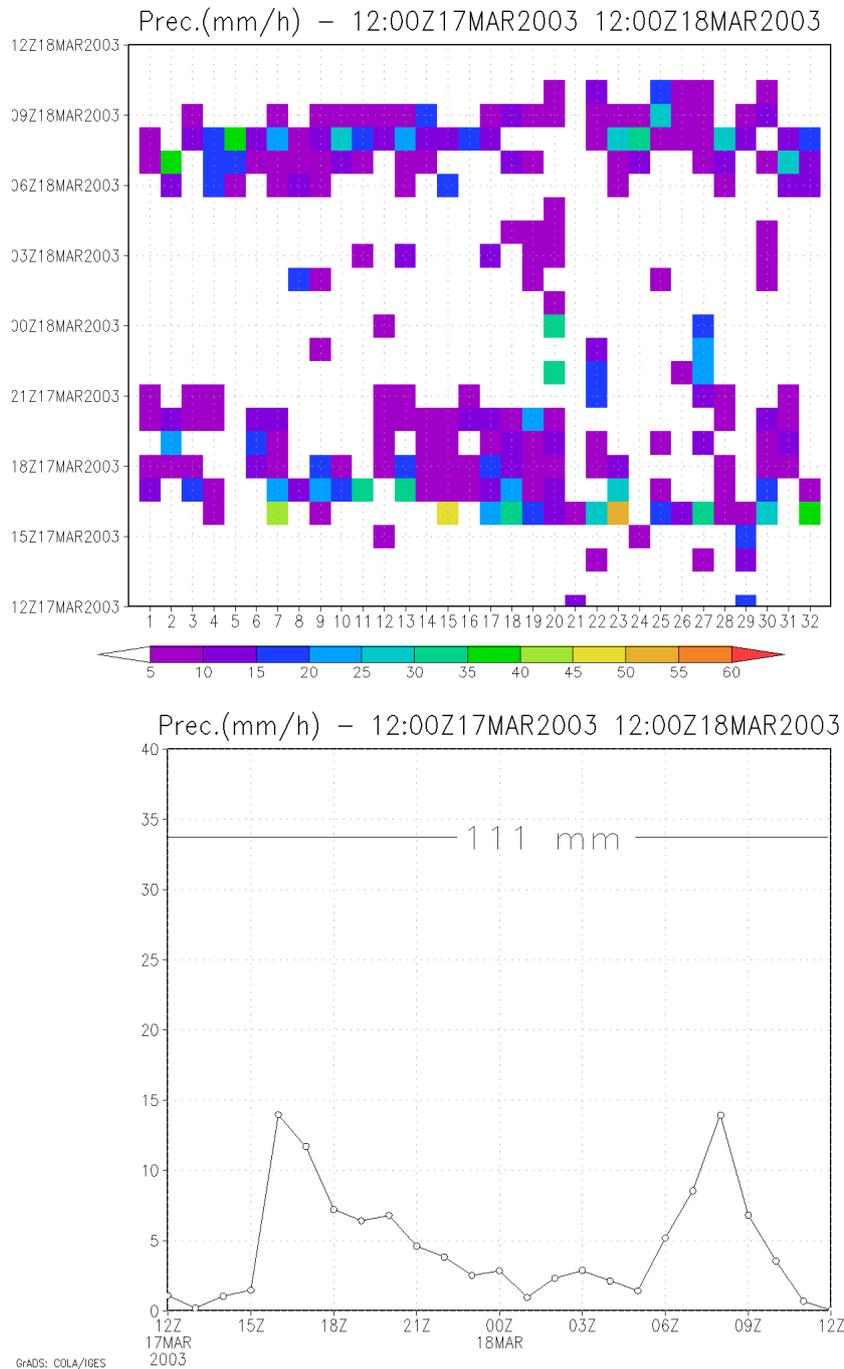


Figura A.7 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 18 de março de 2003.

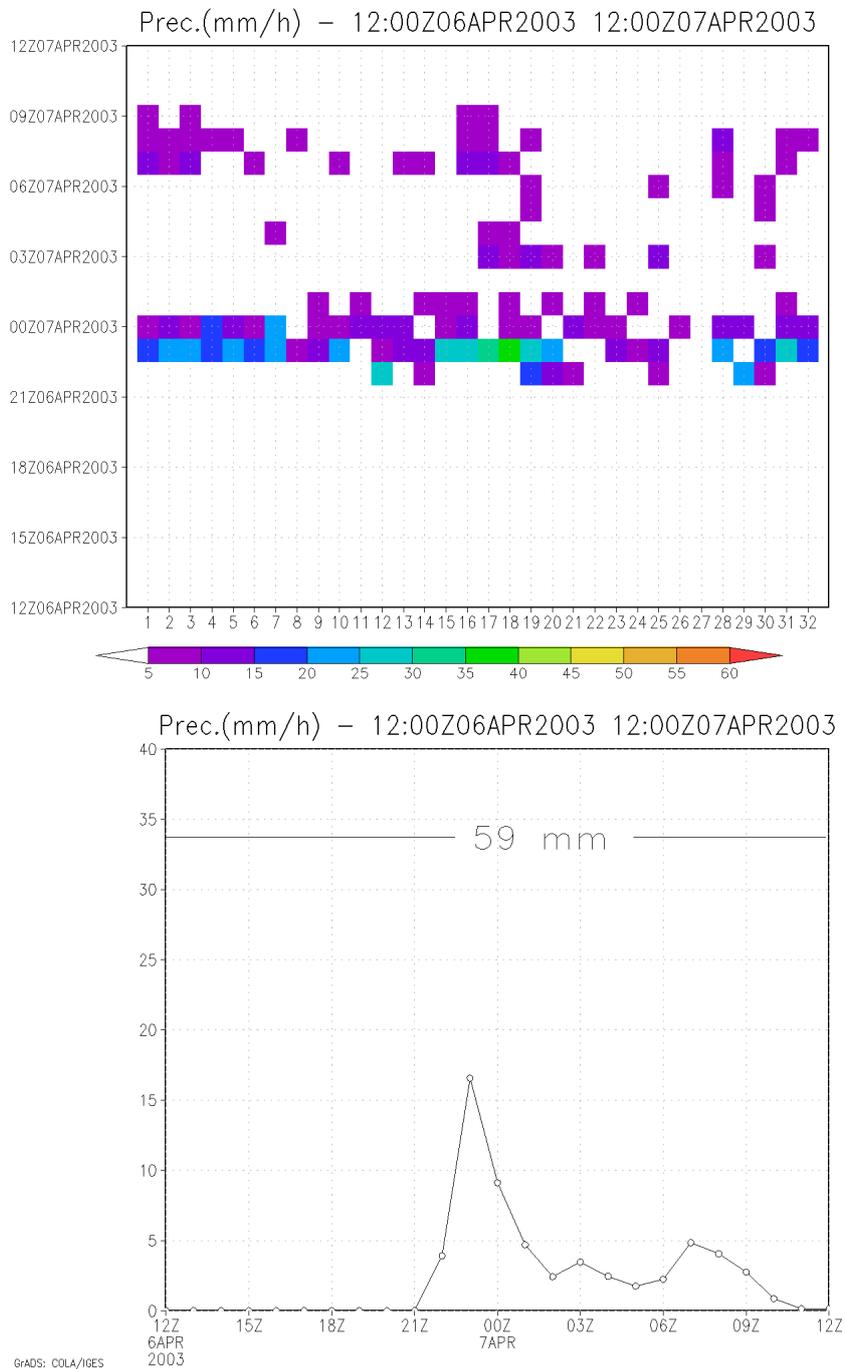


Figura A.8 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 07 de abril de 2003.

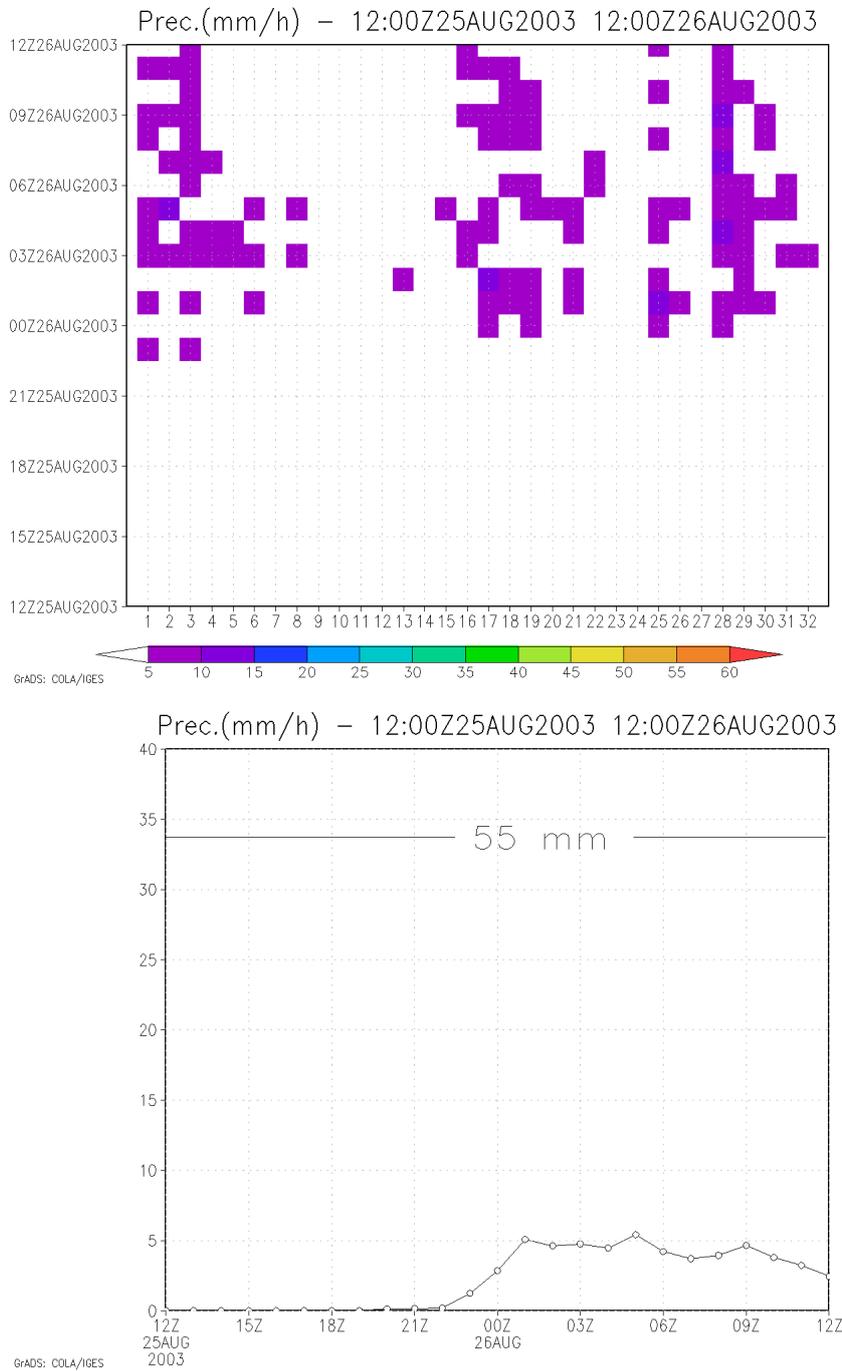


Figura A.9 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 26 de agosto de 2003.

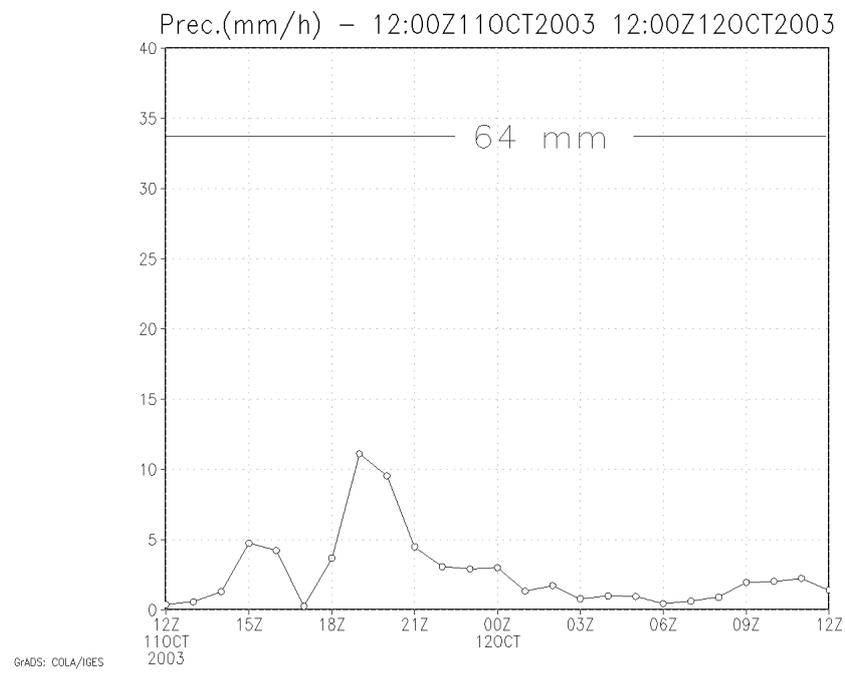
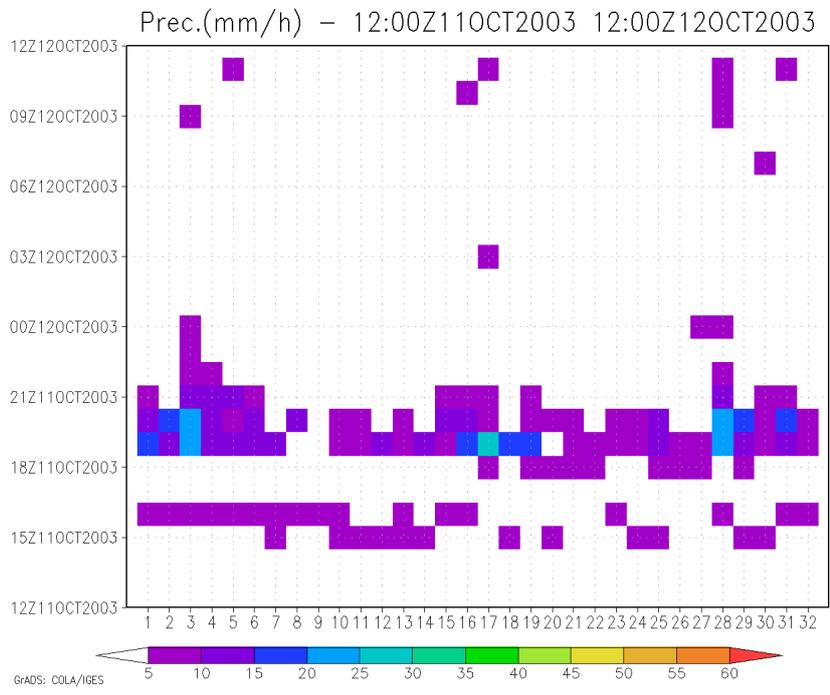


Figura A.10 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 12 de outubro de 2003.

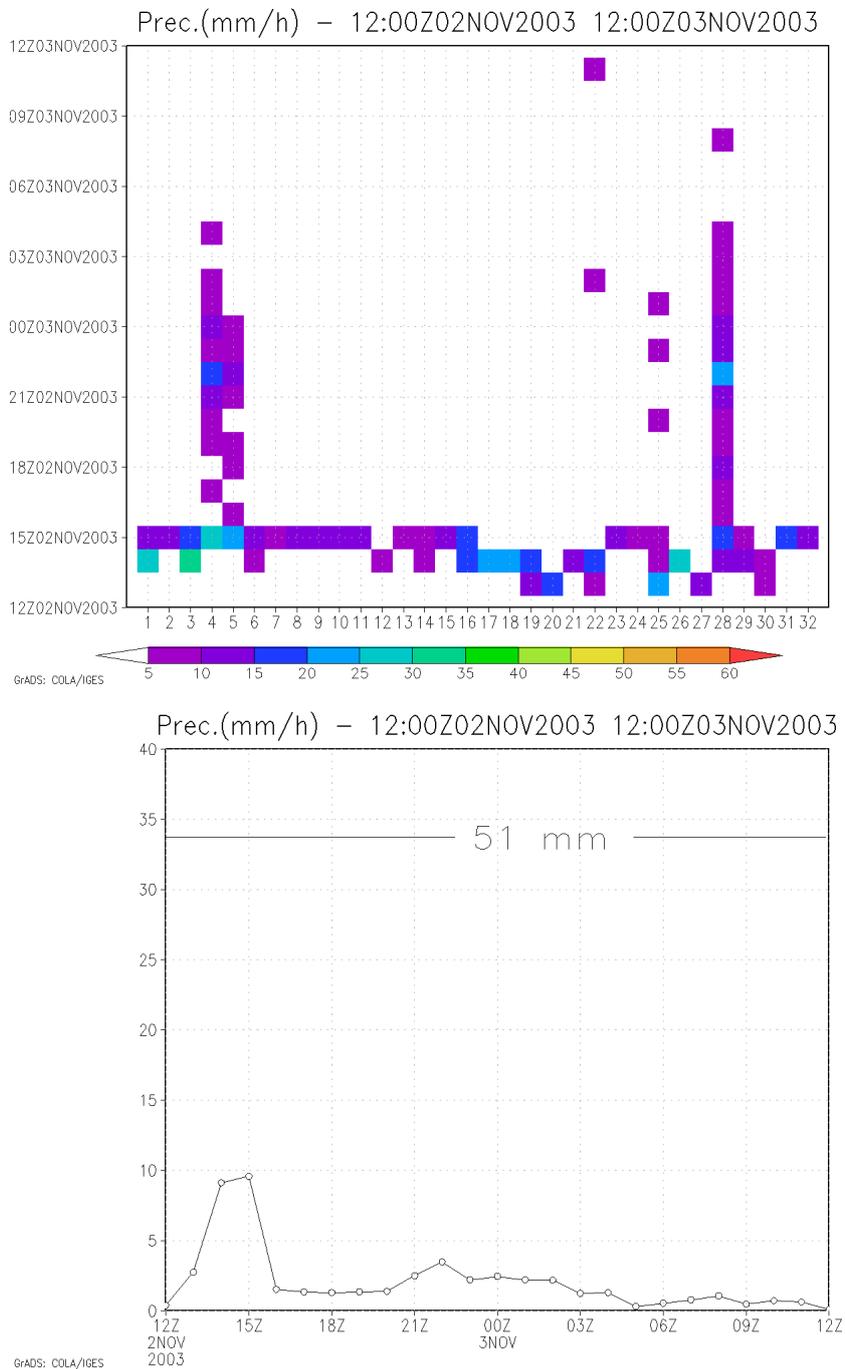


Figura A.11 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 03 de novembro de 2003.

