



Ministério da  
Ciência e Tecnologia



INPE-15319-TDI/1362

## PRECIPITAÇÃO NO CENTRO DE LANÇAMENTO DE ALCÂNTARA: ASPECTOS OBSERVACIONAIS E DE MODELAGEM

Sheila Santana de Barros

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelo Dr. Marcos Daisuke Oyama, aprovada em 29 de maio de 2008.

Registro do documento original:

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.11.13.43>>

INPE  
São José dos Campos  
2008

## **PUBLICADO POR:**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3945-6911/6923

Fax: (012) 3945-6919

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

## **CONSELHO DE EDITORAÇÃO:**

### **Presidente:**

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

### **Membros:**

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

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

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

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

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

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

## **BIBLIOTECA DIGITAL:**

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

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

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

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

## **REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:**

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

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

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

## **EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:**

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



Ministério da  
Ciência e Tecnologia



INPE-15319-TDI/1362

## PRECIPITAÇÃO NO CENTRO DE LANÇAMENTO DE ALCÂNTARA: ASPECTOS OBSERVACIONAIS E DE MODELAGEM

Sheila Santana de Barros

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, orientada pelo Dr. Marcos Daisuke Oyama, aprovada em 29 de maio de 2008.

Registro do documento original:

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.11.13.43>>

INPE  
São José dos Campos  
2008

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

B278p Barros, Sheila Santana.

Precipitação no Centro de Lançamento de Alcântara: aspectos observacionais e de modelagem/ Sheila Santana de Barros. – São José dos Campos: INPE, 2008.

112p. ; (INPE-15319-TDI/1362)

1. Precipitação. 2. Centro de Lançamento de Alcântara (CLA). 3. Modelagem. 4. Estatística. 5. Observações. I. Título.

CDU 551.577.3 (812.1)

---

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

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

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

Dr. Julio Pablo Reyes Fernandez



---

Presidente / INPE / SJCampos - SP

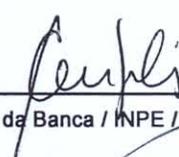
Dr. Marcos Daisuke Oyama



---

Orientador(a) / IAE/CTA / SJCampos - SP

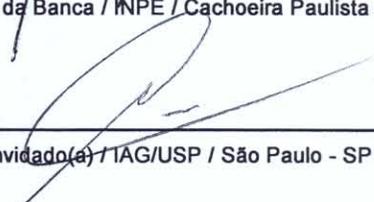
Dr. Carlos Frederico de Angelis



---

Membro da Banca / INPE / Cachoeira Paulista - SP

Dr. Adilson Wagner Gandu



---

Convidado(a) / IAG/USP / São Paulo - SP

Aluno (a): Sheila Santana de Barros

São José dos Campos, 29 DE MAIO DE 2008



*A meus queridos pais,*

*Nádia Aparecida Silva Barros e*

*João Santana de Barros*



## AGRADECIMENTOS

Neste momento muitas pessoas passam por nossa memória. Cada uma delas, à sua maneira, foi responsável por me transmitir forças, tanto com apoio científico, como de apoio pessoal. Todas elas contribuíram para que este trabalho fosse concluído. Por isso, com muito carinho, preciso dizer o meu muito obrigada:

A Deus que me deu força, saúde e garra para realizar o trabalho.

Ao meu orientador, Dr. Marcos Daisuke Oyama, que não hesitou em me oferecer apoio, em todos os sentidos, nos momentos que precisei. Pelas conversas, pela paciência e atenção. Pela dedicação e comprometimento com o trabalho e conseqüentemente com o meu amadurecimento pessoal e profissional.

Aos amigos Cap. Marcos e Ieso, que forneceram os dados de precipitação e as informações necessárias para o tratamento dos dados.

Aos amigos Rildo do CPTEC e Wagner da DSA que me ajudaram na obtenção dos dados para esta pesquisa.

A meus amados pais Nádia e João que me ofereceram o aconchego e o carinho todos os dias. A eles que dão a vida pela minha formação e felicidade. Pelo apoio incondicional em todos os momentos.

Às minhas queridas irmãs Talitha e Érika que foram amigas e companheiras fiéis.

Ao meu amado namorado, Éder pelo exemplo de vida que é para mim. Pelo seu amor e compreensão. Por me incentivar sempre, em qualquer situação, principalmente nos momentos mais difíceis.

Ao Denis Kodaira, por sua capacidade empática e sua boa vontade. Por ter me ajudado muito. Muito mais do que ele imagina.

Aos queridos amigos do curso de Pós-graduação em Meteorologia do INPE: Alan, Aliana, Antônio, Cristiano, Eliude, Fernanda, Marília, Michelyne, Raquel, Renato Orrú, Roger, Rogério e Sérgio. Queridos, obrigada pelos incansáveis dias de estudo, pelas trocas de experiências, por dividirem comigo uma etapa tão importante da minha vida e principalmente pela amizade sincera.

Aos amigos que contribuíram na finalização da apresentação: Cláudio, Dayana, Glauber e Marília. Em especial, agradeço aos amigos Marília, Diego e Renato Orrú que não pouparam esforços para me ajudar na reta final do trabalho.

Às queridas, Lílian, Éricka e Fabiana, pelo trabalho competente, pelo carinho e dedicação, pela disposição em ajudar sempre.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudos.

## RESUMO

O Centro de Lançamento de Alcântara (CLA; 2° 22'S, 44° 23'W) tem papel importante para as atividades aeroespaciais no Brasil, sendo assim de interesse estudar os sistemas precipitantes atuantes sobre a região. O presente trabalho teve como objetivo caracterizar estatisticamente a precipitação no CLA usando dados horários coletados de set/1993 a mar/2007, caracterizar os sistemas e fatores associados aos eventos de precipitação no CLA, e avaliar o desempenho do modelo regional MM5 em simular os eventos de precipitação de 2005 e 2006. Por meio da caracterização estatística, confirmou-se que a estação chuvosa (seca) esteve bem definida durante os meses de março e abril (setembro a novembro), quando a precipitação apresentou seus maiores (menores) índices pluviométricos. Principalmente na estação chuvosa, grande parte dos eventos de chuva apresenta pouco total acumulado, curta duração e pequena intensidade. Utilizando dados de Reanálise, radiação de onda longa emergente e temperatura de brilho no canal infravermelho, também se definiram critérios para identificar os sistemas meteorológicos de grande, meso e de escala local associados aos eventos de precipitação no CLA em 2005 e 2006. Os resultados apontaram que 40% dos eventos de precipitação esteve associada a fatores de grande escala, destacando-se a Zona de Convergência Intertropical. Verificou-se que 60% (40%) dos eventos de precipitação ocorridos no CLA se deve a processos estratiformes (convectivos). Em simulações com o modelo MM5 para 2005 e 2006, os resultados mostraram que o modelo superestima o total de precipitação mensal e o número de eventos durante todo o ano.



**RAINFALL AT THE ALCÂNTARA ROCKET LAUNCHING CENTER:  
OBSERVATIONAL AND MODELING ASPECTS**

The Alcântara Rocket Launching Center (CLA; 2° 22'S, 44° 23'W) plays an important role in aerospace research activities in Brazil, and so it is of interest to study the precipitation systems over the CLA region. This work aims at statistically characterizing the precipitation in the CLA by using hourly precipitation data collected from September 1993 to March 2007; characterizing the systems and patterns associated to rainfall events in the CLA; and evaluating the regional model MM5 skill in simulating the rainfall events in 2005 and 2006. The statistical characterization ratified that the rainy (dry) season was well defined during March and April (September to November), when the total monthly precipitation was maximum (minimum). Mainly in the rainy season, the majority of rain events showed small amount of total rainfall, short duration and light intensity. By using NCEP reanalysis data, and outgoing longwave radiation and brightness temperature data, the criteria to identify large, meso, and local scale systems associated with precipitation over CLA in 2005 and 2006 were defined. The results showed that 40% of the precipitation events were associated with large scale systems, mainly the Intertropical Convergence Zone. About 60% (40%) of the precipitation events over CLA are due to stratiform (convective) processes. In simulations using the MM5 regional model for 2005 and 2006, the results showed that the model overestimated the monthly precipitation amount and number of events all year round.



## SUMÁRIO

### LISTA DE FIGURAS

### LISTA DE TABELAS

### LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

	Pág.
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>25</b>
<b>2 PARTE I: ESTATÍSTICA DOS EVENTOS DE PRECIPITAÇÃO.....</b>	<b>31</b>
2.1 Objetivo .....	31
2.2 Material .....	31
2.3 Metodologia.....	31
2.3.1 Climatologia.....	33
2.3.2 Histogramas .....	34
2.4 Resultados.....	36
2.4.1 Climatologia.....	36
2.4.2 Histogramas .....	39
2.5 Conclusões.....	45
<b>3 PARTE II: CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS.....</b>	<b>47</b>
3.1 Objetivo .....	47
3.2 Material .....	47
3.2.1 Temperatura de brilho no canal infravermelho.....	47
3.2.2 Reanálise do NCEP/NCAR .....	47
3.2.3 Radiação de Onda Longa Emergente (ROLE) .....	48
3.2.4 Totais horários de precipitação no CLA.....	49
3.2.5 Boletim Climanálise.....	49
3.3 Metodologia.....	49
3.3.1 Identificação dos sistemas de grande escala.....	50
3.3.1.1 Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).....	51
3.3.1.2 Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN).....	53
3.3.1.3 Oscilação de 3 a 9 dias .....	56
3.3.1.4 Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) .....	57
3.3.2 Caracterização dos eventos de chuva .....	58
3.4. Resultados.....	68
3.4.1 Características dos eventos de precipitação.....	68
3.4.2 Classificação preliminar dos eventos em categorias.....	78
3.4.2.1 Eventos de chuva associados a ZCIT .....	78
3.4.2.2 Eventos de chuva associados a ZCAS.....	82
3.4.2.3 Eventos de chuva associados a sistemas de mesoescala (SCM e LI).....	83
3.4.2.4 Eventos de chuva associados com chuva isolada.....	84
3.5 Conclusões.....	85
<b>4 PARTE III: MODELAGEM .....</b>	<b>89</b>
4.1 Objetivo .....	89
4.2 Material .....	89
4.2.1 Dados observados.....	89
4.2.2 Modelo MM5 .....	89
4.3 Metodologia.....	90

4.3.1 Simulações.....	90
4.3.2 Tabelas de Contingência.....	90
4.4 Resultados.....	92
4.4.1 Simulações de teste .....	100
4.5 Conclusões.....	102
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>103</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>105</b>

## LISTA DE FIGURAS

1.1 – Localização da região de estudo.....	26
2.1 – Precipitação média mensal em Alcântara e seu desvio padrão para o período de setembro de 1993 a março de 2007. ....	37
2.2 – Número médio de eventos por mês e o seu desvio padrão. ....	38
2.3 – Histogramas de frequência para o total acumulado de precipitação em Alcântara (a) no primeiro trimestre, (b) no segundo trimestre (c) no terceiro trimestre do período de set/93 a mar/07. ....	39
2.4 – Histograma de frequência para o número de horas consecutivas com chuva em Alcântara correspondente ao (a) do primeiro trimestre, (b) do segundo trimestre, (c) do terceiro trimestre do período de set/93 a mar/07. ....	40
2.5 – Histograma de frequência para a intensidade média horária dos eventos em Alcântara (a) no primeiro trimestre, (b) no segundo trimestre (c) no terceiro trimestre e (d) no quarto trimestre do período de set/93 a mar/07. ....	41
2.6 – Histograma de frequência para a precipitação máxima dos eventos em Alcântara (a) no primeiro trimestre, (b) no segundo trimestre (c) no terceiro trimestre e (d) no quarto trimestre do período de set/93 a mar/07. ....	42
2.7 – Histograma de frequência para a distância entre os eventos de chuva de Alcântara correspondente ao (a) primeiro trimestre, (b) segundo trimestre, (c) terceiro trimestre do período de set/93 a mar/07. ....	43
2.8 – Histograma de frequência para a distribuição da chuva de Alcântara no decorrer do dia (a) no primeiro trimestre, (b) no segundo trimestre, (c) no terceiro trimestre e (d) no quarto trimestre para o período de set/93 a mar/07. ....	44
2.9 – Histograma do total médio de chuva acumulada para os eventos das classes da Figura 2.8 (a) no primeiro trimestre, (b) no segundo trimestre, (c) no terceiro trimestre e (d) no quarto trimestre para o período de set/93 a mar/07. ....	45
3.1 – Fluxograma das etapas do trabalho. ....	50