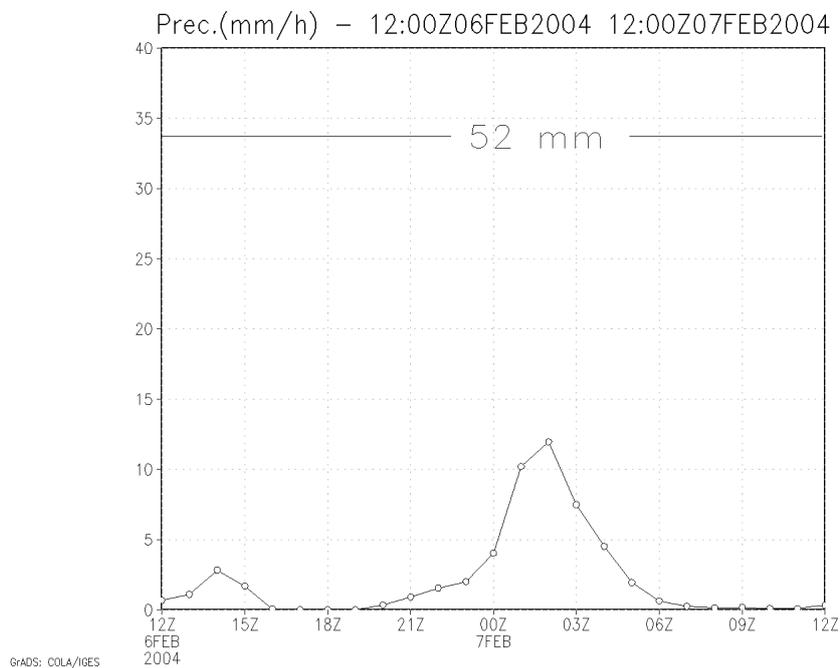
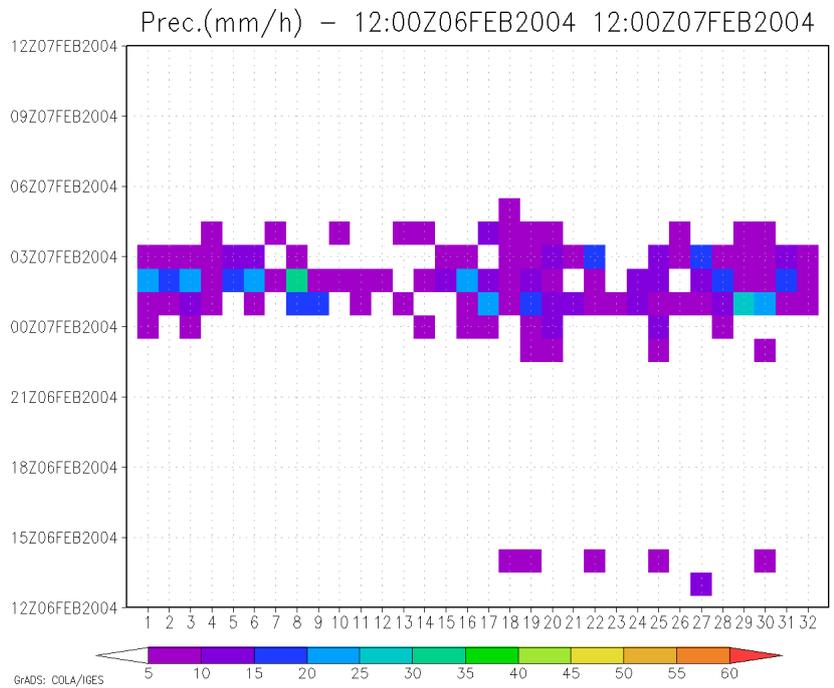


Figura A.12 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 07 de fevereiro de 2004.

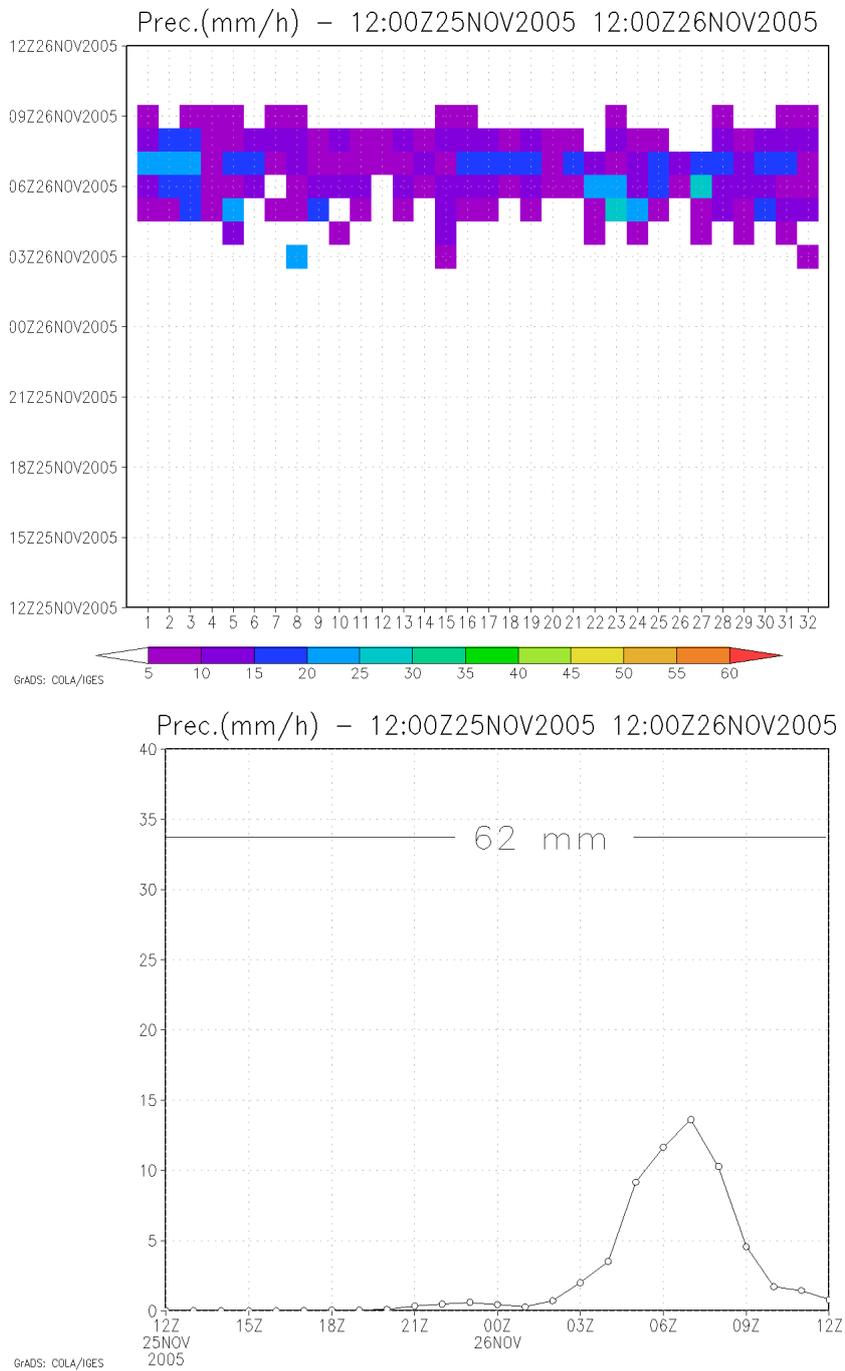


Figura A.13 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 26 de novembro de 2005.

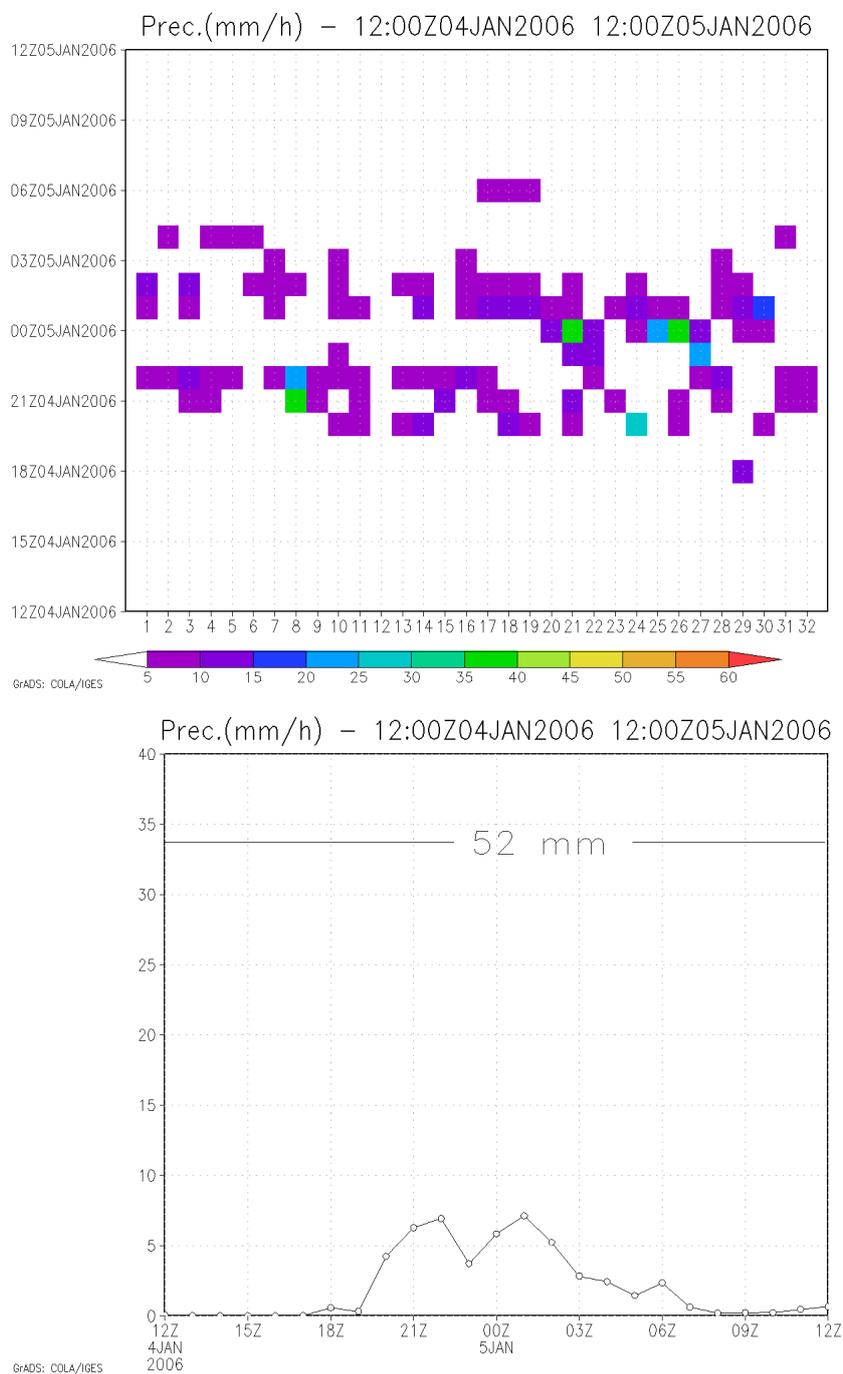


Figura A.14 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 05 de janeiro de 2006.

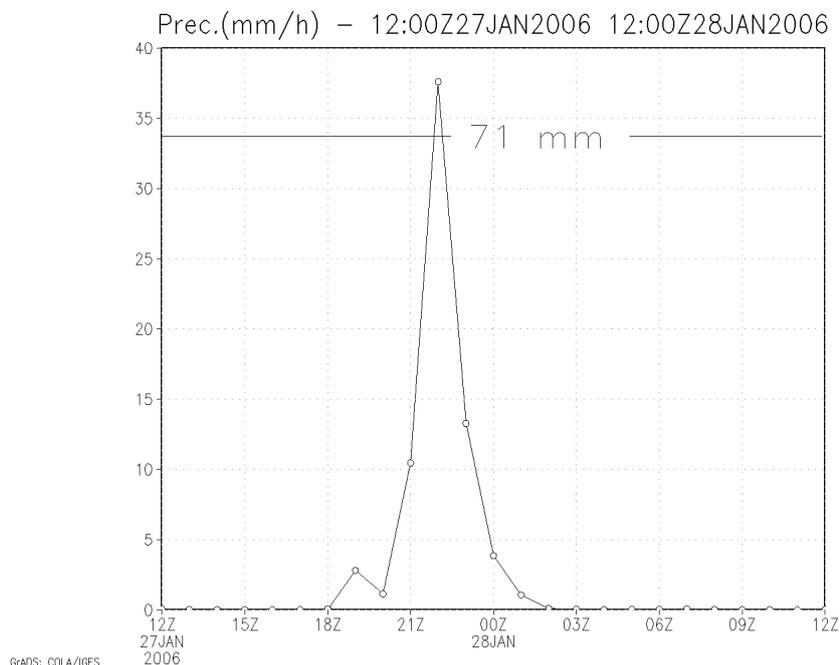
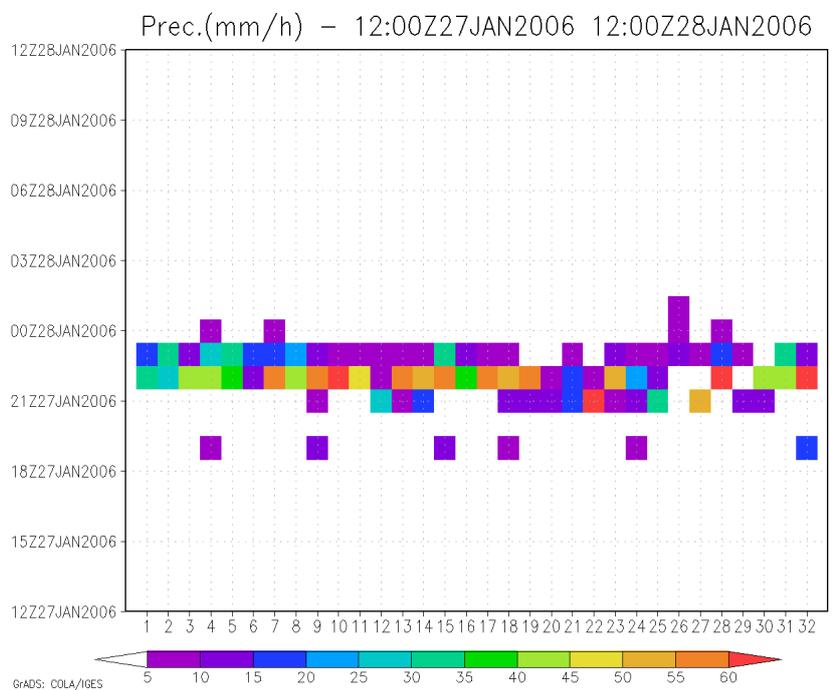


Figura A.15 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 28 de janeiro de 2006.

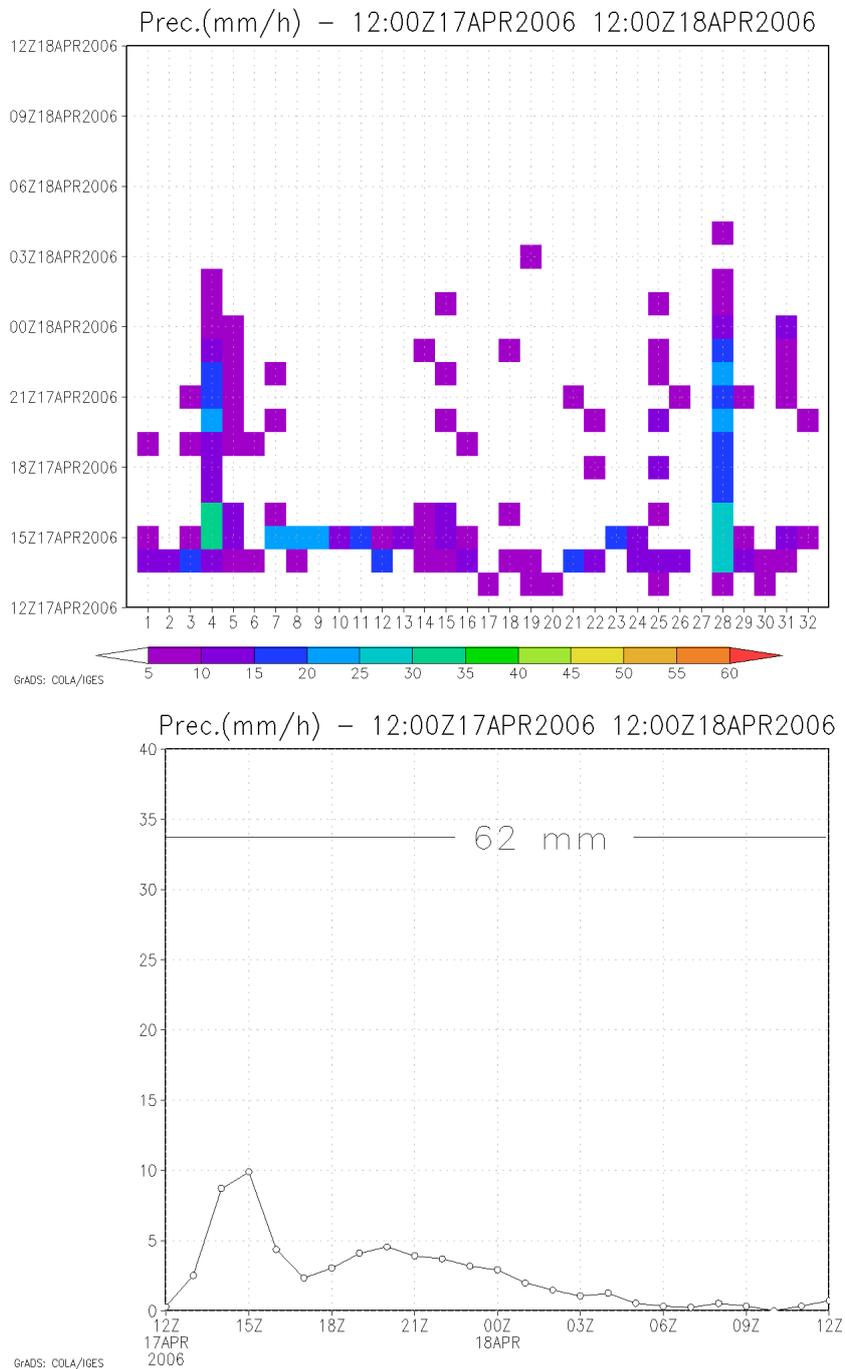


Figura A.16 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 18 de abril de 2006.

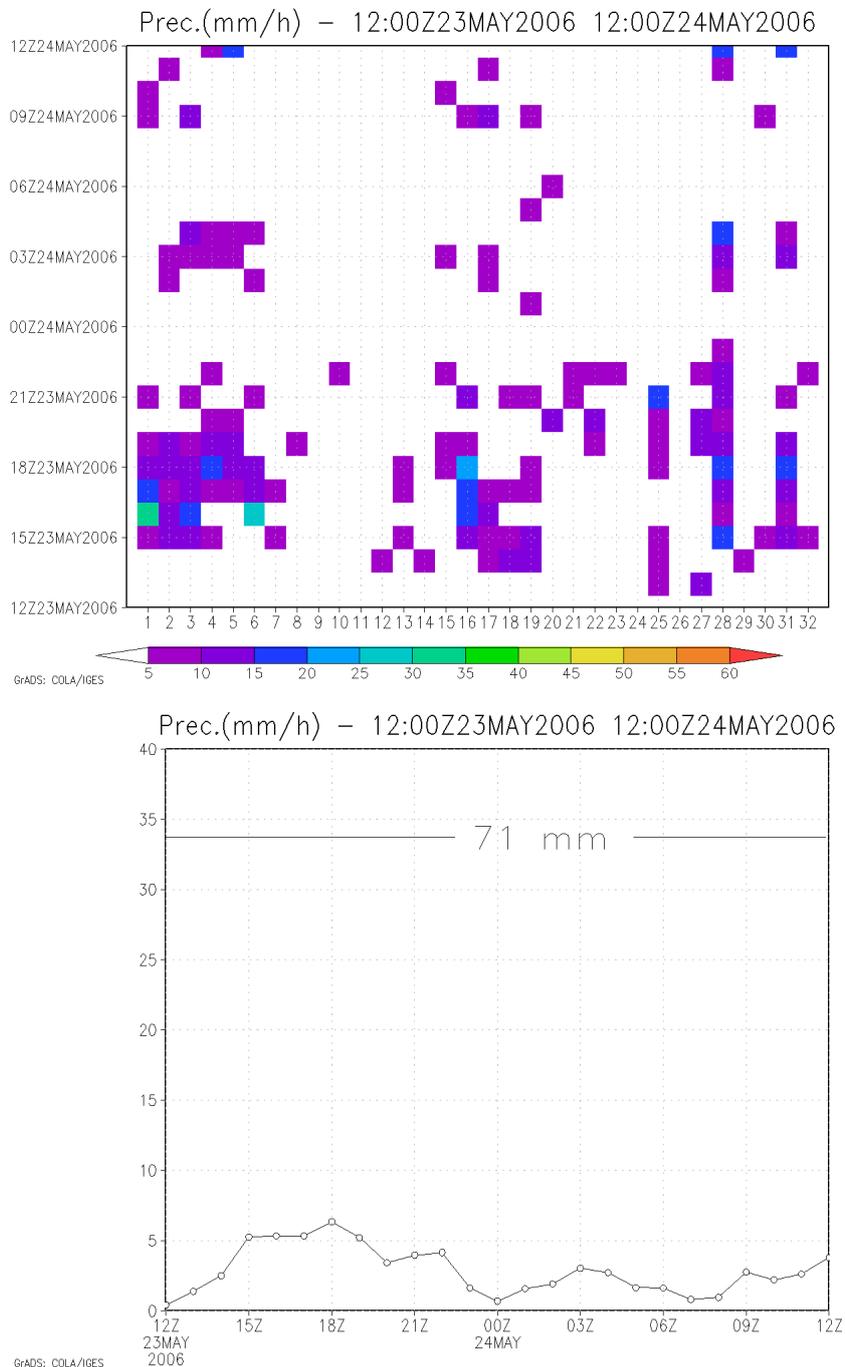


Figura A.17 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 24 de maio de 2006.

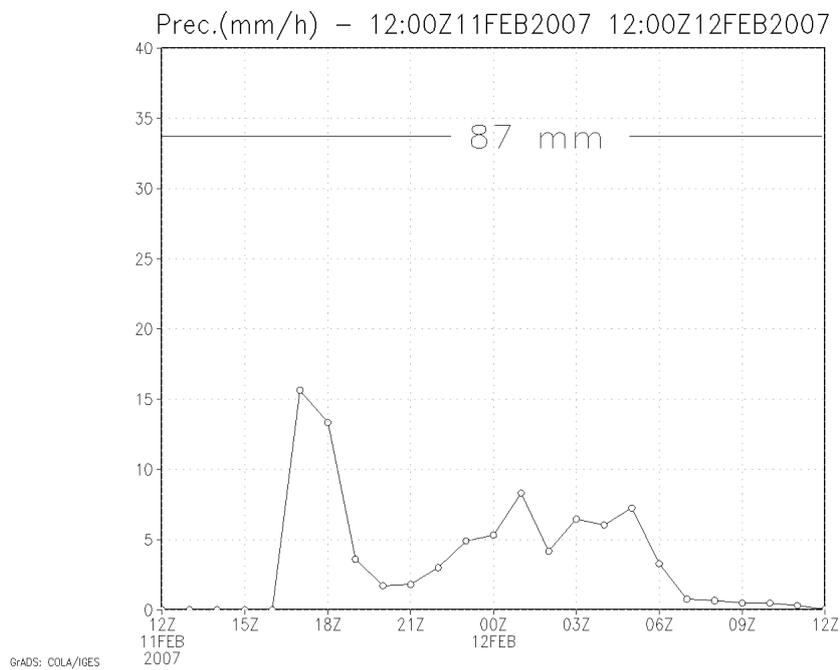
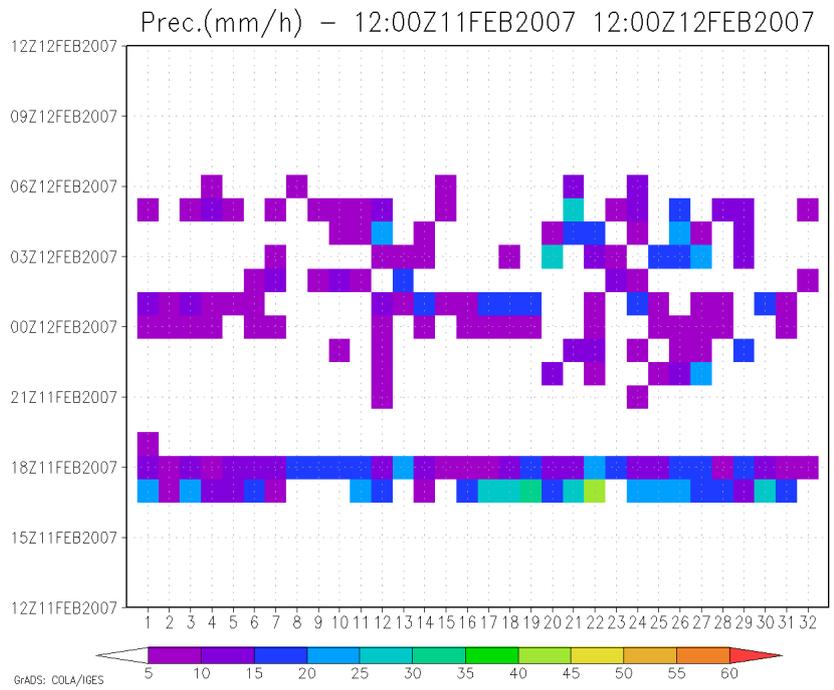


Figura A.18 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 12 de fevereiro de 2007.

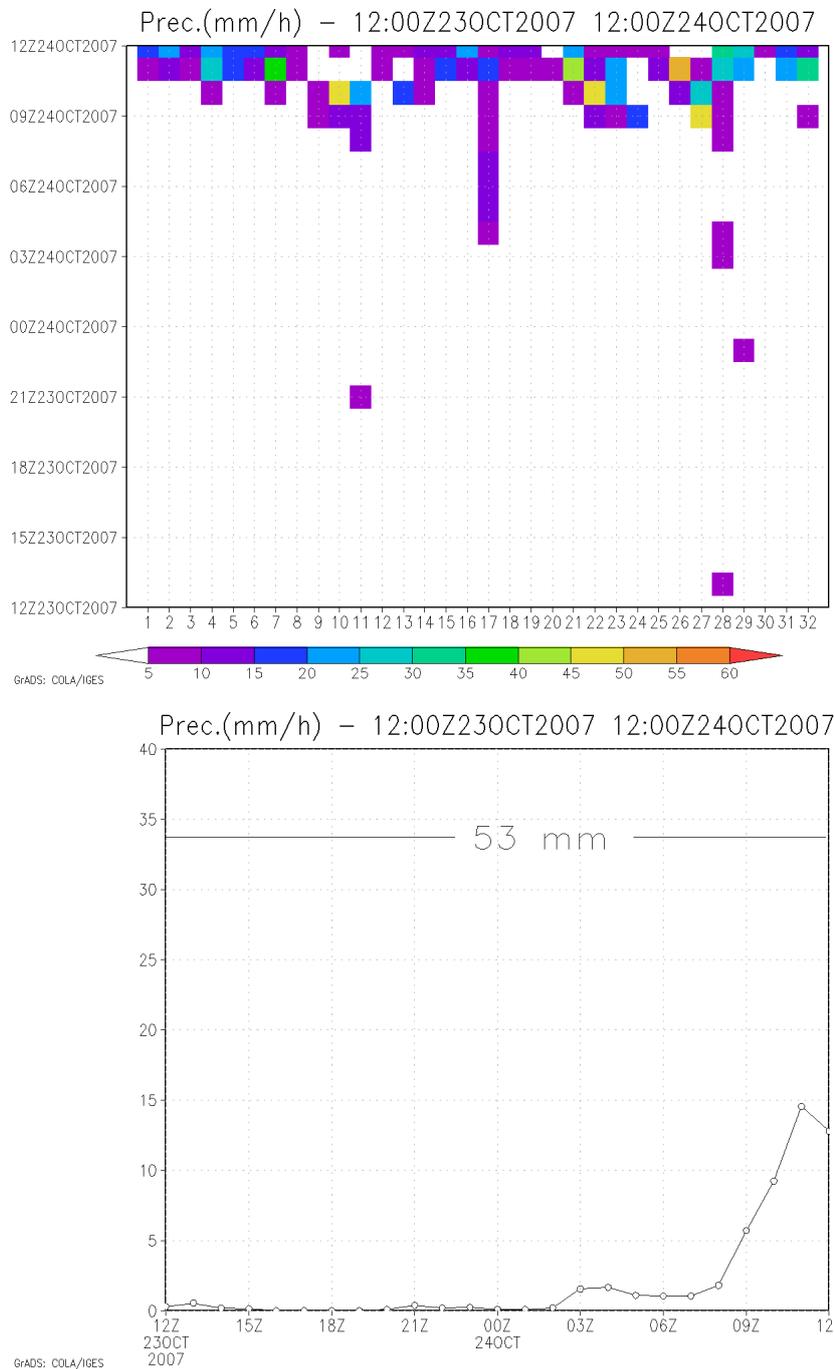


Figura A.19 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 24 de outubro de 2007.

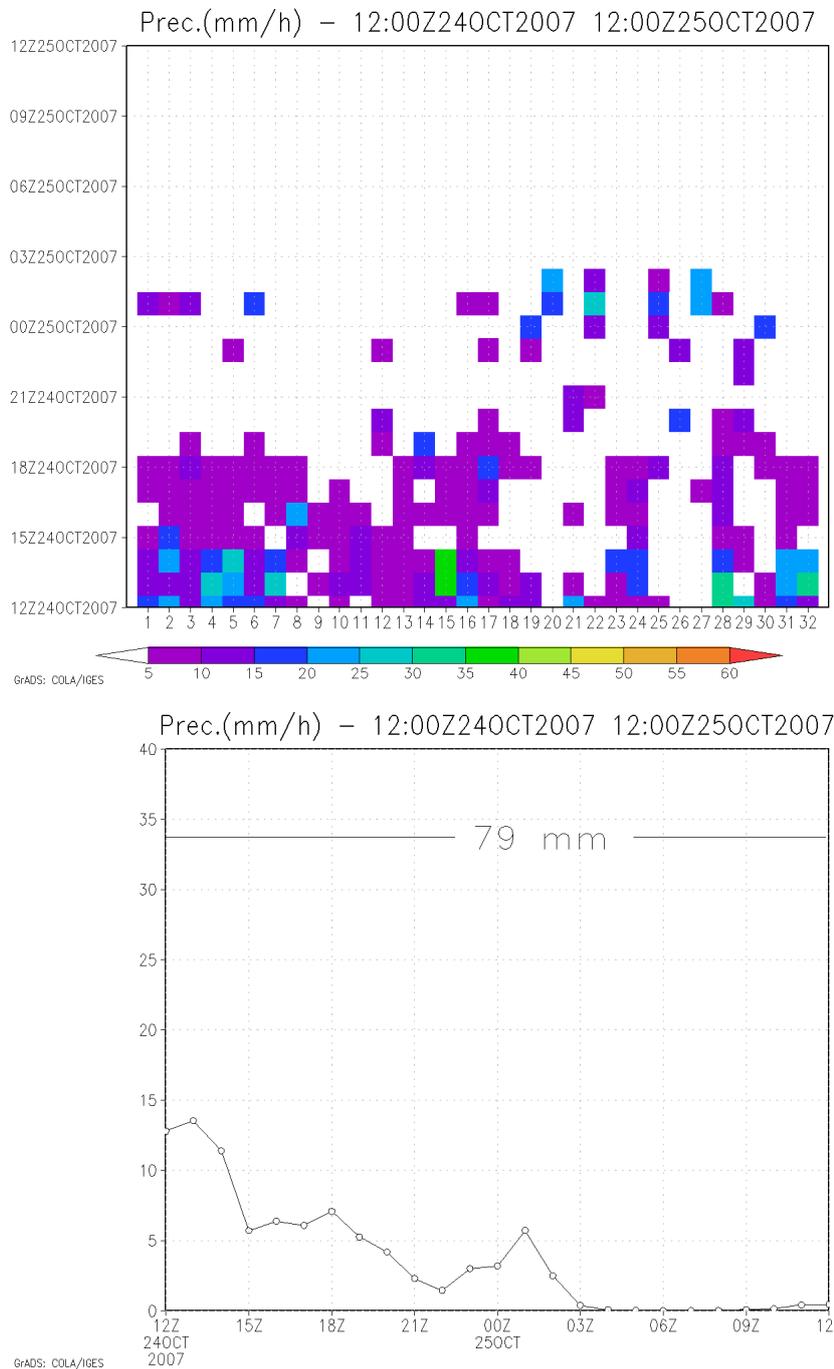


Figura A.20 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 25 de outubro de 2007.

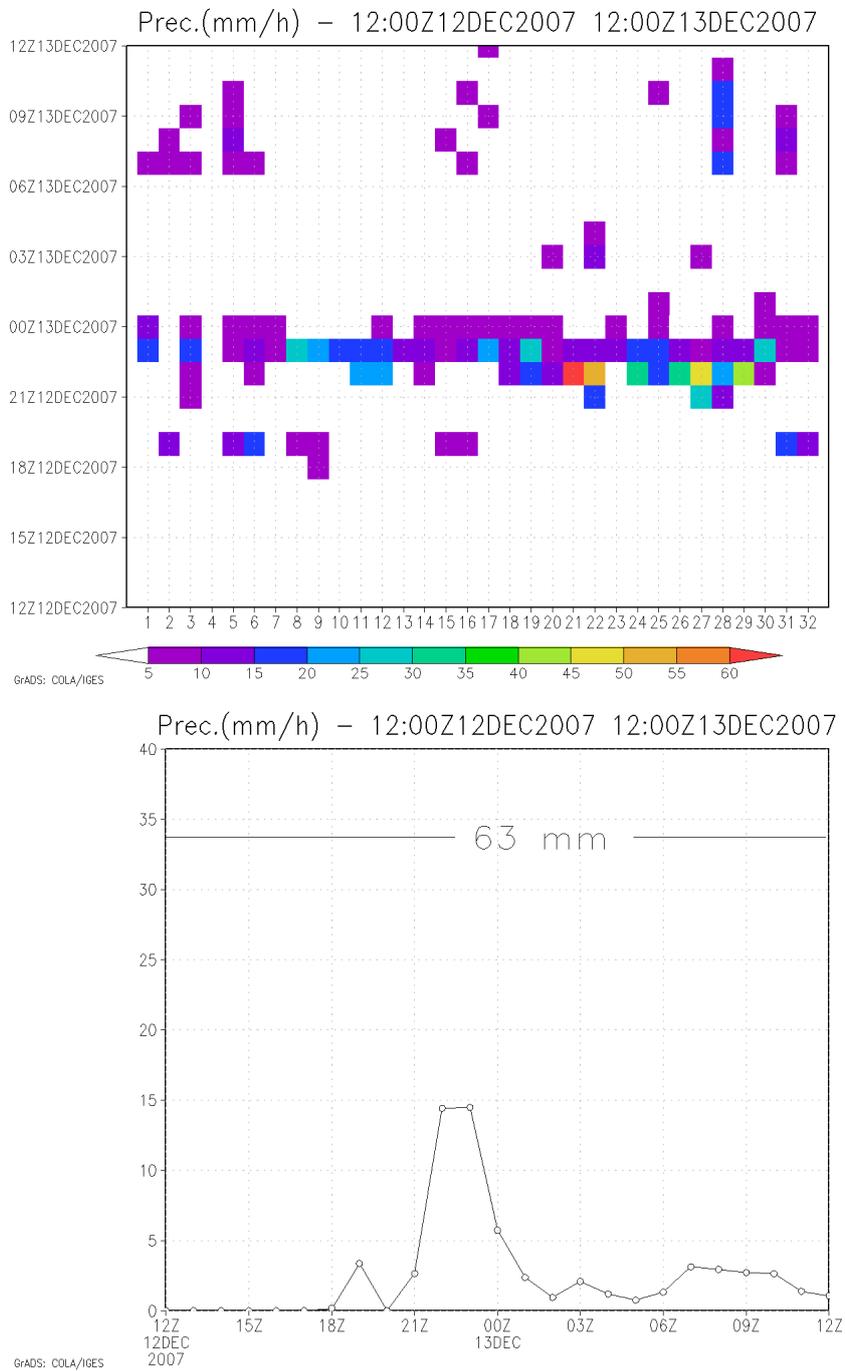


Figura A.21 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 13 de dezembro de 2007.

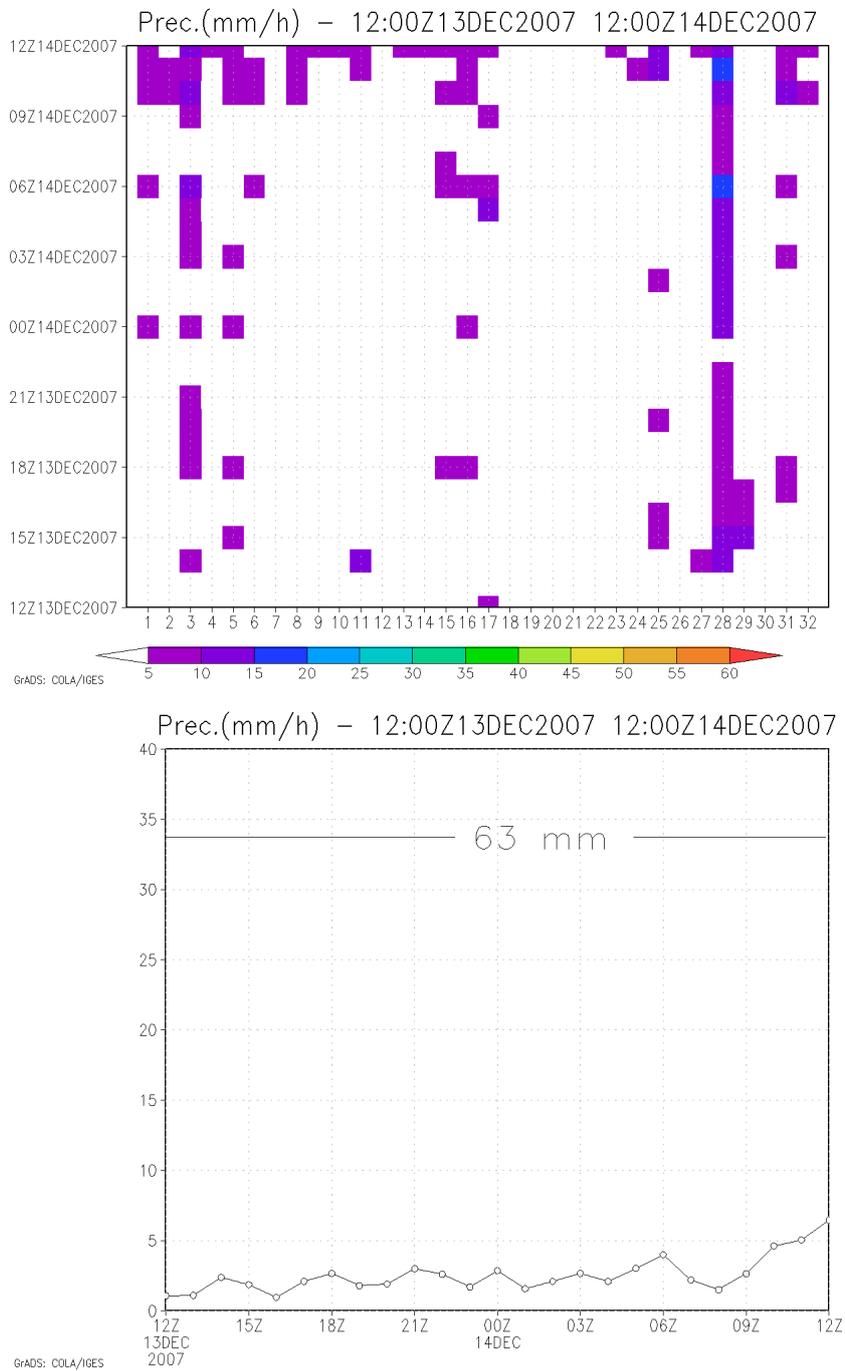


Figura A.22 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 14 de dezembro de 2007.