3.2 – Figuras de TB representativas da ZCIT onde (a) se refere ao dia 6 de março de 2005 às 14Z e (b) se refere ao dia 13 de março de 2005 às 18Z. A linha pontilhada indica a posição da ZCIT. ....	52
3.3 – Média diária de linhas de corrente e vorticidade relativa em 200 hPa mostrando um VCAN no NEB no dia 31 de janeiro de 2005. A caixa pontilhada indica a posição do VCAN.....	54
3.4 – Ilustração das circunferências concêntricas centradas no CLA para determinar a distância do vórtice, onde as circunferências vermelhas representam distâncias menores que 1980 km e as circunferências amarelas ilustram distâncias maiores que 1980 km. ....	55
3.5 – Temperatura de brilho do dia 16 de março de 2005 às 14 Z indicando a presença da ZCAS que atuou no sudeste do Brasil entre os dias 15 e 20 de março. A linha tracejada mostra a orientação NW-SE da ZCAS.....	58
3.6 – Ilustração dos limiares adotados para a separação da nebulosidade convectiva da estratiforme. A nebulosidade estratiforme é identificada através de TB < 270 K, a nebulosidade convectiva é identificada por TB < 250 K e os núcleos convectivos por TB < 230 K. A figura (a) mostra uma visão tridimensional, em (b) um corte na horizontal e em (c) um corte na vertical.....	60
3.7– Esquema da caracterização dos sistemas.....	63
3.8– Esquema conceitual representa a separação dos sistemas convectivos quanto a existência de núcleos convectivos, onde (a) não há núcleos convectivos, (b) existem núcleos convectivos ao redor de Alcântara e (c) existe um núcleo convectivo sobre Alcântara. ....	64
3.9 – Esquema conceitual de separação dos sistemas convectivos quanto ao tamanho da área nebulosa onde em (a) os sistemas possuem área menor do que 1°×1° (~ 10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup> ), em (b) os sistemas possuem área entre 1°×1° e 5°×5° (~10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup> a 25×10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup> ) e em (c) os sistemas possuem área superior a 5°×5°. ....	65

3.10 – Esquema conceitual de separação dos sistemas convectivos quanto às posições da nebulosidade em relação ao CLA, onde em (a) a borda do sistema se encontra sobre o CLA, em (b) o CLA está no interior do sistema e em (c) o CLA encontra-se no exterior do sistema. ....	66
3.11 - Esquema conceitual de separação dos sistemas convectivos quanto à situação de entorno do CLA em relação à nebulosidade, onde em (a) apresenta-se uma chuva isolada sobre o CLA, em (b) apresenta-se sistemas convectivos isolados ao redor do CLA, em (c) um sistema convectivo incluso em um sistema de escala maior e em (d) um sistema convectivo sobre o CLA que não pertence a um sistema de escala maior e que se encontra próximo ao CLA. ....	67
3.12 – Divisões em quatro quadrantes para determinar a região de origem dos sistemas. ....	68
3.13 – Representação da quantidade de eventos de chuva (em porcentagem) ocorridos no CLA associados aos sistemas de grande, meso e pequena escala para o ano de (a) 2005 e (b) 2006.....	69
3.14 – Características gerais dos sistemas convectivos que atuaram no CLA durante 2005 (preto) e 2006 (cinza), com relação à porcentagem do número de eventos onde (a) mostra a classificação de núcleos convectivos, (b) tamanho, (c) posição do sistema com relação ao CLA, (d) fase do ciclo de vida, (e) entorno e (f) origem.....	74
3.15 – Características dos sistemas convectivos que atuaram no CLA durante 2005 (preto) e 2006 (cinza), com relação à porcentagem do total de precipitação dos eventos de chuva, onde (a) mostra a classificação de núcleos convectivos, (b) tamanho, (c) posição do sistema com relação ao CLA, (d) fase do ciclo de vida, (e) entorno e (f) origem. ....	76
3.16 – Divisão dos eventos de chuva ocorridos em 2005 e 2006 no CLA em nebulosidade estratiforme e convectiva. ....	77
3.17 – Distribuição média mensal (a) do número de eventos por ano de precipitação no CLA (b) do total de precipitação no CLA associados com a ZCIT.....	80

3.18 – Distribuição mensal de número de eventos por ano de precipitação no CLA associados com a ZCIT e LI simultaneamente (a) e associados com a ZCIT e SCM simultaneamente (b) e associados com a ZCIT e CI simultaneamente (c). .....	81
3.19 – Distribuição média mensal (a) do número de eventos por ano de precipitação no CLA (b) do total de precipitação no CLA associados com a ZCAS. ....	83
3.20 – Distribuição média mensal (a) do número de eventos por ano de precipitação no CLA e (b) do total de precipitação no CLA associados com LI (c) do número de eventos por ano de precipitação no CLA e (d) do total de precipitação no CLA associados com SCM. ....	84
3.21 – Distribuição média mensal (a) do número de eventos por ano de precipitação no CLA e (b) do total de precipitação no CLA associados com CI. ....	85
4.1 – Porcentagem de dias do mês com chuva para os anos de 2005 e 2006 para a chuva observada e a chuva simulada. ....	94
4.2 – Total de precipitação (observada e simulada) acumulada mensalmente nos anos de 2005 e 2006. As curvas pontilhadas indicam a média. ....	94
4.3 – Histograma do ciclo diário do número de eventos de precipitação para os eventos observados (de 2005 a 2006) em (a) e (c) e para os eventos simulados em (b) a (d). DJF compõem o primeiro trimestre (a) e (b), MAM compõem o segundo trimestre (c) e (d).....	96
4.4 – Histograma do ciclo diário do número de eventos de precipitação para os eventos observados (de 2005 a 2006) em (a) e (c) e para os eventos simulados em (b) a (d). JJA compõem o terceiro trimestre (a) e (b) e SON compõem o quarto trimestre (c) e (d). ....	97
4.5 – Valores dos índices de exatidão do modelo MM5 em função dos limiares de precipitação. ....	98
4.6 – Valores dos índices de desempenho do modelo MM5 em função dos limiares de precipitação. ....	99
4.7 – Valor do viés do modelo MM5 em função dos limiares de precipitação. ....	99

4.8 – Comparação entre o observado e 3 simulações diferentes com o modelo MM5 para os meses março e abril de 2005, com relação à porcentagem do número de dias do mês. ....	101
4.9 – Comparação entre observado e 3 simulações diferentes com o modelo MM5 para os meses março e abril de 2005, com relação ao total de precipitação acumulada. ....	101



## LISTA DE TABELAS

2.1 – Número de anos considerados no trabalho em cada mês (área sombreada marca os anos considerados).....	33
2.2 – Total acumulado, média e desvio padrão de precipitação para os anos considerados na análise (em mm).....	38
3.1 – Lista de variáveis da Reanálise do NCEP/NCAR utilizados no trabalho.....	48
3.2 – Associação dos sistemas meteorológicos aos eventos de precipitação ocorridos no CLA nos anos de 2005 e 2006.....	70
3.3 – Número de associações entre sistemas de grande escala (a) para o ano de 2005 e (b) para o ano de 2006.....	71
3.4 – Associações entre sistemas de mesoescala com sistemas de grande escala (a) para o ano de 2005 e (b) para o ano de 2006. ....	72
3.5 – Características gerais das categorias. ....	79
4.1 – Tabela de contingência. ....	91
4.2 – Medidas de exatidão para tabela de contingência 2×2 mostrada na Tabela 4.1 .....	92
4.3 – Medidas de desempenho para Tabela de contingência 2×2 mostrada na Tabela 4.1.....	93



## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACA	- Divisão de Ciências Atmosféricas
CDC	- Climate Diagnostics Center
CI	- Chuva Isolada
CLA	- Centro de Lançamento de Alcântara
CPTEC	- Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
D	- Duração
DSA	- Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais
DAV	- Distância de Alcântara à Borda do Vórtice
DEE	- Distância Entre Eventos
DJF	- Dezembro, Janeiro, Fevereiro
DOL	- Distúrbios Ondulatórios de Leste
HI	- Hora de Início
HL	- Hora Local
HT	- Hora de Término
I	- Intensidade
IAE	- Instituto de Aeronáutica e Espaço
INMET	- Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
JJA	- Junho, Julho, Agosto
KF	- Kain Fritsch
LI	- Linhas de Instabilidade
MAM	- Março, Abril, Maio
MM5	- 5ª Geração do Modelo de Mesoescala
NAP	- Nebulosidade Associada à chuva
NCAR	- National Center for Atmospheric Research
NCEP	- National Centers for Environmental Prediction
NEB	- Nordeste Brasileiro

NOAA	- National Oceanic and Atmospheric Administration
OMM	- Organização Meteorológica Mundial
PC	- Perturbações Convectivas
PMAX	- Precipitação Máxima
PNM	- Pressão ao Nível médio do Mar
PSU	- Pennsylvania State University
ROLE	- Radiação de Onda Longa Emergente
SCM	- Sistemas Convectivos de Mesoescala
SF	- Sistemas Frontais
SON	- Setembro, Outubro, Novembro
T	- Total de precipitação
TB	- Temperatura de Brilho
TSM	- Temperatura da Superfície do Mar
VCAN	- Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
ZCAS	- Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	- Zona de Convergência Intertropical

## 1 INTRODUÇÃO

A precipitação no Nordeste brasileiro (NEB) pode estar associada a fatores de grande escala [Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Vórtice Ciclônico em Altos Níveis (VCAN), Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Sistemas Frontais (SF)], de mesoescala [Linhas de Instabilidade (LI) e Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM)] ou de escala local (tempestades isoladas e circulação de brisa) (p.ex., CAVALCANTI, 1982; COHEN et al., 1989; MOLION e BERNARDO, 2002; TAVARES, 2008). Embora se admita que parte substancial das chuvas no NEB deve estar associada a fatores de grande escala, uma questão ainda em aberto é a importância relativa dos fatores em diferentes escalas para a precipitação em regiões específicas do NEB. No caso dos fatores locais, por exemplo, Kousky (1980), ao analisar o ciclo diário de precipitação do NEB no período de 1961 a 1970, propôs que o máximo noturno de precipitação entre 21 e 09 HL na costa norte do NEB poderia ser explicado por um mecanismo de escala local. O máximo noturno aconteceria pois o escoamento médio opor-se-ia à brisa continental durante a noite e geraria uma zona de convergência nas vizinhanças da costa. A posição exata desta zona de convergência dependeria da intensidade do escoamento médio sobre a costa, da intensidade da brisa continental e da configuração da costa. Dessa forma, Kousky (1980) sugere a importância de um mecanismo de escala local (circulação de brisa) que poderia estar relacionado à ocorrência de precipitação do NEB.

Este trabalho enfatiza uma região específica do NEB: a região do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA, Alcântara, MA; 2° 22'S, 44° 23'W; MARQUES E FISCH, 2005), localizado na costa norte do NEB (Figura 1.1). No CLA, realiza-se o lançamento de foguetes projetados e construídos no Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE, São José dos Campos, SP). O lançamento de um foguete requer informações detalhadas de elementos meteorológicos para que os requisitos da Segurança de Vôo sejam atendidos no momento do lançamento. Com essa motivação, pesquisas sobre DOL (COUTINHO e FISCH, 2007), camada limite planetária (ROBALLO E FISCH, 2006; PIRES E FISCH, 2005), circulação de brisa (REUTER et al., 2004), perfil vertical do vento (FISCH, 2005), ZCAS e SF (TAVARES, 2008), entre outros, vêm

sendo realizadas para a região do CLA. Um detalhamento dos sistemas meteorológicos que atuam especificamente no CLA pode ser encontrado na seção 3.3.1 deste trabalho.