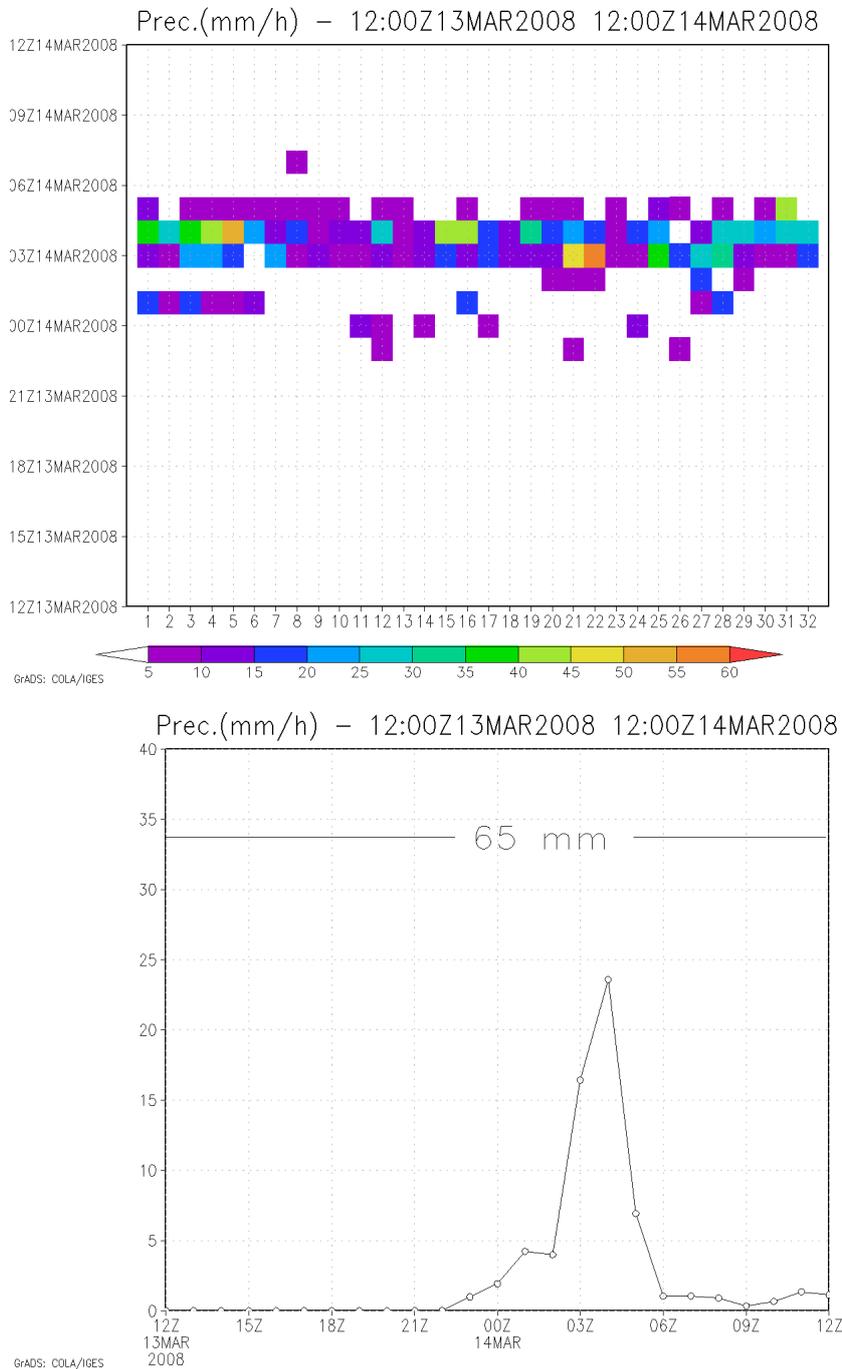


Figura A.23 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 14 de março de 2008.

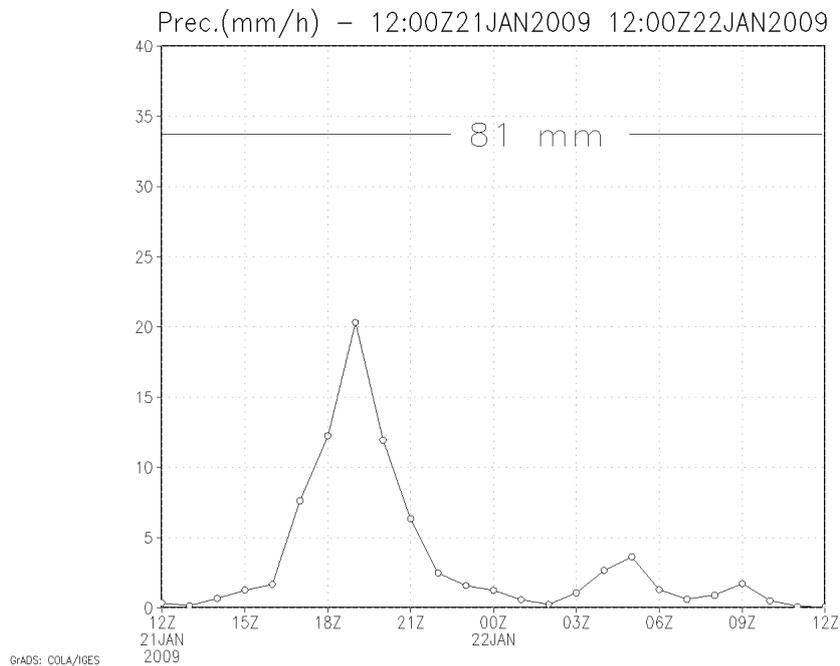
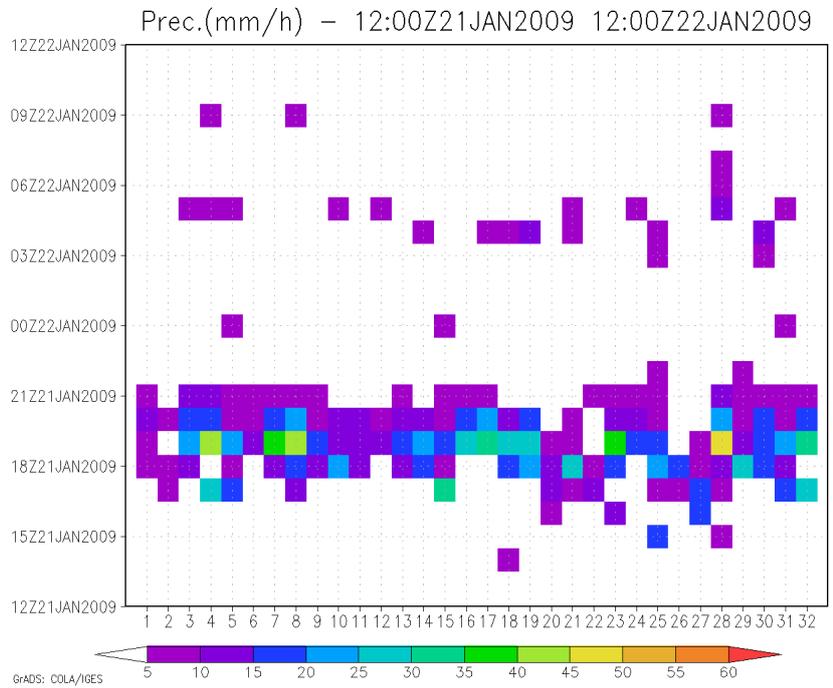


Figura A.24 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 22 de janeiro de 2009.

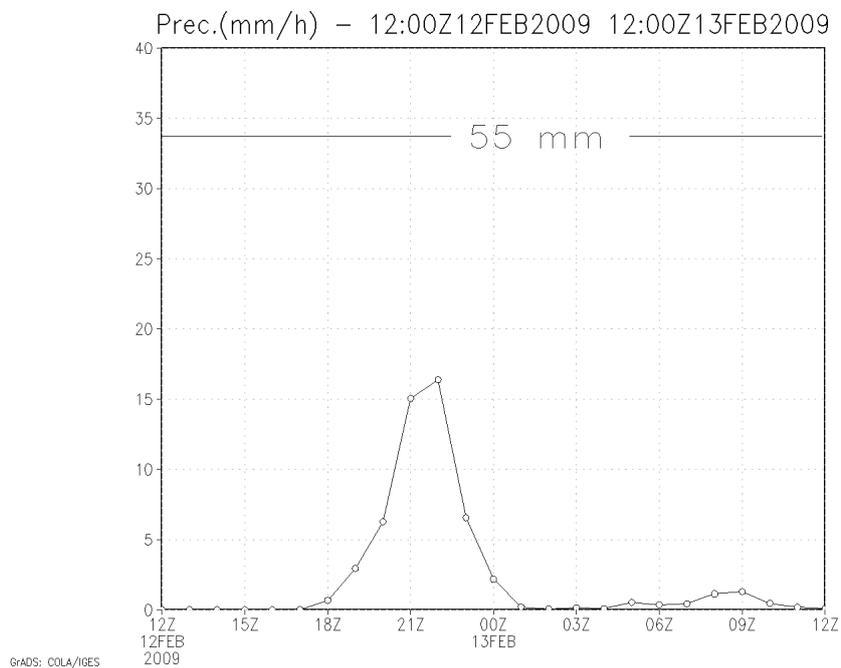
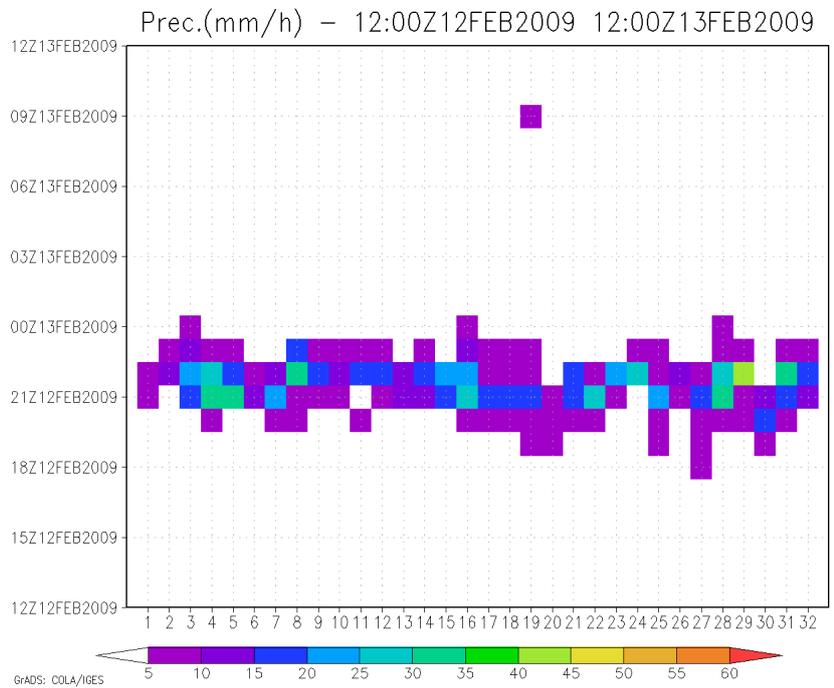


Figura A.25 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 12 de fevereiro de 2009.

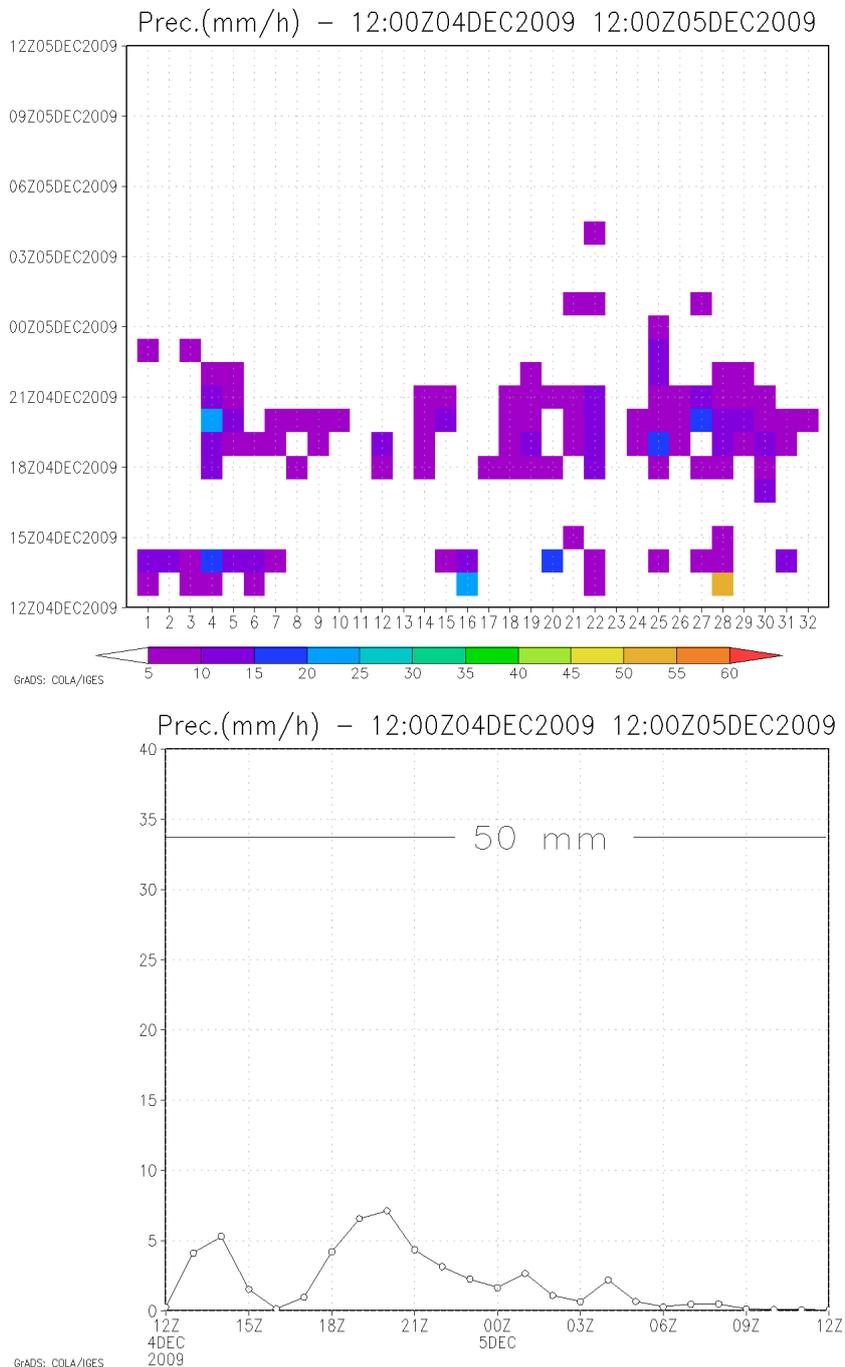


Figura A.26 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 05 de dezembro de 2009.

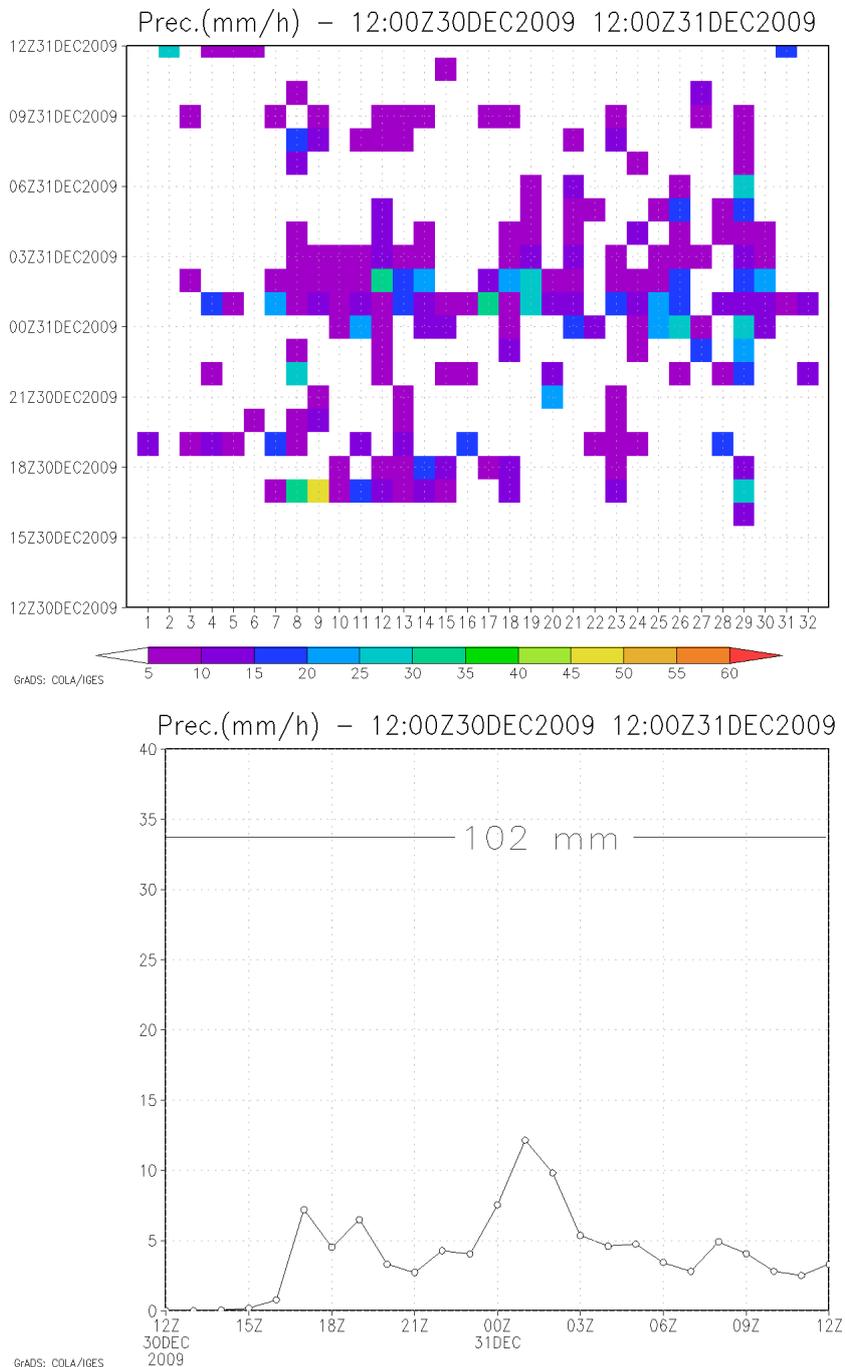


Figura A.27 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 31 de dezembro de 2009.

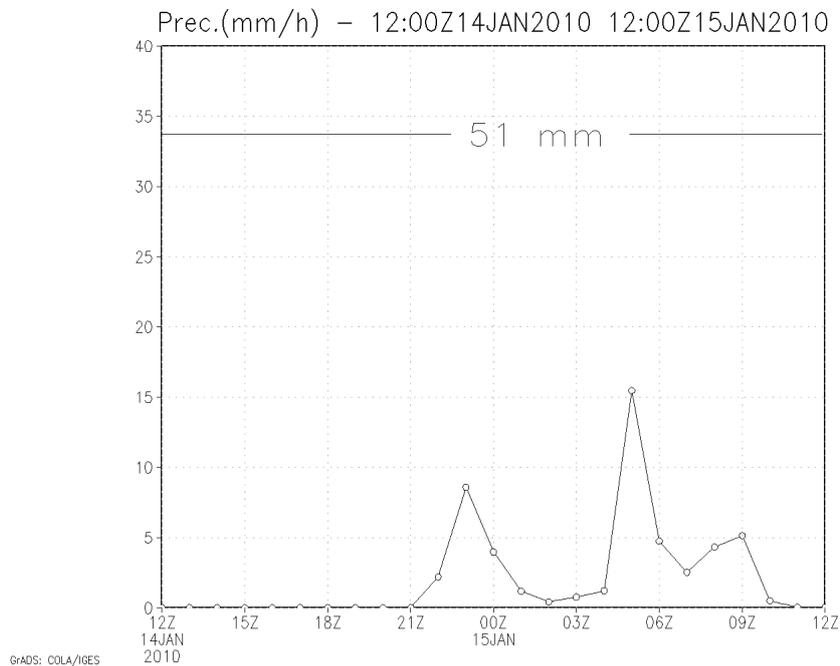
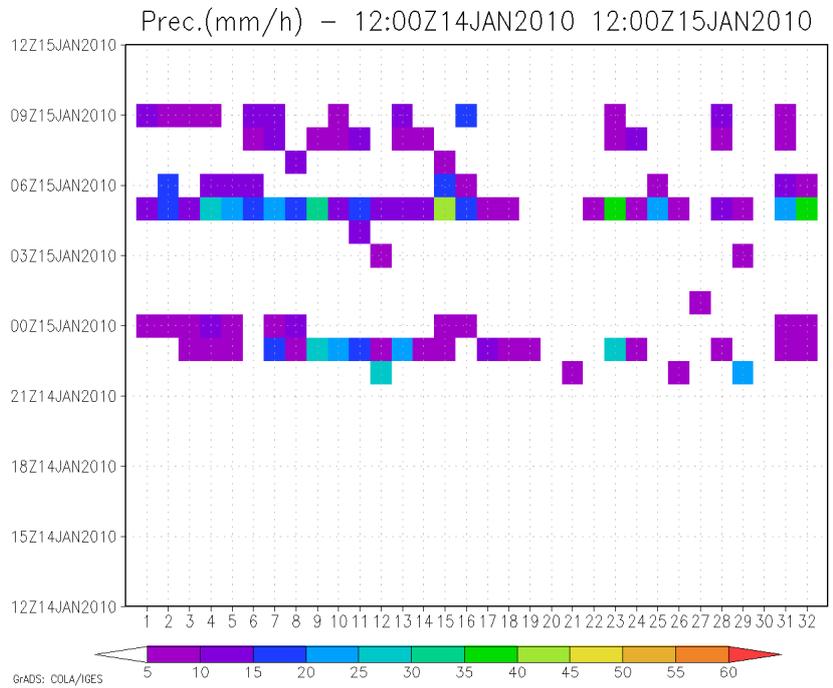


Figura A.28 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 15 de janeiro de 2010.

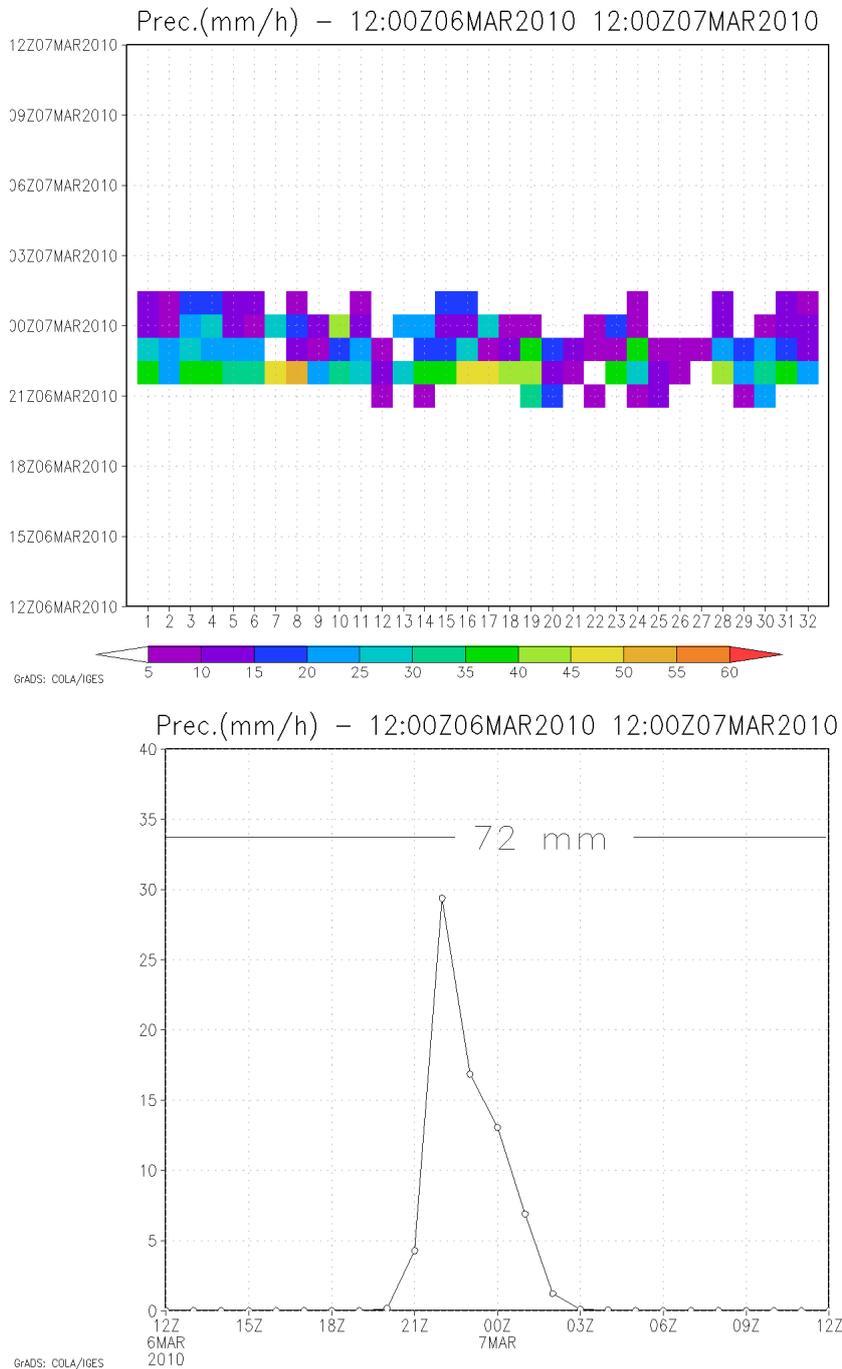


Figura A.29 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 07 de março de 2010.

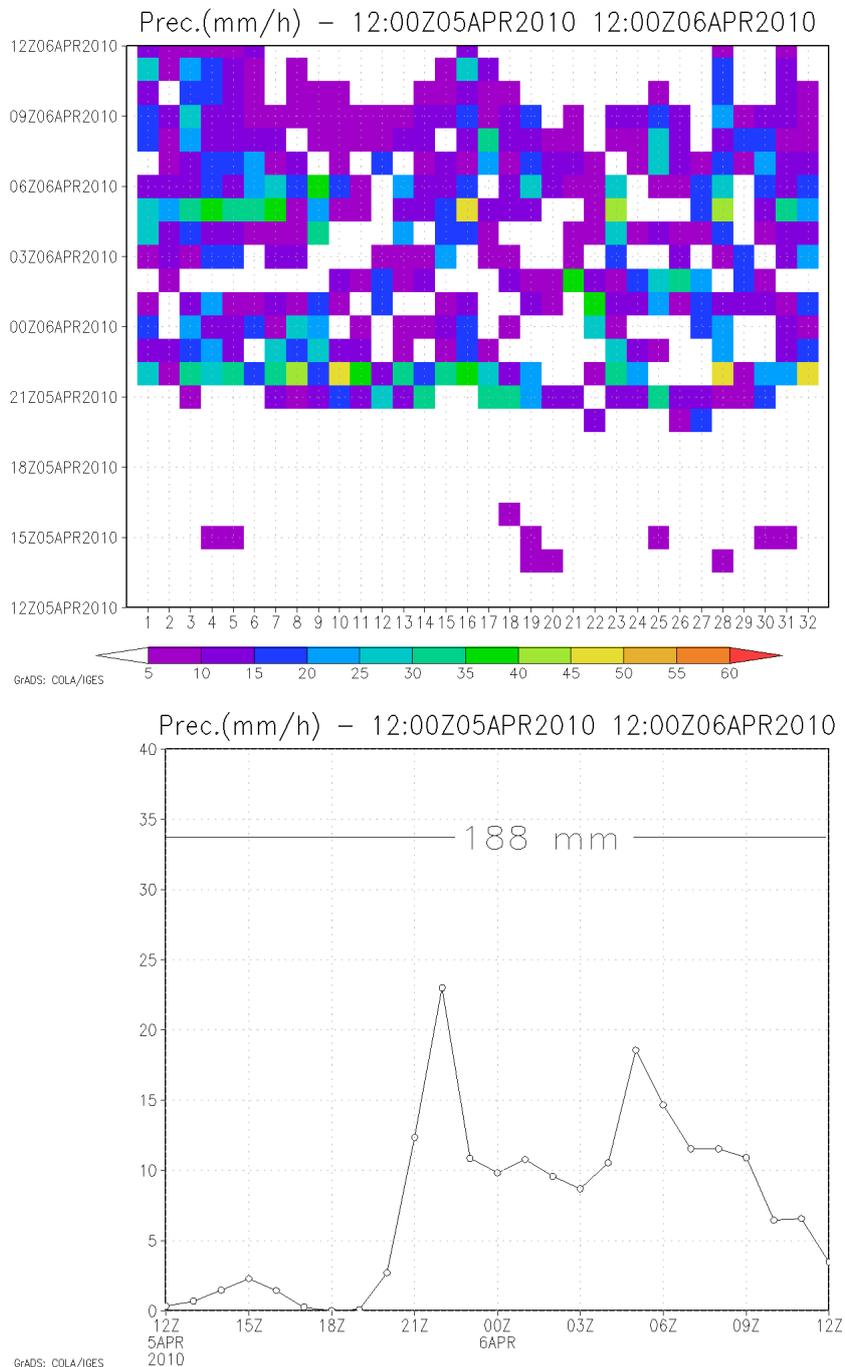


Figura A.30 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 06 de abril de 2010.

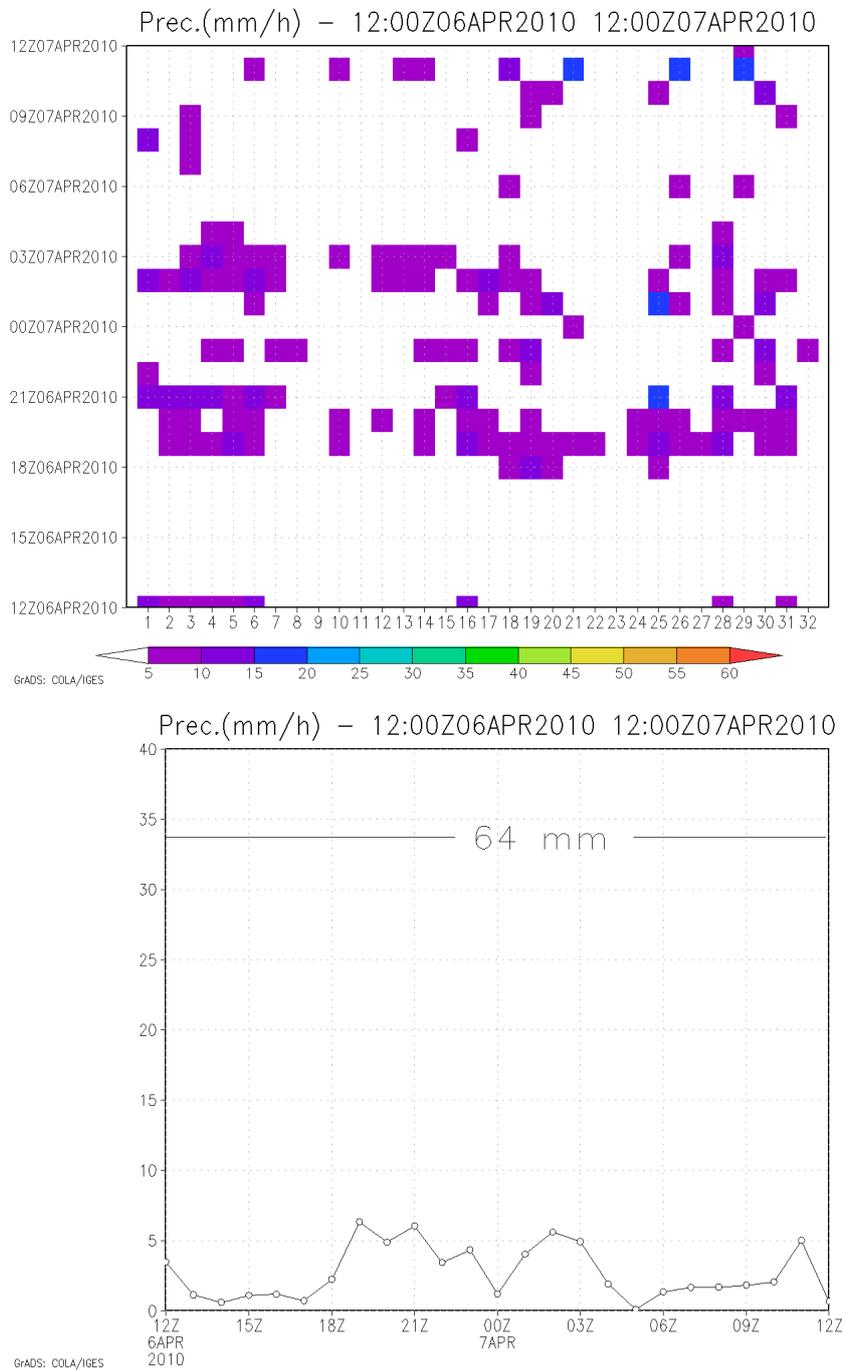


Figura A.31 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 07 de abril de 2010.

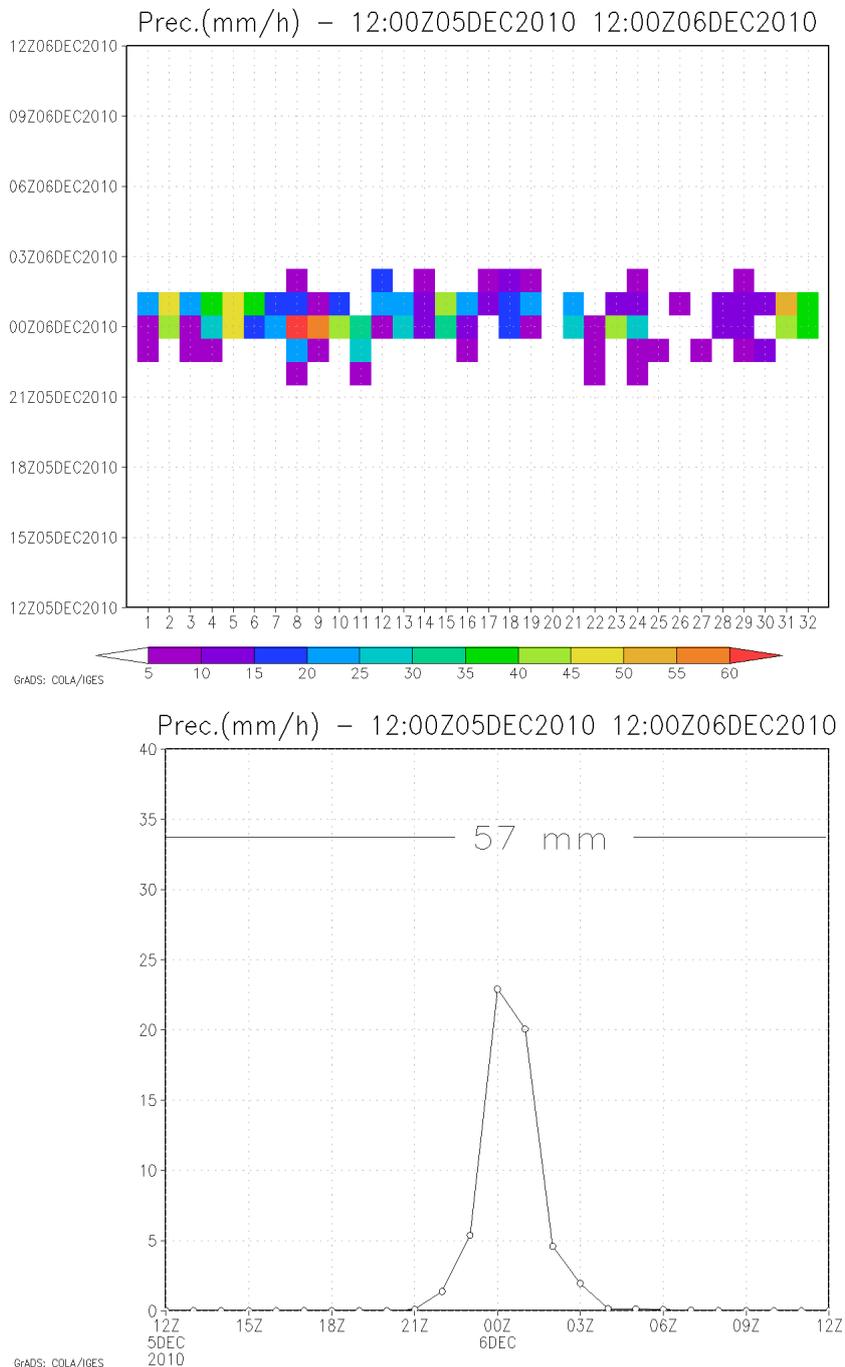


Figura A.32 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** em cada um dos 32 pluviômetros da GEORIO (acima) e a média nos mesmos 32 pluviômetros (abaixo) para o evento de 06 de dezembro de 2010.