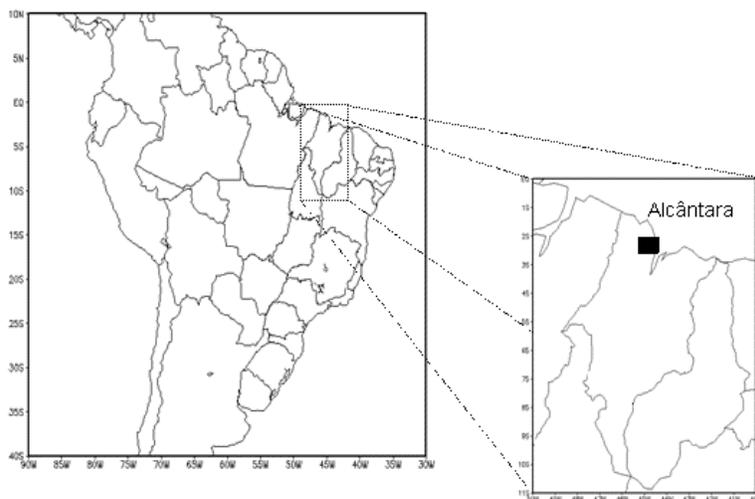


Figura 1.1 – Localização da região de estudo.

Pereira et al. (2002), utilizando diversas informações meteorológicas (dados de superfície, de ar superior, de satélite, entre outros) de dados compreendidos entre 1993 a 1999, obtiveram as principais características climatológicas da região que abrange o CLA. A estação chuvosa (seca) ocorre entre os meses de janeiro e junho (julho e dezembro), e os máximos (mínimos) de precipitação ocorrem nos meses março e abril (setembro e novembro). Nos meses chuvosos (secos), a cobertura média de nuvens é maior (menor) e os ventos são menos (mais) intensos. O mês de novembro (março) apresenta temperatura média mensal maior (menor) do que a de outros meses, com 28,1°C (26,7°C); assim, a variação sazonal da temperatura média mensal é pequena. No ciclo diurno, a cobertura de nuvens é maior (menor) entre 07 e 12 HL (21 e 02 HL), os ventos mais (menos) intensos ocorrem no período diurno (noturno), e a temperatura máxima (mínima) ocorre entre 12 e 14 HL (05 e 06 HL).

O atlas climatológico proposto por Pereira et al. (2002) falta ser complementado com uma estatística baseada em outras variáveis que caracterizam a chuva, tais como número

de eventos, duração, tempo entre eventos, intensidade, precipitação máxima, ciclo diário da chuva, entre outros. Essa nova caracterização será realizada neste trabalho.

Por um lado, muitos trabalhos estudam os sistemas meteorológicos separadamente, i.e., expandem o conhecimento sobre as propriedades dinâmicas e termodinâmicas de sistemas específicos. Como exemplo, há trabalhos que enfocam as propriedades estruturais dos sistemas [como COELHO (2002), que estudou a estrutura da circulação atmosférica e da precipitação na região da ZCIT], a sua formação [como LOURENÇO et al. (1996), que estudou os vórtices ciclônicos formados na região subtropical], e a sua região de atuação [como FERREIRA (2005), que usou ciclos médios anuais de ROLÉ e pressão ao nível médio do mar (PNM) para indicar os locais onde a ZCIT se encontra; e GAN (1982), que enfocou o seu trabalho nas baixas frias que adentram o Brasil]. O foco desses trabalhos é estudar, detalhadamente, as características de um determinado sistema. Por outro lado, poucos trabalhos associam (de forma quantitativa) a precipitação em uma região específica aos diferentes sistemas meteorológicos, assim determinando a fração do total de precipitação associada a cada sistema. Esse tipo de caracterização para a região do CLA não foi realizada até o momento. Assim, o presente trabalho procura responder à questão: qual seria a importância relativa dos fatores/sistemas em diferentes escalas para a precipitação no CLA?

Além disso, o presente trabalho objetiva caracterizar o tipo de nebulosidade [topo alto (convectivo) versus topo baixo (estratiforme)] associado aos eventos de precipitação. A nebulosidade convectiva é geralmente associada a forte corrente ascendente (“updraft”), alta intensidade de precipitação, pequena dimensão horizontal e processo de coleção por “riming” (HOUZE, 1993). Pereira e Rutledge (2006) separaram eventos associados à convecção profunda da rasa em duas regiões: Amazônia (continental) e Pacífico Leste (oceânico). O objetivo do trabalho foi relacionar o ciclo diurno da convecção (profunda / rasa) com os regimes de vento das regiões de estudo. Convecção profunda esteve associada a 90% (97%) da precipitação na Amazônia (Pacífico Leste). Isso mostra a predominância da convecção profunda em relação à rasa na produção de precipitação. Os autores quantificaram ainda que 90% (80%) da área precipitante possui características estratiformes durante o regime dos ventos de leste (oeste). A área

precipitante restante está relacionada à nebulosidade convectiva, dominada por células convectivas e que provoca um volume de precipitação significativamente maior do que a nebulosidade estratiforme.

Modelos numéricos são amplamente utilizados na previsão de tempo e de clima. Modelos regionais possuem resoluções mais altas, representam com mais detalhes fenômenos de escala menor, tanto espacial quanto temporalmente, e podem apresentar um melhor desempenho quando comparados com modelos globais. Por exemplo, em um estudo para a América do Sul, Bustamante et al. (2005) compararam as previsões do modelo global do CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos) com as do modelo Eta e mostraram que, principalmente na baixa troposfera, o desempenho do Eta foi melhor. Os resultados mostraram que o limite da integração do modelo Eta poderia ser estendido para 120 horas com uma porcentagem de acerto superior a 60%.

Por outro lado, o crescente aumento da capacidade computacional nos últimos anos vem permitindo que centros regionais e locais complementem as previsões realizadas por centros nacionais (p.ex., CPTEC e INMET) com simulações de modelos regionais em domínios menores executadas em computadores de menor porte (p.ex., microcomputadores) (WARNER et al., 1997, p. 2599). Nesse contexto, o presente trabalho procura avaliar se o modelo atmosférico regional MM5 (GRELL et al., 1995) – que é um modelo de domínio público, portátil e utilizado por vários centros meteorológicos no Brasil e no mundo – seria capaz de simular os eventos de chuva ocorridos no CLA sem nenhum ajuste das suas parametrizações (i.e., utilizando os parâmetros “default” do modelo). Trata-se de uma simulação de controle e, com isso, pretende-se encontrar os erros sistemáticos do modelo, o que é a primeira etapa para o seu futuro aprimoramento.

Ainda é um grande desafio realizar previsões quantitativas de precipitação fidedignas (EBERT et al., 2003). Um exemplo de diagnóstico detalhado dos erros na previsão quantitativa de precipitação, e que serve de base para este trabalho, pode ser encontrado em McBride e Ebert (2000), que compararam o desempenho de sete modelos operacionalmente utilizados no “National Meteorological Operations Centre”

(Melbourne, Austrália) durante um período de 12 meses (set/1997 a ago/1998). A comparação focalizou duas grandes sub-regiões: o regime de monção da região tropical do norte, e o regime subtropical do sudeste. Para ambos os regimes, os modelos tendem a superestimar (subestimar) a precipitação no verão (inverno). O desempenho do modelo é melhor (pior) para o regime subtropical (tropical). No regime de monção, durante a estação chuvosa no verão, associou-se o baixo desempenho à incapacidade do modelo em simular adequadamente sistemas convectivos tropicais; durante a estação seca no inverno, à pequena probabilidade de detecção dos eventos esporádicos de precipitação. Em um trabalho recente, testou-se o desempenho do modelo MM5 por Xiao et al. (2007) na previsão de precipitação durante a passagem do tufão continental Rusa ocorrido em 2002 na Coréia do Sul. Foi desenvolvido um sistema de assimilação de dados 3D (3DVAR) para dados de refletividade de radar para ser acoplado ao modelo MM5. Os resultados mostraram que a assimilação dos dados de radar melhorou a previsão de precipitação quando comparada a previsões sem a assimilação.

Em suma, o objetivo geral do trabalho consiste em avaliar a importância relativa dos sistemas meteorológicos para a precipitação no CLA e a capacidade dos eventos chuvosos serem reproduzidos por um modelo atmosférico regional. O trabalho está dividido em 3 partes:

- a) Na parte I, o objetivo é caracterizar estatisticamente a precipitação no CLA usando dados horários coletados de set/1993 a mar/2007, assim complementando as informações climatológicas disponíveis em Pereira et al. (2002);
- b) Na parte II, o objetivo é caracterizar os sistemas/fatores associados aos eventos de precipitação no CLA em 2005 e 2006;
- c) Na parte III, o objetivo é avaliar o desempenho do modelo regional MM5 em simular os eventos de precipitação de 2005 e 2006 no CLA.

As 3 partes são apresentadas a seguir, sequencialmente. Em cada parte, apresentam-se os objetivos específicos, os materiais e os métodos, os resultados e as conclusões.

Finalizando o trabalho, apresentam-se uma síntese e as principais conclusões do trabalho.

## **2 PARTE I: ESTATÍSTICA DOS EVENTOS DE PRECIPITAÇÃO**

### **2.1 Objetivo**

Caracterizar estatisticamente os eventos de precipitação ocorridos no CLA entre setembro de 1993 e março de 2007.

### **2.2 Material**

São utilizados os totais horários de precipitação no CLA para o período de setembro de 1993 a março de 2007. Os dados são disponibilizados pela Divisão de Ciências Atmosféricas (ACA) do IAE e provenientes de um pluviômetro instalado na estação automática localizada no CLA. A série temporal pode apresentar falhas devido a diversos fatores: pane na estação automática, atraso na recuperação do equipamento, etc.

### **2.3 Metodologia**

Inicialmente, é realizada a seleção de todos os eventos de precipitação ocorridos no CLA, a partir dos dados de precipitação de setembro de 1993 a março de 2007. Esse período corresponde ao de disponibilidade de dados na ACA/IAE no momento da pesquisa. A seleção é feita em 3 etapas:

1. Preenchimento das falhas nos dados com um valor indefinido para facilitar a manipulação dos dados;
2. Levantamento das falhas da série temporal de precipitação e seleção dos meses. Esta análise permitiu que se descobrissem meses com falhas substanciais de dados, meses parcialmente completos e meses 100% completos. É importante adotar um critério que selecione um conjunto de meses que abranjam a maior parte dos dados e elimine os meses com falhas significativas. A finalidade do critério é assegurar que os resultados não sejam comprometidos por falhas nos dados. Vejamos um exemplo hipotético: se em um mês foram coletados somente 10 dias de dados, acrescentar este mês na análise poderia gerar erro nos resultados, pois haveria a inclusão uma porcentagem muito

pequena da população (apenas 32%). Adota-se o critério de selecionar apenas os meses que tenham mais do que 80% dos dados. A escolha é feita depois da realização de alguns testes que avaliam a melhor porcentagem, de forma que não acarrete em uma diminuição dos dados e que ao mesmo tempo não inclua meses com muitas falhas. Esse critério é o mesmo aplicado pelo Grupo de Banco de Dados Climatológicos da ACA (J. M. B. Silveira, comunicação pessoal). A seleção realizada com o critério dos 80% leva aos meses considerados neste estudo (Tabela 2.1).

3. Seleção e caracterização dos eventos. Para os meses selecionados (Tabela 2.1), obtêm-se os eventos de chuva. Um evento de chuva é aqui definido como um período consecutivo de horas com precipitação maior que 0,1 mm. Cada evento de chuva é caracterizado pelas seguintes informações:

- a) Hora de início (HI) e de término (HT) do evento;
- b) Total de precipitação acumulada durante o evento (T, mm);
- c) Total horário quando houve a precipitação máxima caso o evento tenha uma duração maior do que uma hora (P<sub>MAX</sub>).

A partir dessas informações, obtêm-se:

- a) Número de horas consecutivas com chuva ou duração do evento (D, h), i.e.,  $D = HT - HI$ ;
- b) Intensidade média horária do evento (I, mm h<sup>-1</sup>), i.e.,  $I = T / D$ ;
- c) Distância temporal entre os eventos (DEE, h), i.e.,  $DEE = HI(n+1) - HT(n)$ , onde n+1 refere-se ao evento subsequente ao evento n.

Depois de organizar os dados de chuva na forma de eventos de chuva, realizam-se dois tipos de estudos: (1) uma análise climatológica dos dados e (2) composição de histogramas para as características obtidas. A metodologia utilizada para realizar estes dois estudos está descrita a seguir.

Tabela 2.1 – Número de anos considerados no trabalho em cada mês (área sombreada marca os anos considerados).

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>1993</b>												
<b>1994</b>												
<b>1995</b>												
<b>1996</b>												
<b>1997</b>												
<b>1998</b>												
<b>1999</b>												
<b>2000</b>												
<b>2001</b>												
<b>2002</b>												
<b>2003</b>												
<b>2004</b>												
<b>2005</b>												
<b>2006</b>												
<b>2007</b>												

### 2.3.1 Climatologia

O termo “climatologia” é utilizado na falta de um termo mais apropriado, pois as estatísticas são obtidas a partir de somente 14 anos de dados (setembro de 1993 a março de 2007). A Organização Meteorológica Mundial (OMM) recomenda o uso de pelo menos 30 anos de dados (observações) para a obtenção de climatologias.

Calcula-se o total mensal de precipitação para todos os anos em estudo e, em seguida, obtêm-se a média mensal e o total anual para o período (de set/1993 a mar/2007). Obtêm-se o desvio padrão do total anual e da média mensal de precipitação para o período em estudo. Os dados utilizados para os cálculos atendem ao critério dos 80% exposto anteriormente. A metodologia utilizada por Silva et al. (2003) serve como base para os cálculos realizados; porém a quantidade de dados não é suficiente para garantir significância estatística para os outros parâmetros estatísticos, tais como a mediana, a moda, o coeficiente de assimetria. Por isso, esses parâmetros não serão calculados.

### 2.3.2 Histogramas

As características dos eventos (T, D, PMAX, I, DEE) são consideradas variáveis aleatórias e são separadas em trimestres. São elaborados histogramas trimestrais para cada uma delas. O primeiro trimestre corresponde aos meses de dezembro, janeiro e fevereiro (DJF); o segundo, aos meses março, abril e maio (MAM); o terceiro, aos meses junho, julho e agosto (JJA); e o quarto, aos meses, setembro, outubro e novembro (SON).

Para elaborar os histogramas, inicialmente, os dados são separados em classes. A princípio, o número de classe foi obtido com base equação 2.1, proposta por Assis et. al. (1996):

$$1 + 3,3[\log_{10}(n)] \quad (2.1)$$

onde  $n$  é o número total de observações. Se não representar bem a distribuição dos dados, o número de classes passa a ser escolhido por tentativas, até que fique subjetivamente representativo. Arelado ao número de classes está a escolha do intervalo de classe, o qual também é obtido pela estratégia das tentativas. Ressalta-se que um valor alto para o intervalo de classe pode ocultar propriedades importantes da distribuição. Por isso, existe um esforço de escolher um valor relativamente pequeno, mas que não implique em um número grande de classes. O objetivo consiste em abranger um número maior de eventos em cada classe, mantendo a condição de não descaracterizar a distribuição.

Na estação seca (julho a dezembro), o número de eventos de chuva diminui consideravelmente quando comparado ao na estação chuvosa (janeiro a junho). Com o propósito de que a análise para os meses secos seja representativa, i.e., não considere somente um pequeno número de eventos e, assim, comprometa a análise, são estabelecidos alguns critérios. Para cada classe dos histogramas correspondentes à estação seca, calcula-se o número mínimo de eventos que a classe deveria ter para se tornar representativa. Se o número mínimo de eventos ( $n_{\min}$ ) na classe não é alcançado,

o mês em questão é descartado da análise. A seguir, encontram-se descritas as expressões utilizadas para o cálculo do  $n_{min}$ .

Para uma dada classe do histograma, o intervalo de confiança para a frequência relativa  $p$ , em uma amostra de tamanho  $n \geq 30$ , é dado pela Equação 2.2 (SPIEGEL, 1978):

$$p \pm \delta = p \pm z_c \sqrt{\frac{p(1-p)}{N}} \quad (2.2)$$

onde  $p$  é a frequência relativa ( $p = \frac{n}{N}$ ),  $\delta$  é o desvio padrão,  $n$  é a frequência da classe,  $N$  é o tamanho da amostra e  $z_c$  é o valor crítico obtido da tabela normal. Considerando que o desvio padrão  $\delta$  não possa exceder uma fração  $\alpha$  de  $p$ , i.e.:

$$\delta \leq \alpha p \quad (2.3)$$

onde  $\delta$  é o desvio padrão e  $\alpha$  é um valor limite, obtém-se:

$$n \geq n_{min} \quad (2.4)$$

$$n_{min} = \frac{1}{\frac{1}{N} + \left(\frac{\alpha}{z_c}\right)^2}$$

onde  $n_{min}$  é a frequência mínima para que  $\delta$  seja suficientemente pequeno. No presente trabalho, considera-se  $\alpha$  igual a 0,5 e  $z_c$  igual a 1,96.

Em todos os histogramas, existem eventos distribuídos de forma esparsa nas últimas classes, onde se apresentam pouquíssimos eventos distribuídos em muitas classes. As últimas classes são agrupadas de modo a formar apenas uma. Esse agrupamento se apresenta pouco representativo e sem significado estatístico; por isso, é desconsiderado da análise deste trabalho. Uma análise mais detalhada dessas classes poderia ser objeto do estudo de eventos extremos e poderia ser feita em estudos futuros.

A distribuição exponencial é ajustada para as variáveis que compõem os histogramas. A aderência à distribuição exponencial é avaliada por meio do teste  $\chi^2$ . O ajuste é realizado apenas para as três primeiras classes dos histogramas. As demais classes não se ajustam a esta distribuição e, por este motivo, foram excluídas da análise de aderência. Essas classes apresentam uma queda bem menos pronunciada que a distribuição exponencial. Em vista disto, a distribuição exponencial não representa a totalidade dos dados. Em contrapartida, representa a maior parte deles, pois a maior parte dos eventos encontra-se concentrada logo nas primeiras classes. No caso de eventos extremos, outras distribuições são comumente utilizadas, tais como distribuição de Gumbel, Weibull, Log-Normal, Pearson (VALVERDE ET. AL., 2004). Por exemplo, Teixeira e Satyamurti (2006) usaram a distribuição gama para estudar eventos extremos de precipitação em uma análise da chuva diária durante o período chuvoso da região da Serra do Mar.

## **2.4 Resultados**

### **2.4.1 Climatologia**

A Figura 2.1 mostra a distribuição da precipitação média mensal (em mm) no CLA no período de estudo (setembro/1993 a março/2007). Nota-se que existem duas estações bem definidas no CLA: a chuvosa, de janeiro a junho, e a seca, de julho a dezembro. O mês de julho (dezembro) pode ser considerado o de transição da estação chuvosa (seca) para a seca (chuvosa). Março e abril (setembro, outubro e novembro) são os meses em que os máximos (mínimos) de precipitação são atingidos. Do ponto de vista da tradicional divisão do ano em trimestres (DJF, MAM, JJA e SON), o trimestre mais chuvoso (seco) é MAM (SON), sendo DJF e JJA os trimestres de transição. Estas informações estão em concordância com Pereira et. al. (2002). As barras pretas da Figura 2.1 indicam o desvio padrão interanual.

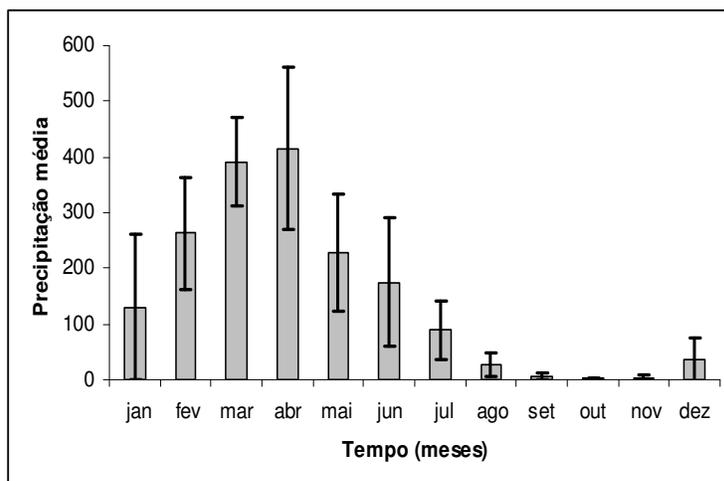


Figura 2.1 – Precipitação média mensal em Alcântara e seu desvio padrão para o período de setembro de 1993 a março de 2007.

A Tabela 2.2 mostra o total de precipitação anual somente para os anos em que todos os meses atendiam ao critério de ter pelo menos 80% de dados válidos. A estimativa preliminar do total anual médio seria de cerca de 1800 mm para o CLA. A estimativa é preliminar pois o ideal é que a climatologia seja calculada com pelo menos 30 anos de observação conforme recomendação da OMM. O ano de 2002 se destaca por ter um mínimo de precipitação acumulada. Nesse ano houve a ocorrência de El Niño (climanálise, 2002). Este fenômeno pode ter afetado a precipitação no CLA, pois se considera que o El Niño reduz a precipitação no Nordeste brasileiro (KOUSKY e CAVALCANTI, 1984). O ano de 1994 se destaca por ser um ano em que a precipitação é máxima. Os anos de 2005 e 2006 são analisados por serem utilizados nas partes II e III do trabalho. Em 2005, ocorreu uma seca severa na Amazônia (MARENGO et al., 2008) e, no CLA, houve também seca, i.e., um total anual de precipitação bem abaixo da média (Tabela 2.2). Em 2006, a precipitação no CLA foi bem acima da média (Tabela 2.2). Assim, os anos de 2005 e 2006 amostram adequadamente a variabilidade de precipitação no CLA (seco em 2005 e chuvoso em 2006), justificando a sua escolha nas partes II e III do trabalho. Ainda não é possível caracterizar de forma mais precisa a variabilidade interanual da precipitação devido à pouca quantidade de anos, mas uma estimativa seria em torno de 370 mm (i.e., cerca de 20% como coeficiente de variação).

Tabela 2.2 – Total acumulado, média e desvio padrão de precipitação para os anos considerados na análise (em mm).

Anos	1994	2000	2002	2003	2005	2006	Média	Desvio padrão
<b>Total acumulado</b>	2337	1945	1364	1800	1420	2037	1817,2	373,7

A Figura 2.2 representa o número médio de eventos por mês e seu desvio padrão. Nota-se um maior (menor) número de eventos na estação chuvosa (seca). Nos meses março e abril (outubro e novembro) ocorre um número máximo (mínimo) de eventos. O maior (menor) desvio padrão encontra-se nos meses de janeiro e maio (julho e dezembro). Isso ocorre porque o número de eventos nos meses de transição é muito sensível ao adiantamento/atraso do início/fim da estação chuvosa. Observa-se que, nos meses mais chuvosos (fevereiro, março, abril e maio), ocorre em média mais do que um evento por dia, pois o número médio de eventos excede 30. Os meses de janeiro, junho e julho apresentam eventos de chuva durante mais da metade do mês, e os meses mais secos (agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro) apresentam menos que 10 eventos por mês.

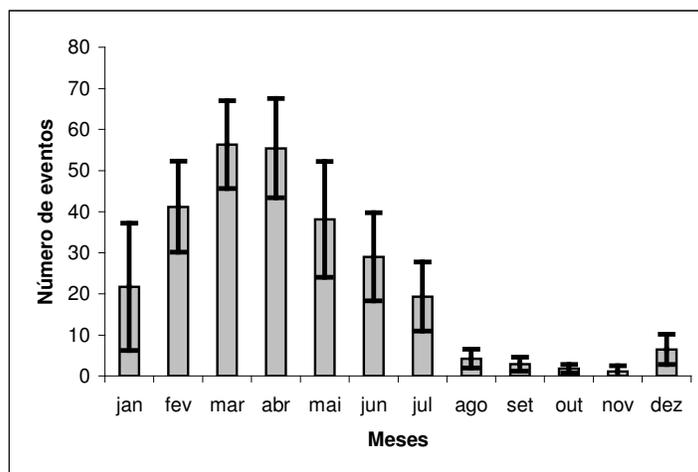


Figura 2.2 – Número médio de eventos por mês e o seu desvio padrão.