**APÊNDICE B - EVENTOS EXTREMOS DE CHUVA NA CIDADE  
DO RIO DE JANEIRO DE 2000 A 2010 - OBSERVAÇÃO VERSUS  
PREVISÃO**

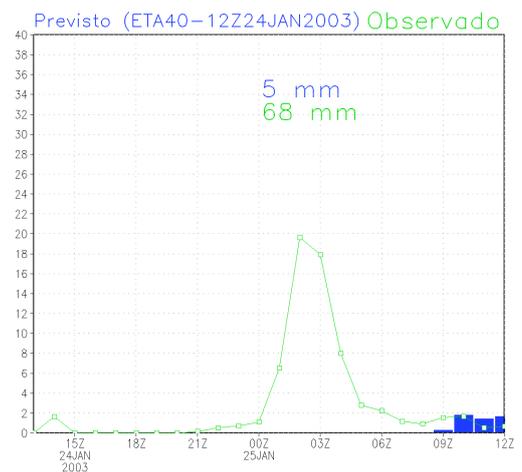
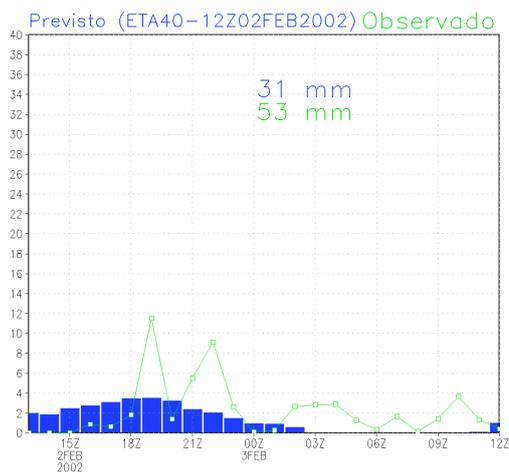
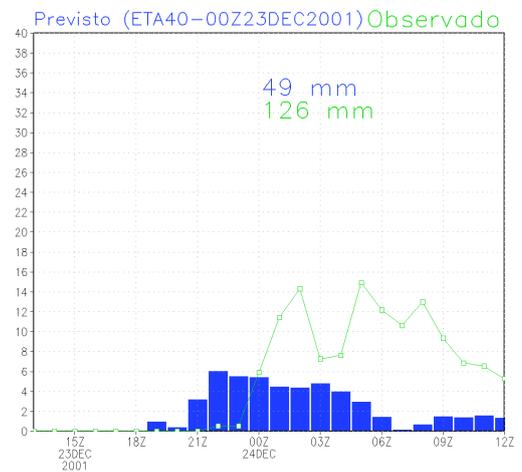
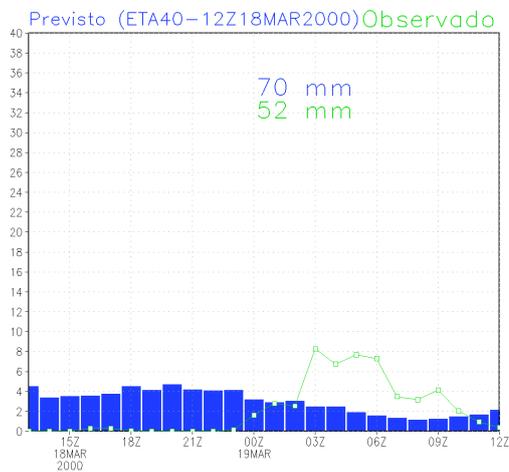
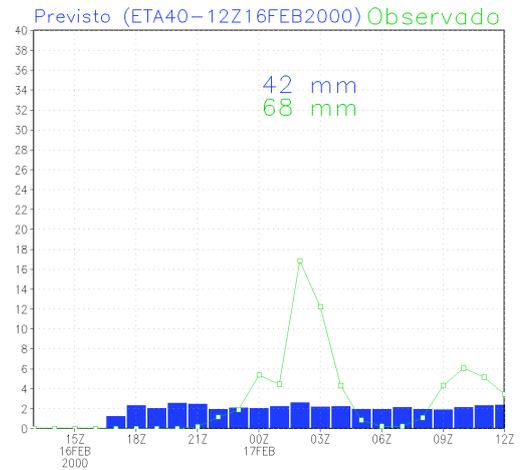
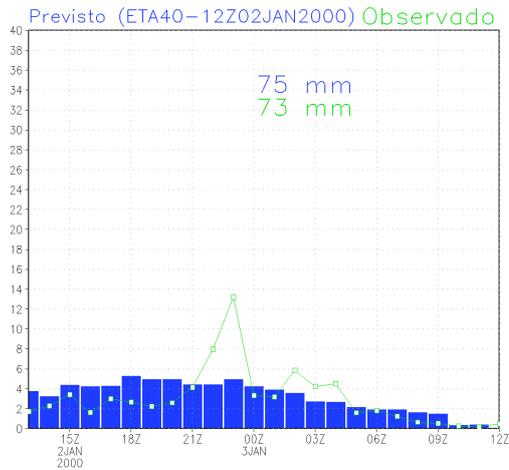


Figura B.1 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** (linha verde) e **Prevista - Modelo Atmosférico INPE/CPTEC/ETA40 - (43.16W;22.90S)** (barras azuis) para os eventos Extremos de Chuva no Rio de Janeiro desde janeiro de 2000 a janeiro de 2003 - Período dos **Padrões**

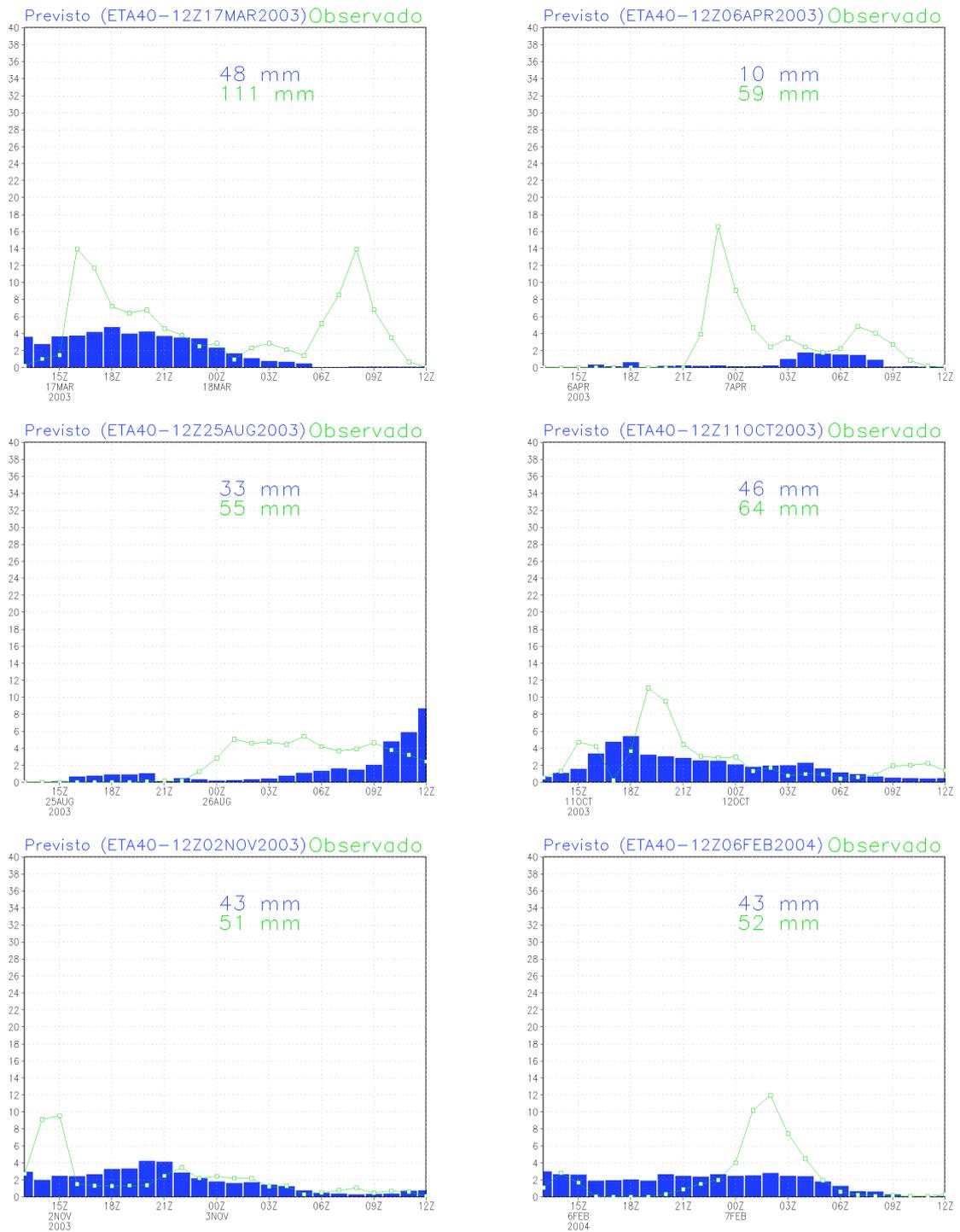


Figura B.2 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** (linha verde) e **Prevista - Modelo Atmosférico INPE/CPTEC/ETA40 - (43.16W;22.90S)** (barras azuis) para os eventos Extremos de Chuva no Rio de Janeiro desde fevereiro de 2003 a dezembro de 2004 - Período dos **Padrões**

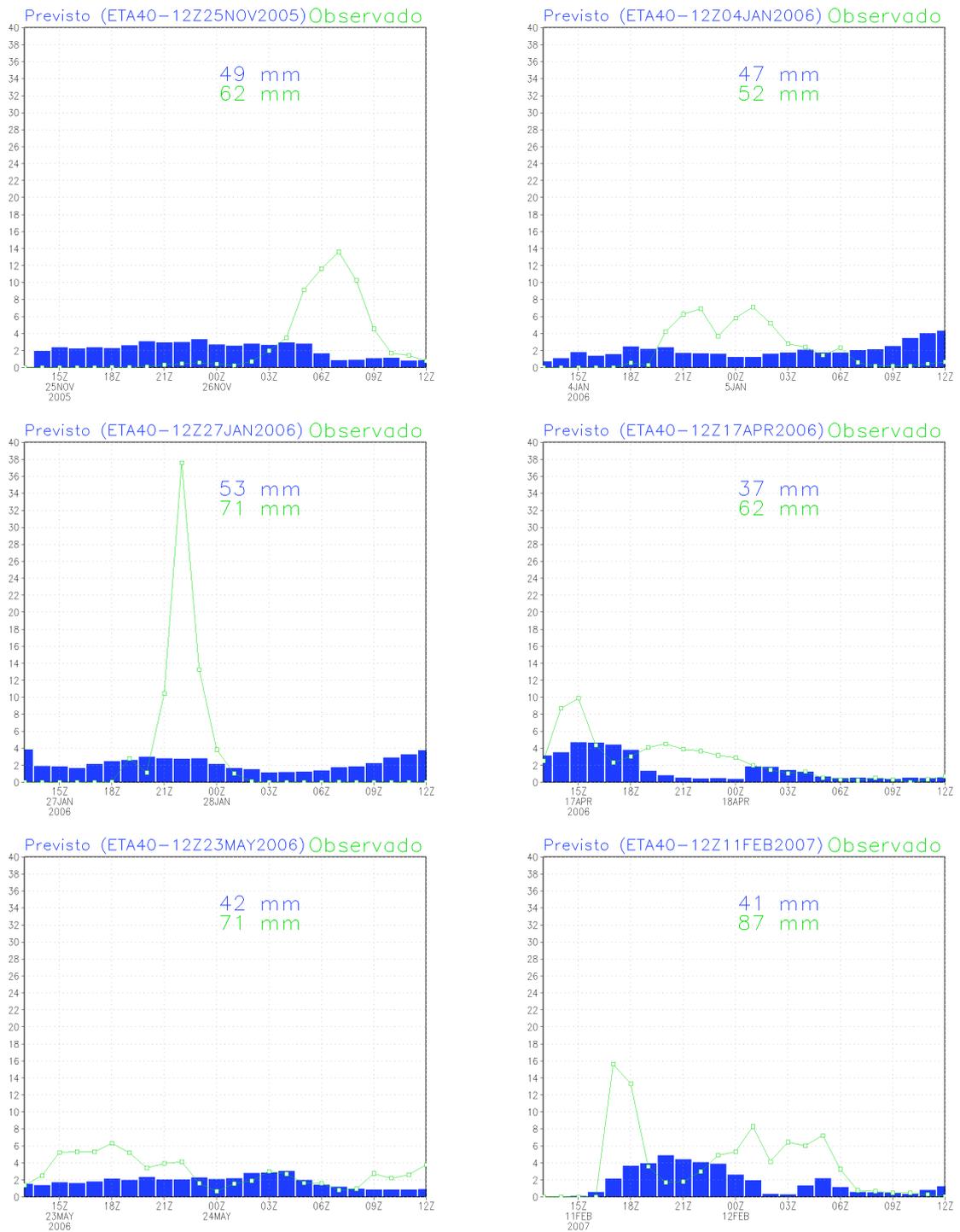


Figura B.3 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** (linha verde) e **Prevista - Modelo Atmosférico INPE/CPTEC/ETA40 - (43.16W;22.90S)** (barras azuis) para os eventos Extremos de Chuva no Rio de Janeiro desde janeiro de 2005 a setembro de 2007 - Período dos **Padrões**

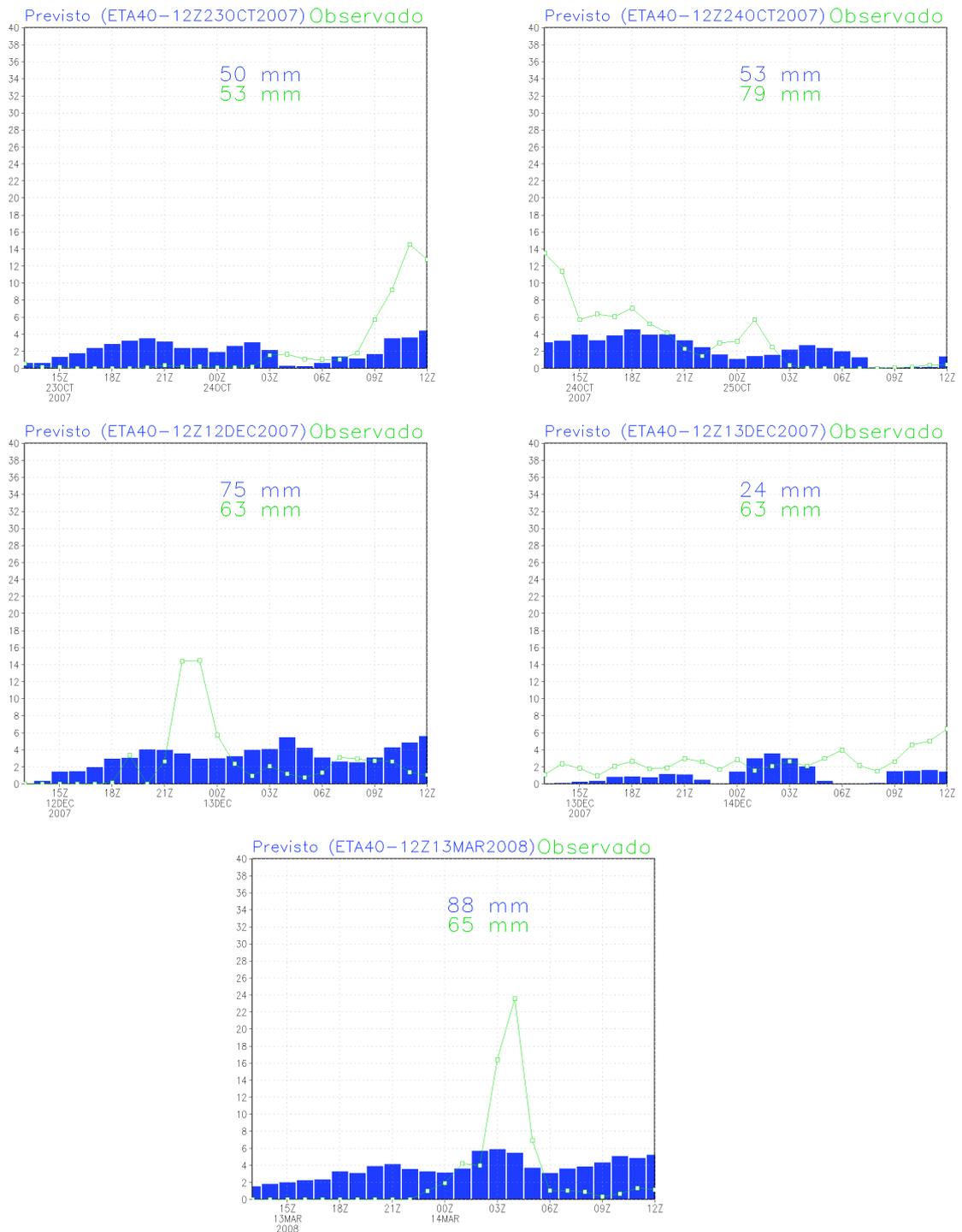


Figura B.4 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** (linha verde) e **Prevista - Modelo Atmosférico INPE/CPTEC/ETA40 - (43.16W;22.90S)** (barras azuis) para os eventos Extremos de Chuva no Rio de Janeiro desde outubro de 2007 a dezembro de 2008 - Período dos **Padrões**

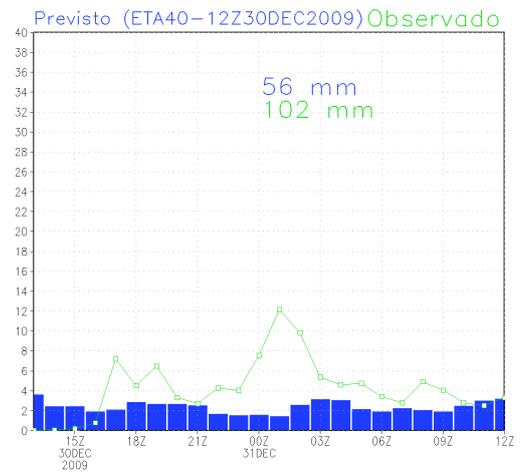
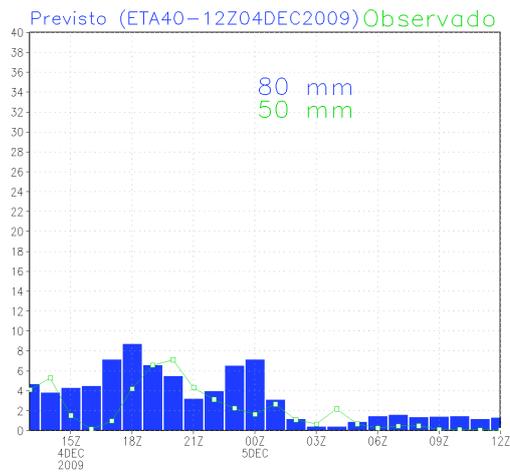
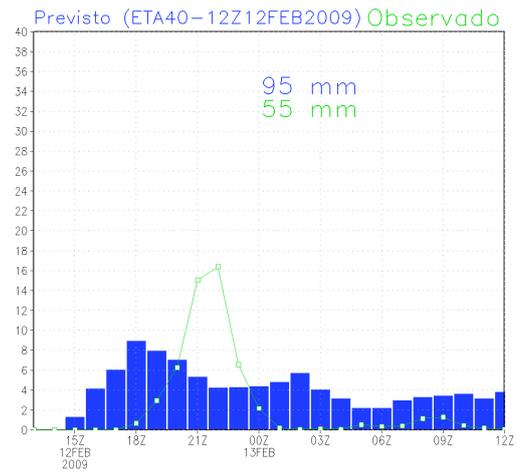
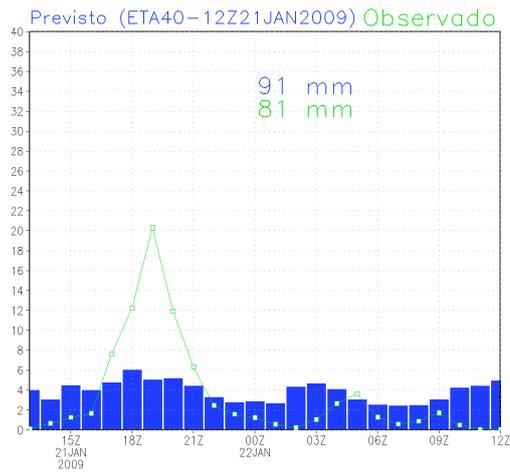


Figura B.5 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** (linha verde) e **Prevista - Modelo Atmosférico INPE/CPTEC/ETA40 - (43.16W;22.90S)** (barras azuis) para os eventos Extremos de Chuva no Rio de Janeiro em 2009 - Período dos **Candidatos**