## 2.4.2 Histogramas

De maneira geral, de acordo com a Figura 2.3, a maior parte dos eventos de chuva que ocorrem na região do CLA pertencem à primeira categoria, i.e., total de precipitação inferior a 0,5 mm. Uma análise visual dos histogramas das Figuras 2.3a-c mostra que, nas primeiras classes, basicamente predomina um decaimento exponencial, onde há uma expressiva queda de uma categoria para a seguinte. A partir da terceira ou quarta categoria, os histogramas possuem um padrão muito diferente do exponencial. Este padrão aparece em todas as variáveis (que ainda serão mostradas). O trimestre SON não possui o número mínimo de eventos necessários para que a distribuição seja representativa e por isso, não foi representado.

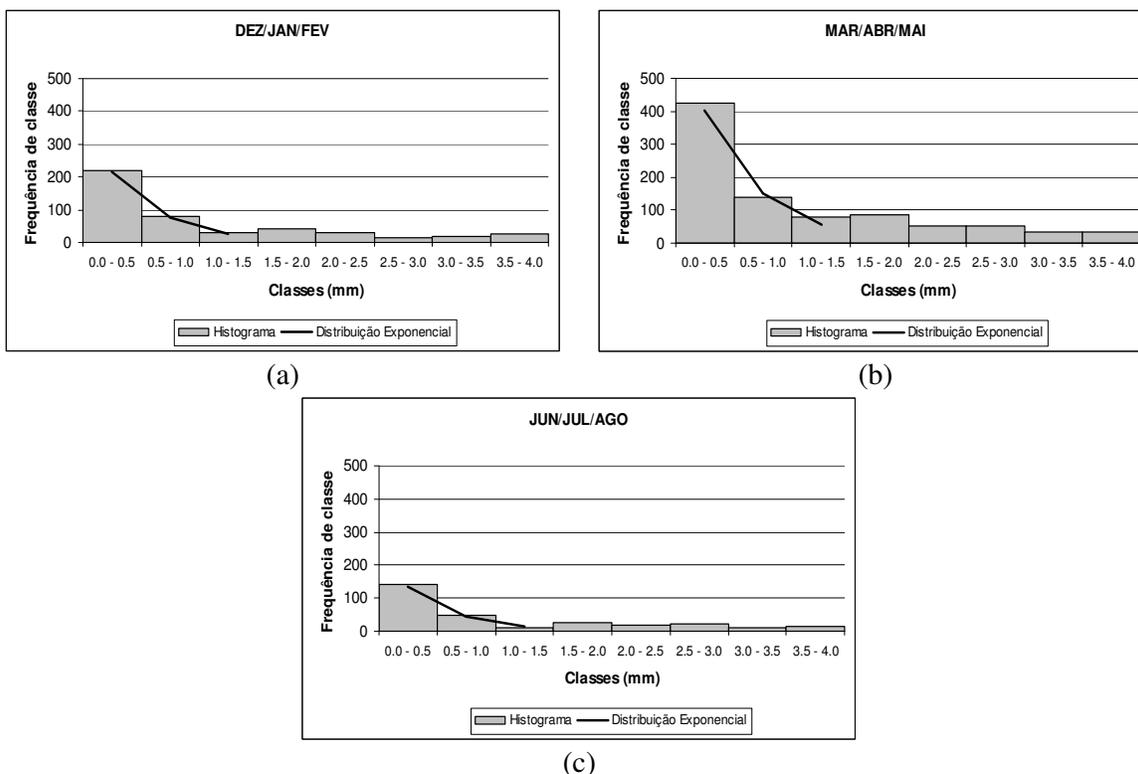


Figura 2.3 – Histogramas de frequência para o total acumulado de precipitação em Alcântara (a) no primeiro trimestre, (b) no segundo trimestre (c) no terceiro trimestre do período de set/93 a mar/07.

A Figura 2.4 mostra o histograma referente ao número de horas consecutivas com chuva (duração do evento). O trimestre SON foi descartado por não possuir o número mínimo de eventos. Percebe-se que os eventos de chuva no CLA possuem curta duração: a maioria dos eventos possui duração inferior a 1 h. A quantidade de eventos decai abruptamente conforme aumenta o número de horas com chuva. Examinando as Figuras 2.3 e 2.4 simultaneamente, pode-se concluir que, geralmente, as chuvas são fracas (total) e breves (duração).

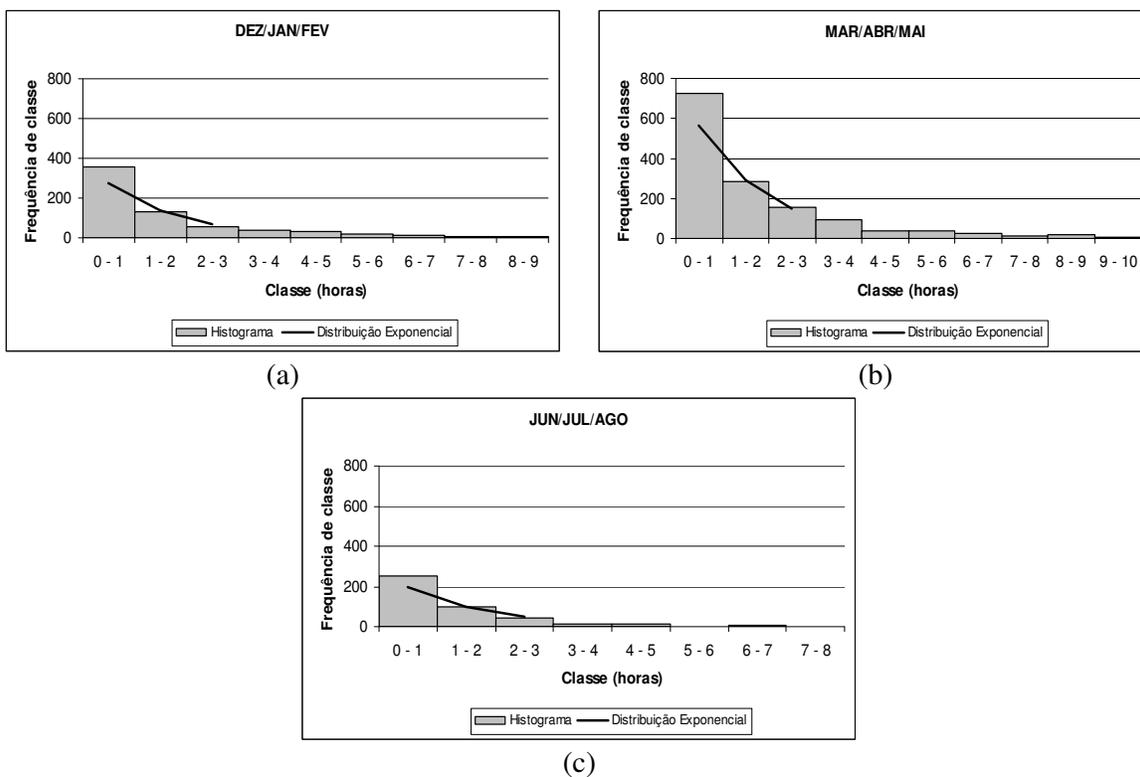


Figura 2.4 – Histograma de frequência para o número de horas consecutivas com chuva em Alcântara correspondente ao (a) do primeiro trimestre, (b) do segundo trimestre, (c) do terceiro trimestre do período de set/93 a mar/07.

A Figura 2.5 mostra que a intensidade média é inferior a  $0,5 \text{ mm h}^{-1}$  na maioria dos casos. Da mesma forma que o total de precipitação, a maioria dos eventos apresenta precipitação máxima horária inferior a  $0,5 \text{ mm}$  (Figura 2.6). Um evento extremo que se destacou aconteceu no segundo trimestre, no mês de maio de 2000 com uma

precipitação máxima de 9,8, 3 horas de duração e um total de precipitação acumulada de 28,2 mm.

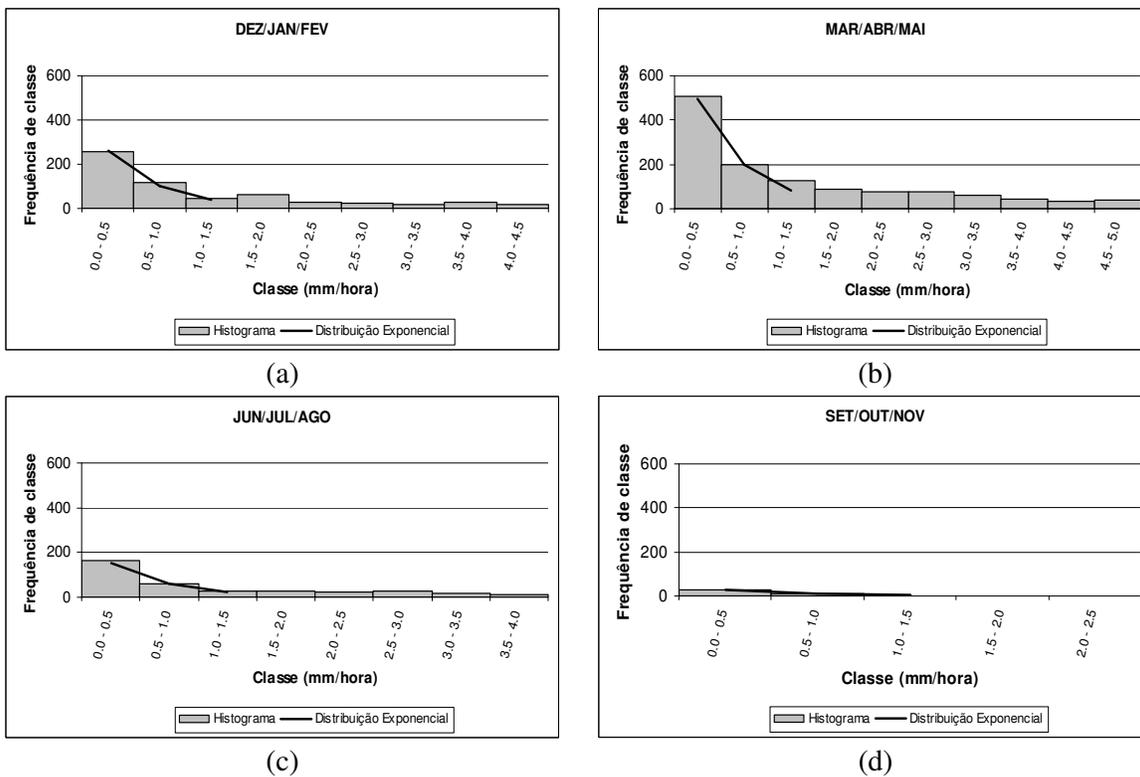


Figura 2.5 – Histograma de frequência para a intensidade média horária dos eventos em Alcântara (a) no primeiro trimestre, (b) no segundo trimestre (c) no terceiro trimestre e (d) no quarto trimestre do período de set/93 a mar/07.