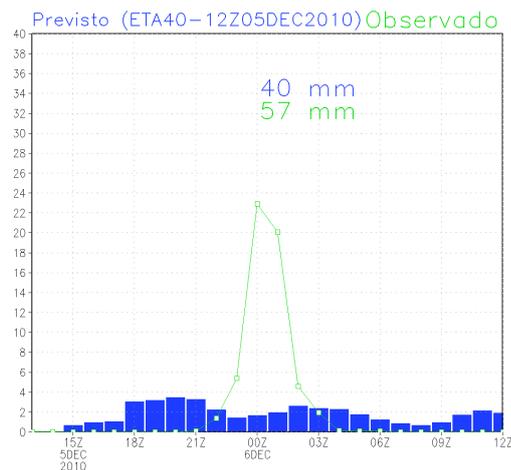
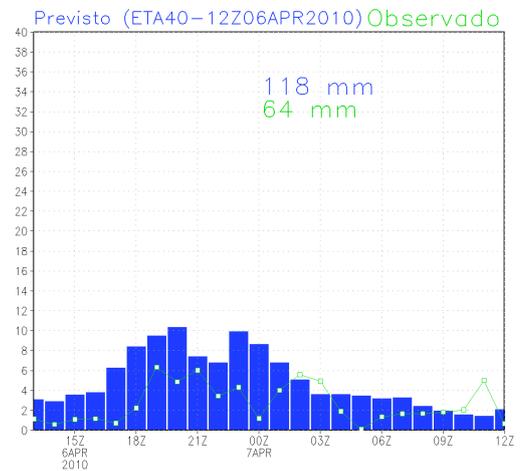
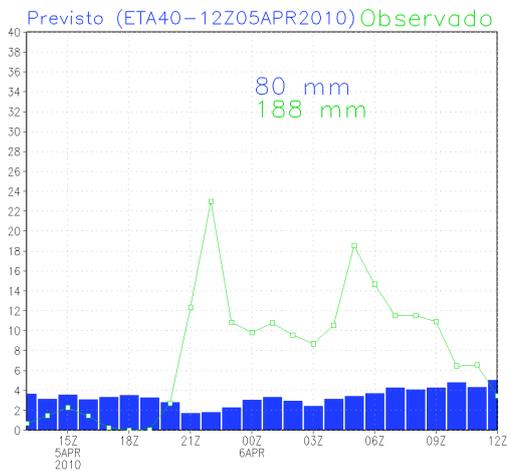
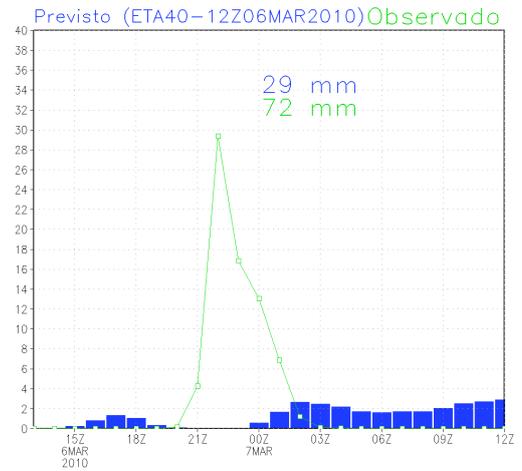
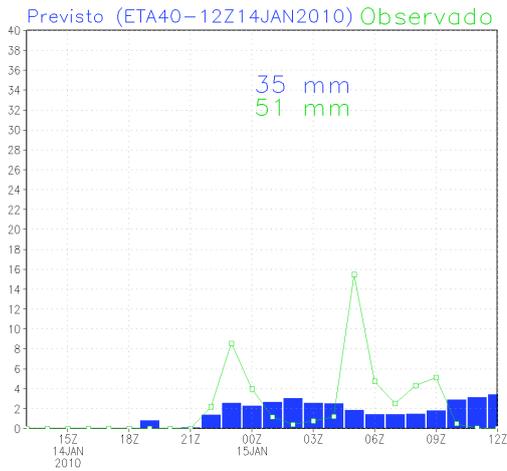


Figura B.6 - Precipitação Horária (mm/h) **Observada** (linha verde) e **Prevista - Modelo Atmosférico INPE/CPTEC/ETA40 - (43.16W;22.90S)** (barras azuis) para os eventos Extremos de Chuva no Rio de Janeiro em 2010 - Período dos **Candidatos**



## APÊNDICE C - CAMPOS ATMOSFÉRICOS de RH900+v10m PARA OS 32 EECs - 2000 a 2010

As figuras a seguir apresentam campos do modelo ETA40 da combinação de umidade relativa em 900 hPa e vento meridional a 10 m para o domínio A2 (RH900+V10M-A2), a qual apresentou os melhores resultados quando utilizada pelo MeDPAt para a detecção de evento extremos de chuva (EEC) no Rio de Janeiro (para mais detalhes vide Seção 3.2). Os campos atmosféricos dos anos de 2000 a 2008 foram utilizados como *padrões* para que o MeDPAt os detectasse no período seguinte (2009-2010), para o qual os EECs foram chamados de *candidatos*. A escolha dos prazos de previsão e respectivas rodadas para os *padrões* e *candidatos* é diferente (para mais detalhes vide seção 2.2.1).

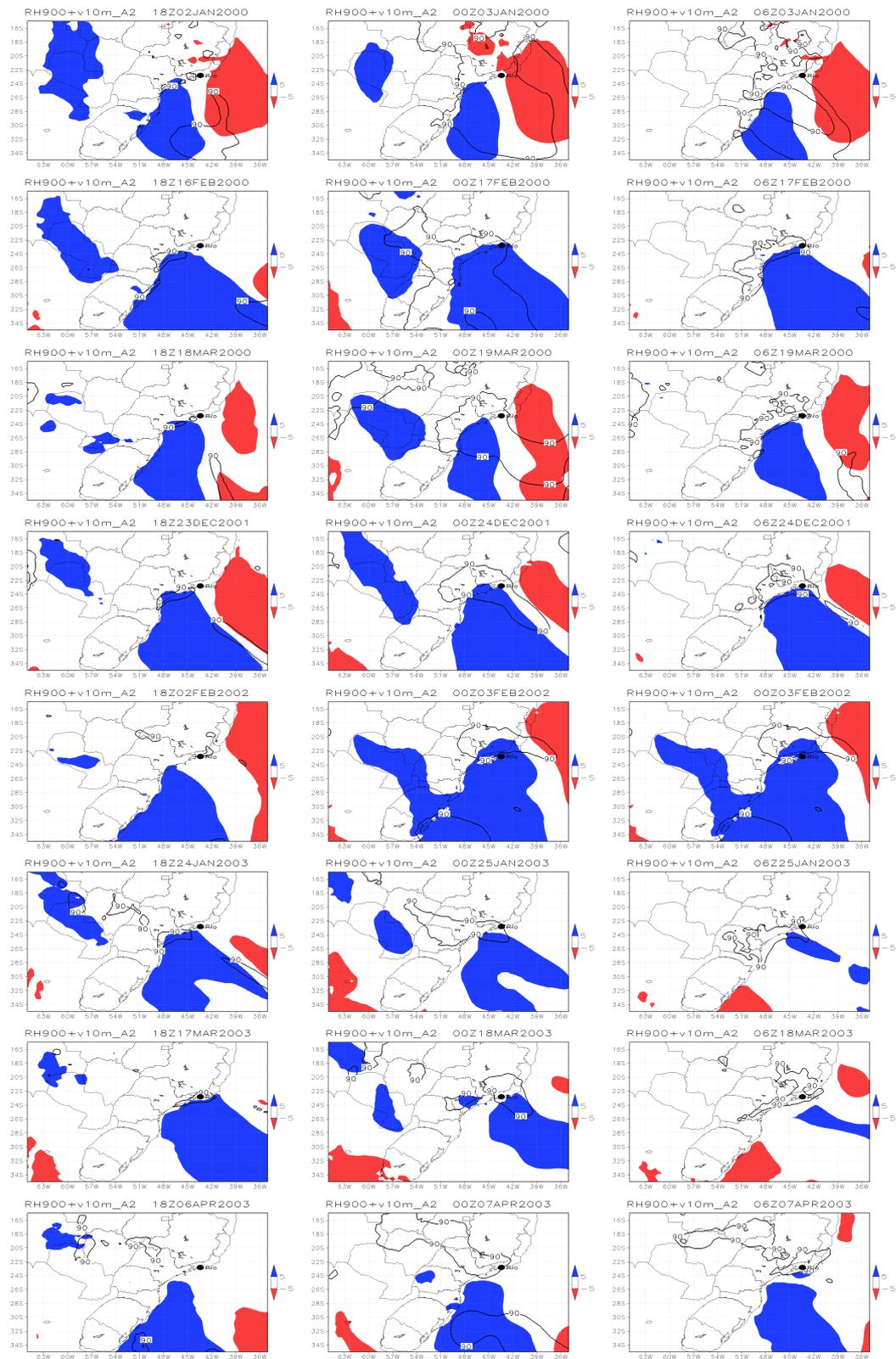


Figura C.1 - Campos do Modelo ETA40 de rh900+v10m\_A2 desde Janeiro de 2000 até Abril de 2003. Todos são **PADRÕES**.

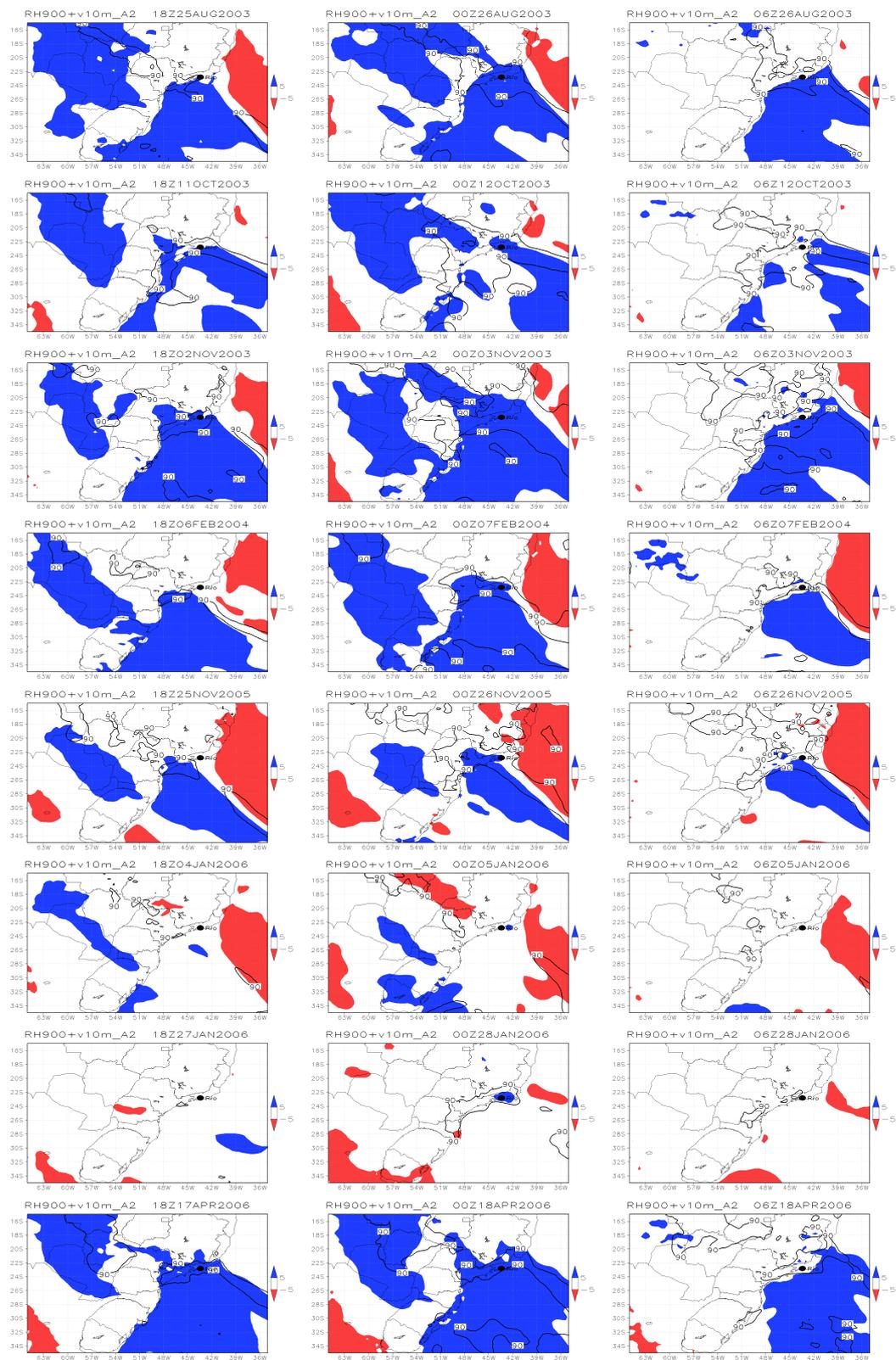


Figura C.2 - Campos do Modelo ETA40 de rh900+v10m\_A2 desde Agosto de 2003 até Abril de 2006. Todos são **PADRÕES**.

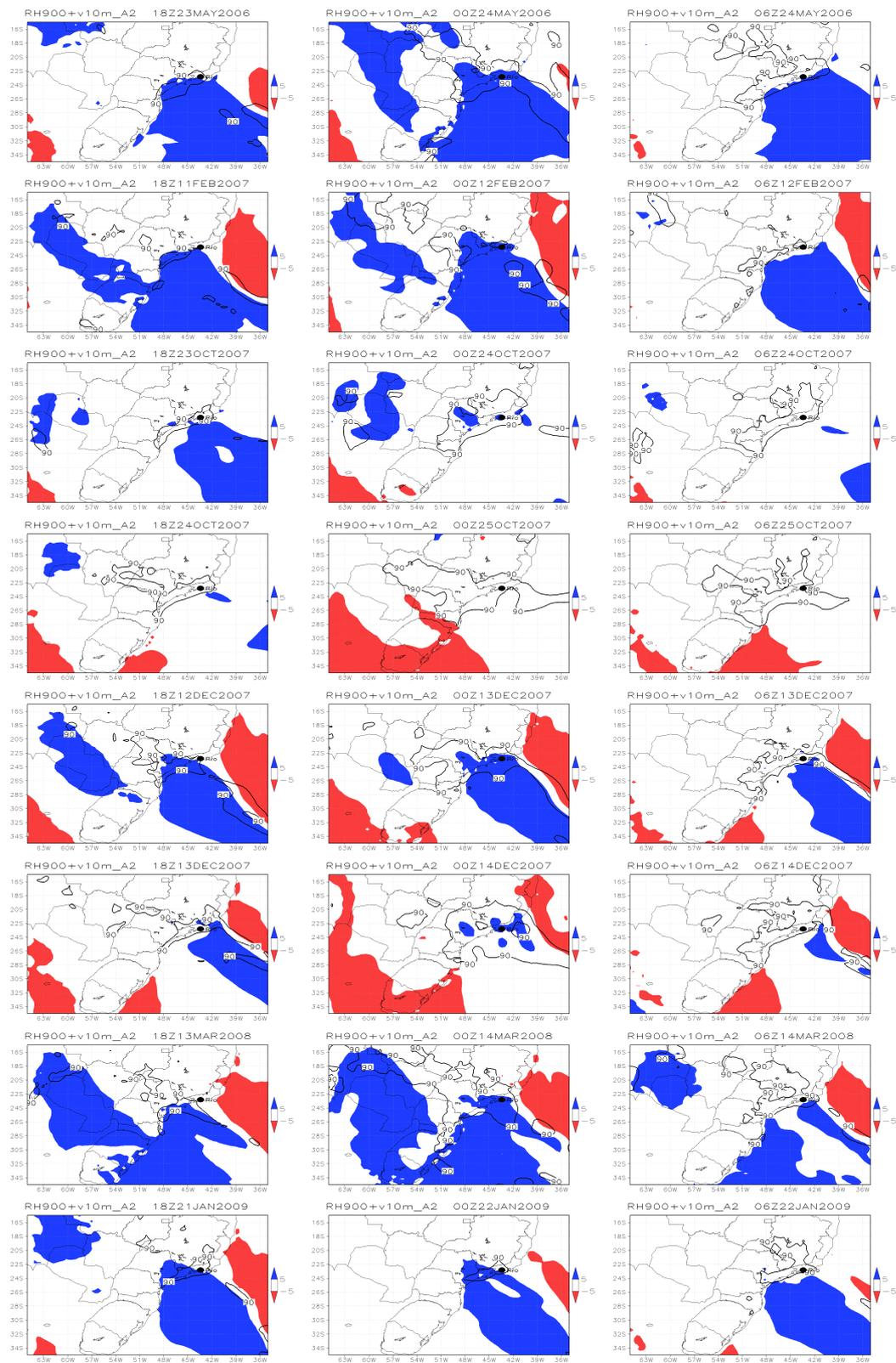


Figura C.3 - Campos do Modelo ETA40 de rh900+v10m\_A2 desde Maio de 2006 até Janeiro de 2009. Todos são **PADRÕES**, com exceção dos campos de 2009 que são **CANDIDATOS**.

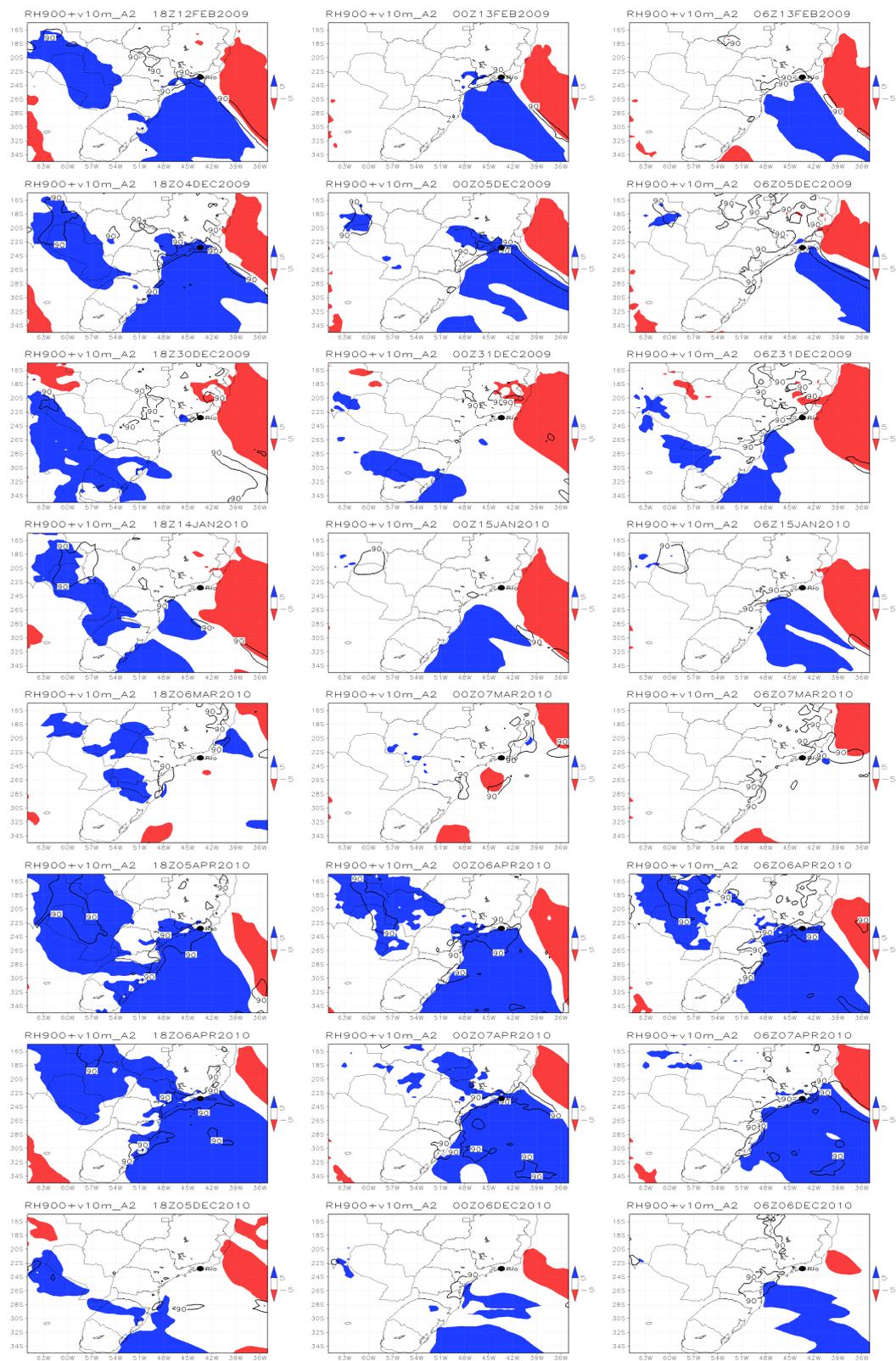


Figura C.4 - Campos do Modelo ETA40 de rh900+v10m\_A2 desde Fevereiro de 2009 até Dezembro de 2010. São todos **CANDIDATOS**.