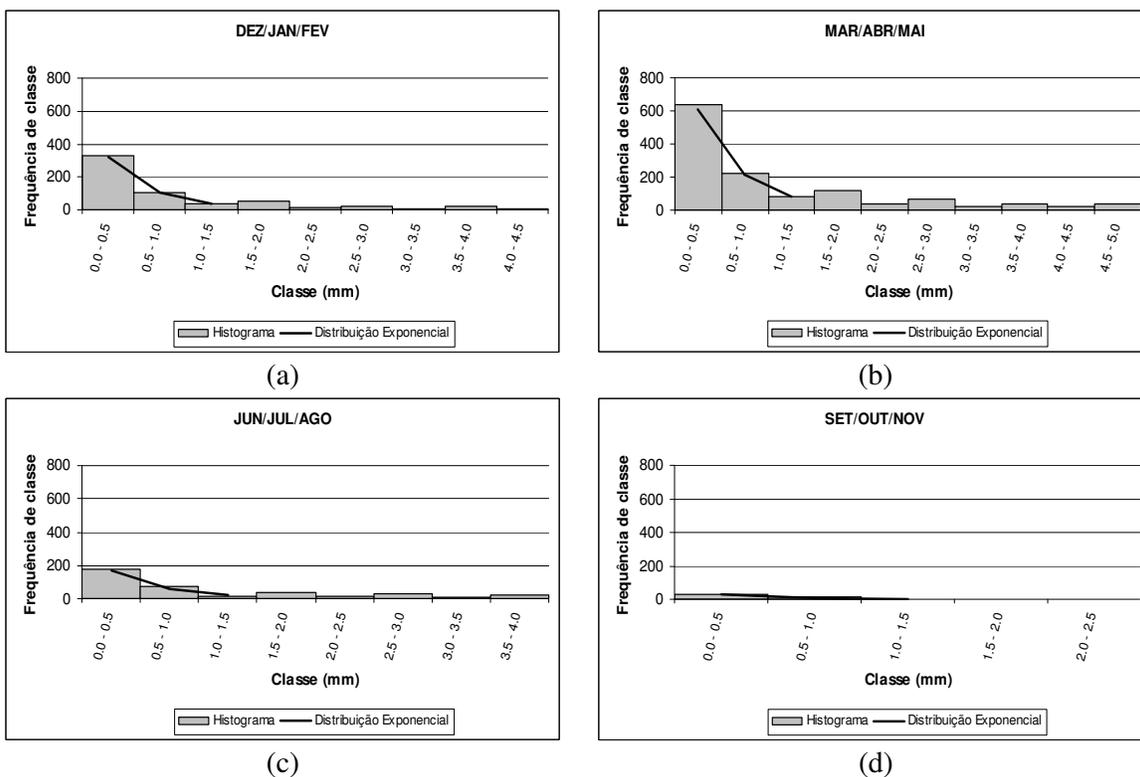


Figura 2.6 – Histograma de frequência para a precipitação máxima dos eventos em Alcântara (a) no primeiro trimestre, (b) no segundo trimestre (c) no terceiro trimestre e (d) no quarto trimestre do período de set/93 a mar/07.

A distância (em horas) entre os eventos está concentrada no intervalo de 1 a 2 horas na estação chuvosa, o que indica que os intervalos entre um evento e outro é pequeno (Figura 2.7). No trimestre mais chuvoso (segundo trimestre) houve um caso onde o intervalo entre um evento e outro foi de 235 horas, o que equivale a aproximadamente dez dias sem chuva. Este evento pode ter sido um caso de veranico, fenômeno meteorológico que consiste em um período de estiagem em plena estação chuvosa. Na estação seca, os eventos ocorrem de forma intermitente. A maior distância entre um evento e outro chega a 884 horas (cerca de 37 dias sem chuva).

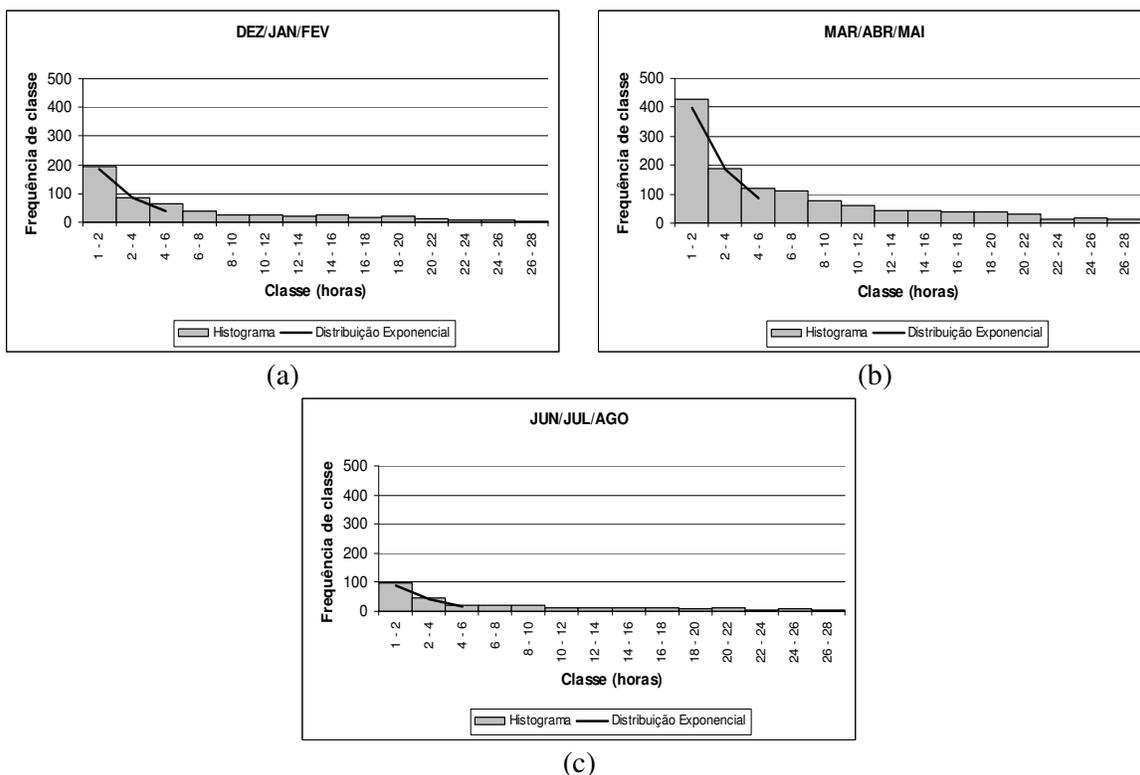


Figura 2.7 – Histograma de frequência para a distância entre os eventos de chuva de Alcântara correspondente ao (a) primeiro trimestre, (b) segundo trimestre, (c) terceiro trimestre do período de set/93 a mar/07.

Como observado nas Figuras 2.3 a 2.7, há uma expressiva queda exponencial entre as primeiras três classes, apresentando assim aderência no teste  $\chi^2$ .

A Figura 2.8 (a) mostra que, em geral, a chuva é bem distribuída ao longo do dia em DJF. Ocorre um mínimo de eventos entre 15 e 18 HL e um máximo entre 06 e 09 HL. Em MAM (Figura 2.8 b) o número de eventos aumenta consideravelmente. O máximo de eventos encontra-se entre 03 e 09 HL, enquanto que o mínimo entre 12 e 15 HL. O terceiro trimestre retoma o padrão bem distribuído. O último trimestre, representante da estação seca, concentra a chuva no período diurno, principalmente de 03 a 15 HL.

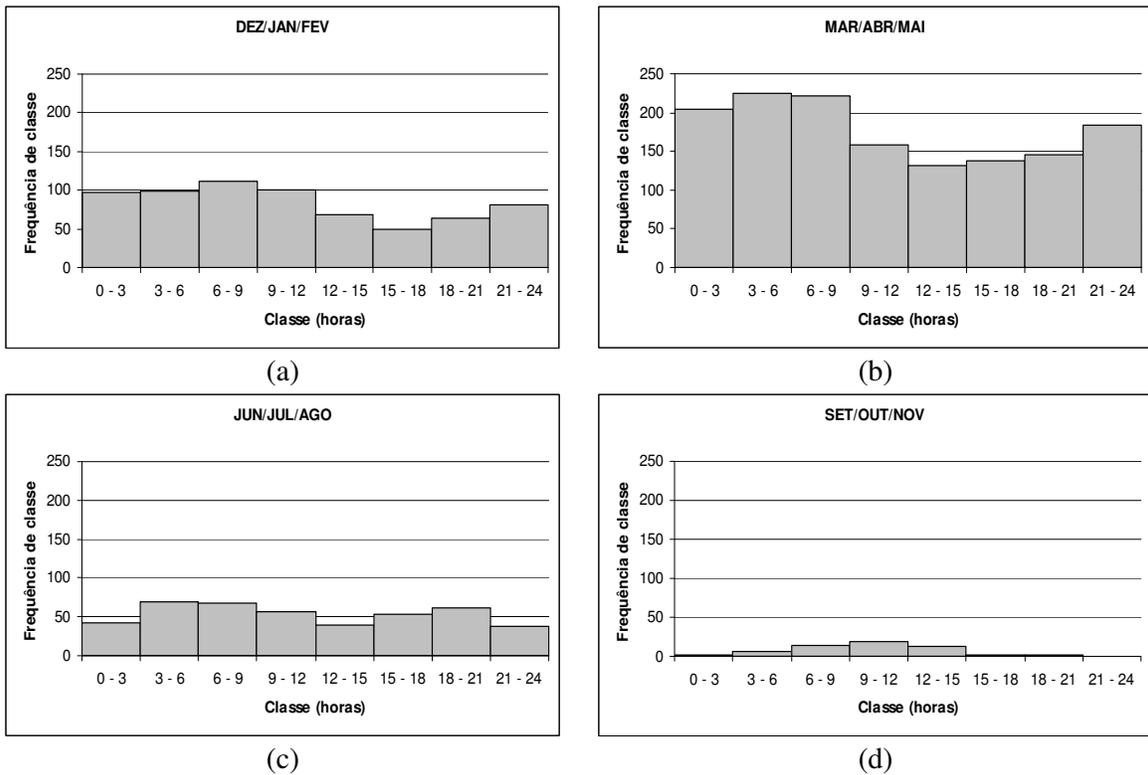


Figura 2.8 – Histograma de frequência para a distribuição da chuva de Alcântara no decorrer do dia (a) no primeiro trimestre, (b) no segundo trimestre, (c) no terceiro trimestre e (d) no quarto trimestre para o período de set/93 a mar/07.

A Figura 2.9 mostra o volume médio de chuva acumulado em função da hora local. Em DJF, pode-se observar um total de chuva maior para eventos que se iniciam entre 18 e 06 HL. Em MAM, o volume maior de chuva ocorre nos eventos que se iniciam entre 18 e 03 HL. Pode-se concluir que o maior número de eventos que ocorre entre as 03 e 09 HL em MAM (Figura 2.8b) não são os responsáveis pelo maior volume de chuva (Figura 2.9b). Em JJA, o maior volume de chuva ocorre entre 18 e 03 HL. Em SON, o volume de chuva é pequeno durante todo o dia, apresentando um máximo entre 18 e 21 HL. É interessante ressaltar que na estação seca os maiores totais de precipitação ocorrem no período noturno.

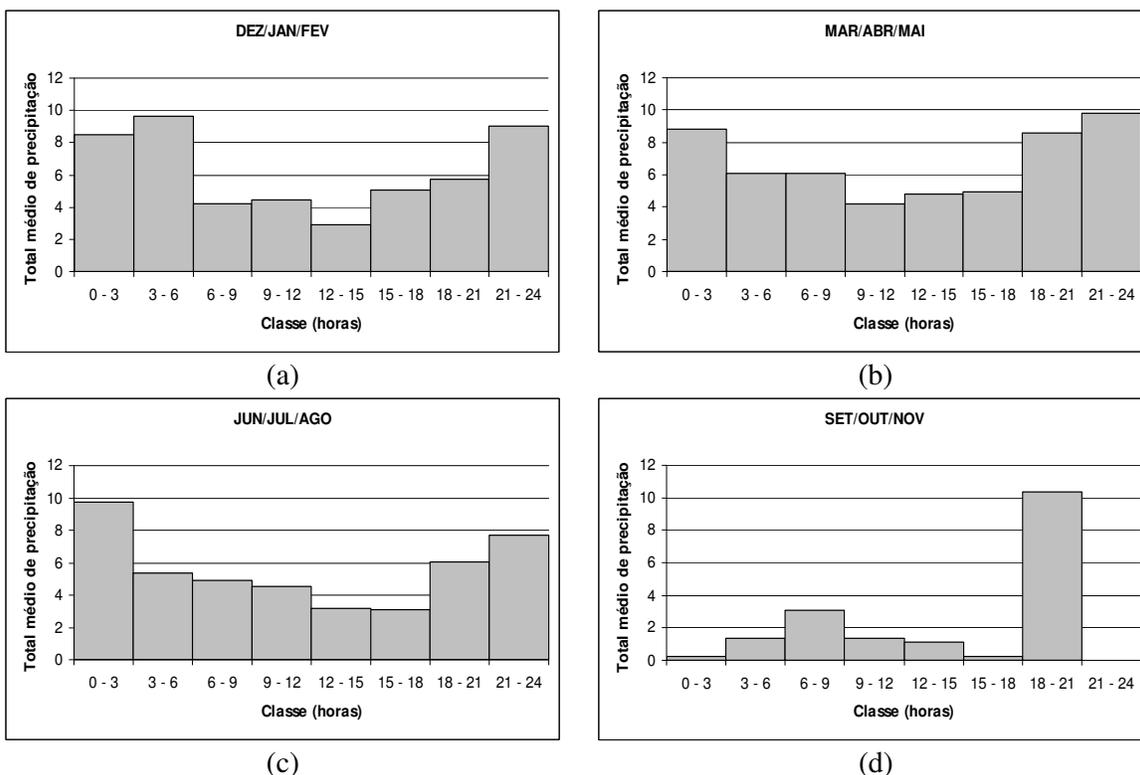


Figura 2.9 – Histograma do total médio de chuva acumulada para os eventos das classes da Figura 2.8 (a) no primeiro trimestre, (b) no segundo trimestre, (c) no terceiro trimestre e (d) no quarto trimestre para o período de set/93 a mar/07.

## 2.5 Conclusões

As principais conclusões da Parte I são:

- Ratificando o trabalho de Pereira et al. (2002), os meses março e abril (setembro, outubro e novembro) caracterizam bem a estação chuvosa (seca) pois são os meses em que os máximos (mínimos) de precipitação são atingidos;
- Na estação chuvosa (seca), o número médio de eventos por mês encontra-se entre 50 e 60 (é menor que 10).
- Os eventos de chuva em sua maioria possuem pouco total acumulado ( $< 0,5$  mm), “curta duração” ( $< 1$  h), pequena intensidade ( $< 0,5$  mm h<sup>-1</sup>), precipitação máxima baixa ( $< 0,5$  mm h<sup>-1</sup>) e são frequentes (muitas vezes ao dia) na estação chuvosa;

- Em DJF o número de eventos de chuva é bem distribuído durante todo o dia. Em MAM, o número de eventos é maior comparado aos outros trimestres e apresenta um máximo de eventos entre 03 e 09 HL. Em JJA, o número de eventos é bem distribuído também, porém há um pico entre 03 e 06 HL. SON concentra os poucos eventos no período diurno;
- O volume de chuva se demonstra mais variável do que o número de eventos. Em DJF, observa-se um total maior de chuva entre 18 e 06 HL, em MAM e em JJA entre 18 e 03 HL e em SON entre 18 e 21 HL.

## **3 PARTE II: CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS**

### **3.1 Objetivo**

Caracterizar os fatores/sistemas associados à precipitação no CLA para os eventos de 2005 a 2006 utilizando dados de satélite e Reanálise.

### **3.2 Material**

#### **3.2.1 Temperatura de brilho no canal infravermelho**

São utilizadas imagens do canal do infravermelho do satélite geoestacionário GOES-12 com espaçamento temporal (espacial) de 30 minutos e (4 km). Estas imagens encontram-se em projeções retangulares (linear em latitude e longitude). As imagens do canal infravermelho geradas pelo satélite GOES-12 permitem a visualização de nuvens no período tanto diurno quanto noturno, o que é adequado para estudar eventos de chuva ocorridos em qualquer horário do dia. As imagens referem-se a dados de temperatura de brilho no canal infravermelho (TB), que por sua vez permitem estimar a altura do topo das nuvens. Valores baixos (altos) de TB estão relacionados a nuvens com topos mais altos (baixos) e portanto mais frios (mais quentes). Os dados de satélite são provenientes da DSA (Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais) do CPTEC. Os dados são utilizados para extrair informações sobre as características (dimensão, morfologia, etc.) da nebulosidade associada à precipitação no CLA e abrangem o período de janeiro de 2005 a dezembro de 2006.

#### **3.2.2 Reanálise do NCEP/NCAR**

Os dados do National Centers for Environmental Prediction / National Center for Atmospheric Research (NCEP / NCAR) possuem espaçamento espacial de  $2,5^\circ \times 2,5^\circ$  cobrindo todo o globo e espaçamento temporal de 6 horas representando os horários das 00, 06, 12, e 18 UTC de cada dia. Os dados estão dispostos em 17 níveis de pressão, desde 1000 até 10 hPa, sendo algumas variáveis descritas em níveis sigma, e estão

disponíveis no sítio<sup>1</sup> da internet do Climate Diagnostics Center / National Oceanic and Atmospheric Administration (CDC / NOAA). As variáveis utilizadas neste trabalho estão listadas Tabela 3.1. Maiores detalhes sobre os dados encontram-se em Kalnay et al. (1996). Os dados são utilizados para identificar os fatores/sistemas de grande escala associados aos eventos de chuva no CLA.

Tabela 3.1 – Lista de variáveis da Reanálise do NCEP/NCAR utilizados no trabalho.

<b>Variável</b>	<b>Nível (hPa)</b>	<b>Período</b>
Componente zonal do vento	200, 700 e 925	2005 a 2006
Componente meridional do vento	200, 700 e 925	2005 a 2006

### 3.2.3 Radiação de Onda Longa Emergente (ROLE)

A presença de nuvens convectivas nos trópicos pode ser detectada através de dados de ROLE. Valores baixos de ROLE indicam nebulosidade de topo alto que pode estar associada a nuvens cumulonimbus (Cb) ou nimbostratus (Ns) e, assim, à ocorrência de precipitação. Os dados de ROLE são obtidos a partir de imagens dos satélites NOAA e são disponíveis a partir de 1974. Os dados utilizados neste trabalho são obtidos através do sítio<sup>2</sup> do CDC/NOAA, possuem espaçamento espacial de  $2,5^\circ \times 2,5^\circ$  cobrindo todo o globo e possuem espaçamento temporal diário. Maiores detalhes sobre os dados de ROLE encontram-se em Liebmann e Smith (1996). Os dados são utilizados para assistir a identificação da Zona de Convergência Intertropical.

---

<sup>1</sup> <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis.html>, acessado em 20 de outubro de 2007.

<sup>2</sup> [http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.interp\\_OLR.html](http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.interp_OLR.html), acessado em 20 de outubro de 2007.

### **3.2.4 Totais horários de precipitação no CLA**

Os totais horários de precipitação no CLA para o período de 2005 a 2006 são utilizados. Maiores detalhes sobre os dados são encontrados na Parte I, seção 2.2.

### **3.2.5 Boletim Climanálise**

O Boletim Climanálise, editado pelo CPTEC/INPE, descreve e analisa mensalmente os sistemas meteorológicos que atuam no Brasil. Os fascículos do boletim em 2005 e 2006 são utilizados sempre que necessário para confirmar as informações obtidas através dos dados observados. Acessa-se o boletim através do sítio<sup>3</sup> na internet, disponibilizado pelo CPTEC.

## **3.3 Metodologia**

A metodologia é apresentada em duas subseções: na primeira, são definidos os critérios de identificação de sistemas meteorológicos de grande escala que atuaram no CLA nos anos de 2005 e 2006; na segunda, é mostrado como os eventos de chuva sobre o CLA são caracterizados e são definidos os critérios para a identificação dos fatores/sistemas de mesoescala e escala local associados à precipitação sobre o CLA. As etapas do trabalho e os dados utilizados em cada etapa estão mostrados na Figura 3.1.

---

<sup>3</sup> <http://www6.cptec.inpe.br/revclima/boletim>, acessado em 05 de dezembro de 2007.

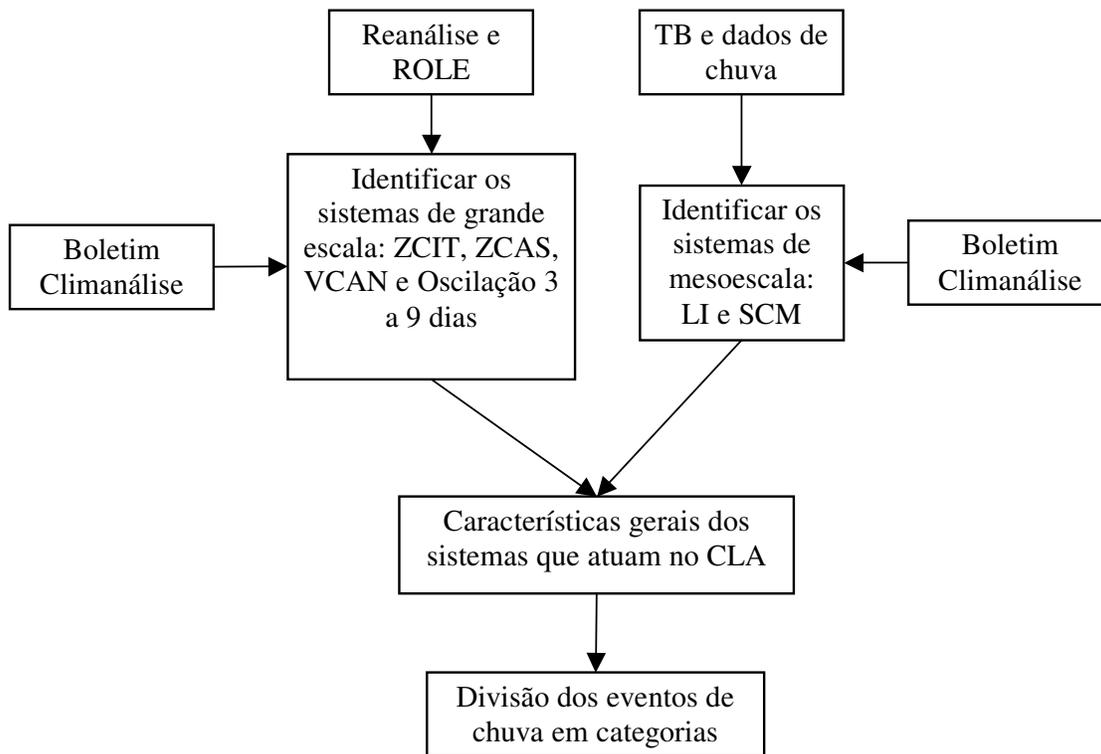


Figura 3.1 – Fluxograma das etapas do trabalho.

A metodologia baseia-se na identificação dos fatores/sistemas meteorológicos atuantes e na caracterização da nebulosidade no CLA e adjacências **nos horários de ocorrência de chuva**. O termo “sistemas” utilizado no decorrer do texto refere-se tanto aos fatores/sistemas meteorológicos quanto à organização da nebulosidade no CLA e adjacências. O termo “evento” refere-se a “evento de chuva” como definido na Parte I.

### 3.3.1 Identificação dos sistemas de grande escala

Os sistemas de grande escala considerados são: Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Oscilação de 3 a 9 dias. A seguir está descrita a metodologia utilizada para identificar cada um desses sistemas.

### 3.3.1.1 Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)

A ZCIT pode ser entendida como uma zona de convergência em baixos níveis caracterizada por uma persistente banda de nebulosidade convectiva próxima ao Equador. A ZCIT está associada à Zona de Confluência dos Alísios e ao cavado equatorial, e a sua localização depende, além de fatores atmosféricos, de fatores oceânicos [p.ex., temperatura da superfície do mar (TSM)]. A ZCIT integra a circulação geral da atmosfera, sendo associada ao ramo ascendente da célula de Hadley. A Figura 3.2 mostra dois exemplos de atuação da ZCIT. No primeiro exemplo (Figura 3.2a), a ZCIT encontra-se a norte da costa norte do NEB e no segundo exemplo (Figura 3.2b) a extremidade oeste da ZCIT está exatamente sobre o CLA.

Com o objetivo de filtrar as flutuações de alta frequência, é utilizada a técnica de pântadas para identificar a ZCIT. Esta técnica também foi utilizada por Ferreira et al. (2005) e Uvo (1989). Para o período de estudo (2005 a 2006) são obtidas 72 pântadas para cada ano. Cada pântada corresponde à média de cinco dias e a primeira inicia no dia 1º de janeiro de 2005. As pântadas são calculadas para os dados de ROLE, que permitem identificar as áreas com atividade convectiva em grande escala, e os dados da componente zonal (u) e meridional (v) do vento da Reanálise do NCEP/NCAR, que permitem obter a circulação (linhas de corrente) e a divergência no nível de 925 hPa.