## APÊNDICE D - QUESTIONÁRIO APLICADO NO MÉTODO DE DECISÕES CRÍTICAS (CDM)

Questionário utilizado no CDM aplicado pelo G2 no Caso 1 com o previsor M1B.

### D.1 Fase 1

- a) Qual sua participação neste evento (testemunha, executor, tomador de decisão)?
- b) Como se inicia a história ?
- c) O que aconteceu exatamente antes disso?
- d) Como termina a história?
- e) O que aconteceu exatamente depois disso?

### D.2 Fase 2

- a) Como você notou isso?
- b) Como é este processo?
- c) Em que região da cidade?

### D.3 Fase 3

- Quais informações você utilizou para esta tomada de decisão?
- O que cada uma dessas informações disse para você?
- Com o erro dos modelos para o período da manhã, como você poderia confiar neles para o período da tarde?
- Você criou uma espécie de imagem mental do que ocorreria?
- Como era essa imagem?
- Você se lembrou de alguma experiência anterior?
- O que desta experiência pareceu relevante?

- Como você sabia que poderia diminuir (ou até desconsiderar) o peso do modelo ETA20 nesta situação?
- Esta decisão foi baseada em outra ocorrência semelhante?
- Com que frequência esse tipo de desvio ocorre?
- Existe alguma regra para isso?
- Quais informações do modelo Global T126L28 ajudaram a diminuir (ou desconsiderar) o peso do modelo ETA20?
- Estas mesmas informações são utilizadas em outras situações para confrontar os dois modelos?
- Algum outro modelo foi consultado nessa ocasião?
- Havia a possibilidade das áreas de instabilidade mencionadas provocarem chuva pela manhã?
- Quais variáveis do modelo Global T126L28 forneceram os ndícios de que choveria no fim da tarde e início da noite?
- Como foi feita esta interpretação?
- Sabendo que o modelo ETA20 tinha falhado ao indicar chuva para o período da manhã, este ainda assim foi considerado para o restante do dia. Por que?
- Como você sabia que estava tomando a decisão correta naquele momento?
- O que você observou para detectar o deslocamento do sistema meteorológico de São Paulo para o Rio de Janeiro?
- Por que usa esta imagem de infravermelho realçada? qual a contribuição dela?
- Como você utilizou essa informação na sua análise?
- Este deslocamento se enquadra em um caso típico?
- Quais informações foram mais relevantes para a decisão de alterar o estágio neste momento?

- Como você sabia que deveria alterar o estágio para todo o Município?
- Foi seguida alguma orientação?
- Você avaliou as possíveis consequências dessa decisão?
- Por que você rejeitou a opção de não alterar o estágio?
- Como você sabia que havia possibilidade de chover ainda?
- O que mais te influenciou a analisar dessa forma?
- Imagine que você tenha que explicar esta situação para outra pessoa. Como você relataria isso?
- Havia algum tipo de pressão sobre essa decisão?
- Quais outras opções você avaliou antes de decidir isso?
- Por que estas opções não eram melhores do que a decisão tomada?

#### D.4 Fase 4

- a) Se alguma dessas informações estivesse indisponível o que você faria?
- b) Essa imagem poderia ser diferente se você tivesse menos experiência ? Como?
- c) Quando seria o último momento?
- d) Um meteorologista menos experiente poderia ter outra linha de raciocínio?
- e) Como você diria que a sua experiência foi importante na análise?
- f) Que treinamento ou conhecimento você acha que poderia fornecer vantagem para esta análise?
- g) Sem alguma dessas informações seria possível alterar o estágio de alerta?
- h) A existência de orientações é útil para esse tipo de atividade?
- i) Meteorologistas menos (ou mais) experientes poderiam ter tomado decisões diferentes?
- j) Que ferramentas, conhecimento ou informações teriam sido úteis para auxiliar esta decisão?



## **ANEXO A - PROCEDIMENTOS, CRITÉRIOS E FORMULÁRIOS DO ALERTARIO PARA APOIO À TOMADA DE DECISÃO**

### **A.1 Procedimentos do AlertaRio para Auxílio à Tomada de Decisão**

**Critérios para se definir um evento chuvoso:**

Um evento chuvoso será considerado **significativo** quando os critérios abaixo forem atingidos:

| Bacia             | Precipitação             |                          |                         |
|-------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
|                   | > 5 mm/h                 | > 10 mm/h                | > 25 mm/h               |
| Baía de Guanabara | em pelo menos 5 estações | em pelo menos 2 estações | em pelo menos 1 estação |
| Zona Sul          | em pelo menos 3 estações |                          |                         |
| Jacarepaguá/Barra |                          |                          |                         |
| Baía de Sepetiba  |                          |                          |                         |

Caso seja evento, considerar a hora do início do evento, a partir do momento em que a estação apresentar um acumulado **maior ou igual** a 1 mm/h. O final do evento Serpa definido a partir do momento em que a chuva for **menor** que 1 mm/h, e permanecer assim num intervalo de 6h.

Figura A.1 - Critérios para se definir um evento chuvoso.  
Fonte: AlertaRio.



QUADRO 1 PLANO DE MONITORAMENTO DE CHUVAS INTENSAS

| Estágio   | Descrição       |   | Procedimentos Operacionais  |
|---|-----------------|---|---|
| <b>Vigilância</b>   | Todas as Bacias | Previsão de ausência de chuva ou registro de precipitação de até 8 mm/h, com pouca a nenhuma possibilidade de intensificação para as próximas 3h.   | Acompanhamento, organização, análise e atualização das informações que chegam ou que são geradas na Estação Central.  |
| <b>Atenção</b><br>Baixa a Média probabilidade de ocorrência de alagamentos e deslizamentos isolados | Zona Oeste      | Previsão de chuva para as próximas 3h com intensidade entre 12 e 30 mm/h ou registro, na última meia hora, de chuva acumulada entre 12 e 30 mm em 2 ou mais estações na bacia com possibilidade de continuidade / intensificação nas próximas 3h. | Comunicação via rádio ao Grupo de Ação <sup>1</sup> sobre a entrada em vigência do estágio de Atenção, eventualmente com informações complementares (provável duração do evento, região da Cidade com maior ameaça, etc).   |
|   | Demais Bacias   | Previsão de chuva para as próximas 3h com intensidade entre 8 e 22 mm/h ou registro, na última meia hora, de chuva acumulada entre 8 e 22 mm em 2 ou mais estações por bacia com possibilidade de continuidade / intensificação nas próximas 3h.  | Acompanhamento, análise e atualização das informações que chegam ou que são geradas na Estação Central.   |
| <b>Alerta</b><br>Alta probabilidade de ocorrência de alagamentos e deslizamentos isolados           | Zona Oeste      | Previsão de chuva para as próximas 3h com intensidade acima de 30 mm/h ou registro, na última meia hora, de chuva acumulada acima de 30 mm em 2 ou mais estações na bacia com possibilidade de continuidade / intensificação nas próximas 3h.     | Comunicação via rádio ao Grupo de Ação sobre a entrada em vigência do estágio de Alerta, eventualmente com informações complementares.  |
|   | Demais Bacias   | Previsão de chuva para as próximas 3h com intensidade acima de 25 mm/h ou registro, na última meia hora, de chuva acumulada acima de 22 mm em 2 ou mais estações por bacia com alta probabilidade de intensificação nas próximas 3h.              | Emissão do Boletim de Alerta de Chuvas Intensas através de fax para estações de rádio e TV. Comunicação - via telefone - para estação de TV com maior audiência.<br>Acompanhamento, análise e atualização das informações que chegam ou que são geradas na Estação Central. |
| <b>Alerta Máximo</b><br>Ocorrência de alagamentos e deslizamentos generalizados                     | Zona Oeste      | Alta probabilidade de intensificação para a próxima hora e registro, nas últimas 2h, de precipitação contínua com intensidade acima de 40 mm/h.   | Comunicação via rádio ao Grupo de Ação sobre a entrada em vigência do estágio de Alerta Máxima, eventualmente com informações complementares.   |
|   | Demais Bacias   | Alta probabilidade de intensificação para a próxima hora e registro, nas últimas 2h, de precipitação contínua com intensidade acima de 30 mm/h.   | Acompanhamento, análise e atualização das informações que chegam ou que são geradas na Estação Central.   |
| Cancelamento  | Todas as Bacias | Ausência de chuva ou chuva de até 5 mm/h nas últimas 2h e previsão de ausência de chuva ou chuva de até 5 mm/h nas próximas 6h.   | Emissão (fax) do Boletim de Cancelamento de Alerta e sua comunicação via rádio ao Grupo de Ação.<br>Retorno ao estágio de Vigilância.   |

<sup>1</sup> Grupo de Ação: Integrantes das instituições públicas municipais (GEO-RIO, Defesa Civil, Rio Águas, Conservação, Trânsito, etc) que atuam diretamente durante as ocorrências dos temporais de modo a minimizar as consequências negativas destes fenômenos climáticos.

Figura A.2 - Quadro do Plano de Monitoramento de Chuvas Intensas.  
Fonte: AlertaRio.



SISTEMA ALERTA-RIO Ficha de Monitoramento

DIA: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ HORA(Z): \_\_\_\_\_ HORA LOCAL: \_\_\_\_\_ ESTÁGIO: \_\_\_\_\_

| Estação   | Direção Vento | Vel. Vento (KT) | Tempo Presente | Nuvens Baixas (Sup/060)              | T (°C) | Td (°C) | Pressão (hPa) | UR (%) | Tend. Press. (24h) |
|-----------|---------------|-----------------|----------------|--------------------------------------|--------|---------|---------------|--------|--------------------|
| SBCT      |               |                 |                |                                      |        |         |               |        |                    |
| SBSP      |               |                 |                |                                      |        |         |               |        |                    |
| SBST      |               |                 |                |                                      |        |         |               |        |                    |
| SBGL      |               |                 |                |                                      |        |         |               |        |                    |
| SBRJ      |               |                 |                |                                      |        |         |               |        |                    |
| SBAF      |               |                 |                |                                      |        |         |               |        |                    |
| SBJR      |               |                 |                |                                      |        |         |               |        |                    |
| SBSC      |               |                 |                |                                      |        |         |               |        |                    |
| Georio    |               |                 | XXXXXXXXXXXX   | XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX |        |         |               |        |                    |
| Guaratiba |               |                 | XXXXXXXXXXXX   | XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX |        |         |               |        |                    |

| PRECIPITAÇÕES MAIS INTENSAS (24 h) |                  | PRECIPITAÇÕES MAIS INTENSAS (1 h) |                  |
|------------------------------------|------------------|-----------------------------------|------------------|
| Estação                            | Intensidade (mm) | Estação                           | Intensidade (mm) |
|                                    |                  |                                   |                  |
|                                    |                  |                                   |                  |
|                                    |                  |                                   |                  |

RADAR: \_\_\_\_\_

INTERNET:  
 Mapas atualizados às \_\_\_\_\_ h  
 Relatórios e Scroll verificados

Previsão próximas 12h:  
 ETA: \_\_\_\_\_  
 Global: \_\_\_\_\_  
 DHN: \_\_\_\_\_  
 MMS: \_\_\_\_\_

1 - Ausência de chuva  
 2 - Chuva leve  
 3 - Chuva moderada  
 4 - Chuva forte  
 5 - Não disponível

OPERADOR RESPONSÁVEL  
 (Nome / Rubrica)  
 \_\_\_\_\_

DIA: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ HORA(Z): \_\_\_\_\_ HORA LOCAL: \_\_\_\_\_ ESTÁGIO: \_\_\_\_\_

| Estação   | Direção Vento | Vel. Vento (KT) | Tempo Presente | Nuvens Baixas (Sup/060)              | T (°C) | Td (°C) | Pressão (hPa) | UR (%) | Tend. Press. (24h) |
|-----------|---------------|-----------------|----------------|--------------------------------------|--------|---------|---------------|--------|--------------------|
| SBCT      |               |                 |                |                                      |        |         |               |        |                    |
| SBSP      |               |                 |                |                                      |        |         |               |        |                    |
| SBST      |               |                 |                |                                      |        |         |               |        |                    |
| SBGL      |               |                 |                |                                      |        |         |               |        |                    |
| SBRJ      |               |                 |                |                                      |        |         |               |        |                    |
| SBAF      |               |                 |                |                                      |        |         |               |        |                    |
| SBJR      |               |                 |                |                                      |        |         |               |        |                    |
| SBSC      |               |                 |                |                                      |        |         |               |        |                    |
| Georio    |               |                 | XXXXXXXXXXXX   | XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX |        |         |               |        |                    |
| Guaratiba |               |                 | XXXXXXXXXXXX   | XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX |        |         |               |        |                    |

| PRECIPITAÇÕES MAIS INTENSAS (24 h) |                  | PRECIPITAÇÕES MAIS INTENSAS (1 h) |                  |
|------------------------------------|------------------|-----------------------------------|------------------|
| Estação                            | Intensidade (mm) | Estação                           | Intensidade (mm) |
|                                    |                  |                                   |                  |
|                                    |                  |                                   |                  |
|                                    |                  |                                   |                  |

RADAR: \_\_\_\_\_

INTERNET:  
 Mapas atualizados às \_\_\_\_\_ h  
 Relatórios e Scroll verificados

Previsão próximas 12h:  
 ETA: \_\_\_\_\_  
 Global: \_\_\_\_\_  
 DHN: \_\_\_\_\_  
 MMS: \_\_\_\_\_

1 - Ausência de chuva  
 2 - Chuva leve  
 3 - Chuva moderada  
 4 - Chuva forte  
 5 - Não disponível

OPERADOR RESPONSÁVEL  
 (Nome / Rubrica)  
 \_\_\_\_\_

Figura A.3 - Ficha de Monitoramento das Condições Meteorológicas.  
 Fonte: AlertaRio.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO  
SISTEMA ALERTA RIO

MATRIZ DE AUXÍLIO À DECISÃO DE EMISSÃO DE BOLETIM DE ALERTA

| PARÂMETROS CONSIDERADOS  | Decisão de emissão do Boletim de Alerta                            |                |                |   |
|--|--|----------------|----------------|---|
|  | Favorável à ocorrência de transtornos associados a chuvas Intensas | Não conclusivo | Não disponível | Desfavorável à ocorrência de transtornos associados a chuvas Intensas |
| Previsão de chuva intensa ETA  |  |                |                |   |
| Previsão de chuva intensa GLOBAL   |  |                |                |   |
| Previsão de chuva intensa MM5  |  |                |                |   |
| Previsão de chuva intensa DHN  |  |                |                |   |
| Índice K [ > 30 ] (sondagem diária)  |  |                |                |   |
| Índice CAPE [ > 800 ](sondagem diária)   |  |                |                |   |
| Índice TOTALS [ > 40 ] (sondagem diária)   |  |                |                |   |
| Índice LIFTED [ < - 3 ] (sondagem diária)  |  |                |                |   |
| Ocorrência de condições descritas no PMCI  |  |                |                |   |
| Radar: nítida aproximação de célula/linha com distância menor ou igual 50 km   |  |                |                |   |
| Satélite: nítida aproximação de célula/linha de com distância menor ou igual 50 km   |  |                |                |   |
| Ocorrência de grande número de descargas elétricas com distância menor ou igual 50 km e tendência de aproximação das descargas |  |                |                |   |
| Análise da variação da pressão   |  |                |                |   |
| Análise da umidade   |  |                |                |   |
| METAR dos aeródromos do RJ   |  |                |                |   |
| Comunicação externa de temporal no Rio   |  |                |                |   |
| Histórico das últimas 72 horas   |  |                |                |   |
| Tábua de marés   |  |                |                |   |
| Horário comercial (das 05 às 21 de 2ª a 6ª)  |  |                |                |   |
| Intuição do meteorologista responsável   |  |                |                |   |
| Opinião de outros meteorologistas  |  |                |                |   |

DECISÃO:  EMITIR BOLETIM  NÃO EMITIR BOLETIM

Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ Hora: \_\_\_h \_\_\_min Responsável: \_\_\_\_\_

Figura A.4 - Matriz de Auxílio à Decisão de Emissão de Boletim de Alerta.  
Fonte: AlertaRio.

### NÍVEIS DE ALERTA PARA ESCORREGAMENTO

|                         | NÍVEL MÉDIO                                 | NÍVEL ALTO                                  | NÍVEL MUITO ALTO                                      |
|-------------------------|---|---|---|
| Acumulado em <u>1h</u>  | 10 a 30 mm                                  | 30 a 50 mm                                  | Maior que 50 mm                                       |
| Acumulado em <u>24h</u> | 50 a 100 mm                                 | 100 a 175 mm                                | Maior que 175 mm                                      |
| Acumulado em <u>96h</u> | 100 a 175 mm <sup>e</sup><br>10 a 30 mm/24h | 175 a 250 mm <sup>e</sup><br>30 a 50 mm/24h | Maior que 250 mm <sup>e</sup><br>Maior que 100 mm/24h |

**IMPORTANTE:**

1. Considerar no mínimo 2 (duas) estações por bacia Hidrográfica.
2. Não considerar a Estação Sumaré.
3. Verificar e revisar as condições de chuvas a cada meia hora.
4. Anotar no livro de ocorrências cada alteração.
5. Uma vez atingido qualquer um dos critérios de escorregamento, mantê-los por um período **minimo de 2 horas após os acumulados de chuva não mais atingirem os índices necessários ao estágio vigente.**

### INTENSIDADE DE CHUVAS

| Precipitação<br>Tipo | INTENSIDADE                                       |  |   |  |
|----------------------|---|--|---|--|
|                      | LEVE  | MODERADA   | FORTE   | MUITO FORTE  |
| CHUVISCO             | 0,25mm/h  | 0,25 a 0,50 mm/h                                   | > 0,50mm/h  | -----  |
| CHUVA                | 1,1 a 5,0mm/h<br>ou 1,2mm/15min<br>(piso molhado) | 5,1 a 25,0mm/h<br>ou 6,2mm/15min<br>(poças d'água) | 25,1 a 50,0mm/h<br>ou 12,5/15min<br>(água escoando) | > 50,0mm/h<br>ou +<br>12,5mm/15min<br>(alagamento) |

Figura A.5 - Níveis de Alerta de Escorregamentos.  
Fonte: AlertaRio.

## **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 programas 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. Aceitam-se tanto programas fonte quanto os executáveis.

### **Pré-publicações (PRE)**

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