Como a ZCIT é mais facilmente identificada sobre o oceano (MELO et al., 2002; XAVIER et al., 2000), seleciona-se a área oceânica compreendida entre as latitudes 5°S-10°N e longitudes 35°W-15°W. Nesta área, traça-se uma primeira linha que representaria a ZCIT considerando somente os dados de ROLE. Para isso, são considerados valores de ROLE menores do que  $240 \text{ W m}^{-2}$ , que é o limiar proposto por Coêlho (2002) para representar a atividade convectiva associada à ZCIT. Outros limiares seriam também possíveis: Gadgil e Guruprasad (1990) utilizaram o intervalo entre 180 e  $210 \text{ W m}^{-2}$ ; e Ferreira et al. (2005) utilizaram o valor de  $230 \text{ W m}^{-2}$ .

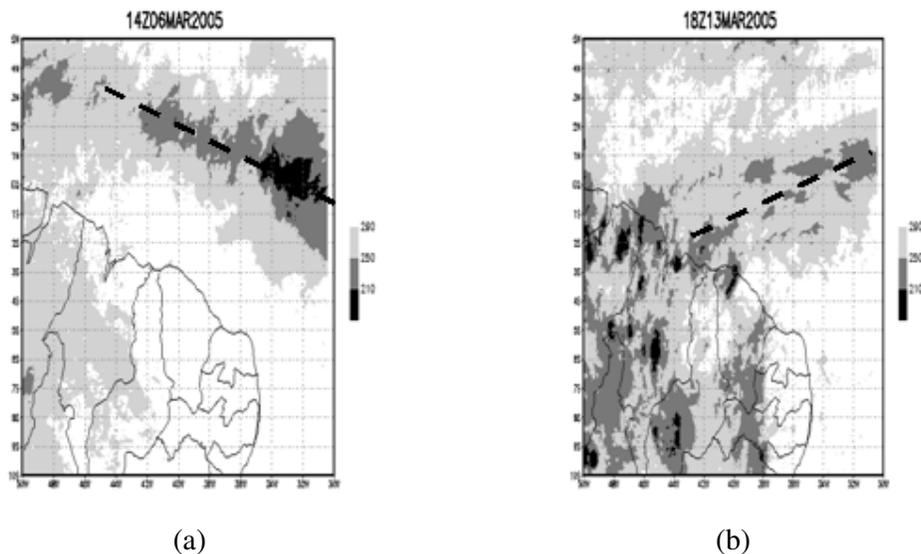


Figura 3.2 – Figuras de TB representativas da ZCIT onde (a) se refere ao dia 6 de março de 2005 às 14Z e (b) se refere ao dia 13 de março de 2005 às 18Z. A linha pontilhada indica a posição da ZCIT.

Para a análise do campo de vento, escolhe-se a região dentro da área selecionada cuja divergência do vento horizontal é menor do que  $-4,5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$  em 925 hPa (i.e., região de convergência) e onde ocorre confluência do vento horizontal. Sobre esta região, uma segunda linha é desenhada indicando a região de confluência/convergência do vento horizontal em baixos níveis; essa linha é mais um indicador da localização da ZCIT. A região de confluência dos ventos foi utilizada por Melo et al. (2002); Xavier et al. (2000) e Coêlho (2002) para identificar a ZCIT.

As duas linhas construídas dentro da área selecionada são estendidas até a longitude de  $45^\circ\text{W}$ , onde está localizado o CLA; as duas linhas interceptam a longitude de  $45^\circ\text{W}$  em duas latitudes. A média dessas latitudes corresponde à localização da ZCIT. Essa média é calculada para considerar tanto os dados de ROLE (nebulosidade) quanto os dados de vento (convergência em baixos níveis) para determinar a posição da ZCIT. Dessa forma, é possível determinar a latitude onde a ZCIT atravessa a longitude do CLA.

O Boletim Climanálise mostra a posição da ZCIT dados em pântadas e essa informação é utilizada para comparar com os resultados. O algoritmo utilizado pelo CPTEC

consiste em fixar uma longitude e determinar o ponto de ROLE mínimo, traçando assim uma linha com a posição média da ZCIT para cada pântada (FERREIRA et al., 2005). A longitude de 45°W foi fixada e observada a latitude indicada pelo Climanálise. A base de comparação foi a medida de latitude. Os resultados obtidos no trabalho são semelhantes aos publicados no Climanálise.

Somente são selecionadas as pântadas nas quais a ZCIT influencia diretamente a precipitação sobre o CLA; neste trabalho, considera-se que isso ocorre quando a posição latitudinal da ZCIT em 45°W encontra-se no Hemisfério Sul.

### **3.3.1.2 Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN)**

Os VCAN são sistemas de escala sinótica definidos como centros fechados de baixa pressão situados na alta troposfera. O centro do vórtice ciclônico é mais frio do que sua borda, havendo subsidência de ar frio e seco no centro e ascendência de ar úmido e quente na periferia, caracterizando uma circulação termicamente direta (GAN, 1982). O centro do vórtice é caracterizado pela ausência de nebulosidade. Silva (2005) relacionou a nebulosidade e a precipitação associadas a VCAN e confirmou que o centro do vórtice inibe a chuva enquanto que a periferia do vórtice aumenta. A Figura 3.3 mostra uma circulação ciclônica fechada sobre a costa leste do NEB indicando o caso de um VCAN atuando no NEB.

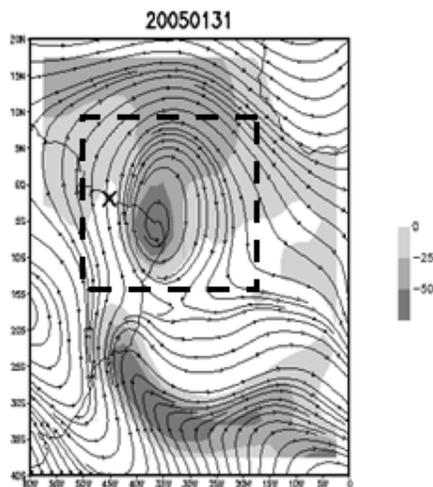


Figura 3.3 – Média diária de linhas de corrente e vorticidade relativa em 200 hPa mostrando um VCAN no NEB no dia 31 de janeiro de 2005. A caixa pontilhada indica a posição do VCAN.

Para a identificação dos VCAN são utilizados dados de Reanálise do NCEP/NCAR. Analisam-se as médias diárias da circulação atmosférica (linhas de corrente) e da vorticidade relativa no nível de 200 hPa sobre o domínio compreendido entre as latitudes de 40° S e 20° N e as longitudes de 0° W e 60° W.

A identificação dos VCAN é baseada no critério proposto por Silva (2005), conforme o qual VCAN é identificado quando o campo de linhas de corrente em 200 hPa indica uma circulação fechada com vorticidade relativa negativa. Além disso, para selecionar os VCAN que influenciam o CLA, acrescenta-se uma nova condição: a distância do CLA à borda do VCAN (DAV). Para tal, são desenhadas dezesseis circunferências concêntricas centradas sobre o CLA com raio variando de 3 em 3° (Figura 3.4). Considerando um exemplo no qual a borda do VCAN está situada entre a terceira e quarta circunferência, o sistema estará a uma distância de 9° do CLA. Assim, considerando que no Equador a distância geométrica equivalente a 1° de latitude seja aproximadamente de 110 km, neste exemplo DAV é igual a 990 km. Com base nesse critério, uma vez identificado um VCAN, as seguintes características são registradas: (1) dia de ocorrência do VCAN; (2) duração; (3) posição (latitude/longitude) do centro

do vórtice; (4) valor de vorticidade no centro do vórtice; (5) DAV. A duração é obtida como o número de dias em que o VCAN identificado permanece configurado. A posição e a vorticidade do centro do VCAN e DAV são obtidos subjetivamente por análise visual.

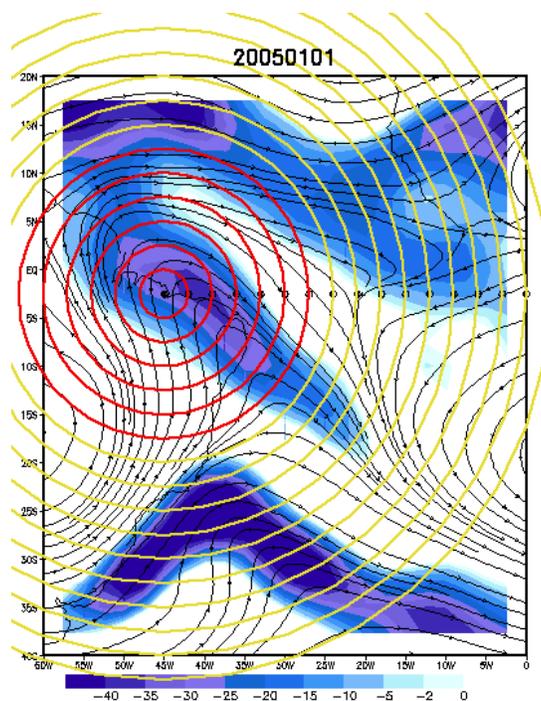


Figura 3.4 – Ilustração das circunferências concêntricas centradas no CLA para determinar a distância do vórtice, onde as circunferências vermelhas representam distâncias menores que 1980 km e as circunferências amarelas ilustram distâncias maiores que 1980 km.

Com base nos resultados obtidos por Silva (2005), considera-se neste trabalho que os VCAN apresentam direta influência sobre a nebulosidade e precipitação no CLA se  $DAV < 2000$  km. De acordo com esta condição, os VCAN localizados a partir da 7ª circunferência (circunferências amarelas ilustradas na Figura 3.4) não são considerados. São considerados todos os VCAN cuja borda encontra-se entre a 1ª e a 6ª circunferência (circunferências vermelhas ilustradas na Figura 3.4).

Como auxílio na identificação e confirmação de casos de VCAN obtidos, são utilizadas as informações do Boletim Climanálise. Em geral, há concordância.

### **3.3.1.3 Oscilação de 3 a 9 dias**

Uma oscilação na escala de 3 a 9 dias na componente meridional do vento em 700 hPa é uma condição necessária para a ocorrência de DOL (MOTA, 1997). Os DOL são entendidos como perturbações nos campos de pressão e vento que ocorrem na região dos ventos alísios e se propagam do Atlântico tropical até a costa do NEB. Estes distúrbios, quando chegam até a costa do NEB, podem se intensificar devido ao aquecimento do continente e podem produzir chuvas com índices maiores do que  $50 \text{ mm dia}^{-1}$  e rajadas de vento maiores do que  $50 \text{ km h}^{-1}$  (MOLION E BERNARDO, 2002). Embora eventos de DOL tenham sido identificados e estudados para o CLA (COUTINHO e FISCH, 2007; ALVES et al., 2006), há indícios de que os DOL sobre o CLA não explicam a totalidade da variabilidade na escala de 3-9 dias do vento meridional em 700 hPa (ALVES et al., 2008). Assim, neste trabalho, analisa-se somente a Oscilação de 3 a 9 dias em vez de DOL.

Para determinar os dias em que a Oscilação de 3 a 9 dias ocorre sobre o CLA, é utilizada a componente meridional do vento em 700 hPa, na longitude do CLA, de dezembro de 2004 a janeiro de 2007, proveniente da Reanálise do NCEP/NCAR, e aplica-se um filtro (média móvel) nos dados. A média móvel é considerada um filtro passa-baixa, isto é, retêm as baixas frequências e remove as frequências mais altas. Primeiramente, é aplicada a média móvel considerando o período de 3 dias; em seguida, considerando o período de 9 dias. Finalmente, subtrai-se a média móvel de 9 dias da média móvel de 3 dias, assim obtendo a série de vento meridional na escala de 3 a 9 dias. O período de estudo se mantém para os anos de 2005 e 2006, porém, o período dos dados é um pouco maior (de dezembro de 2004 a janeiro de 2007) para que não sejam perdidas informações no início e no fim da série por causa do cálculo da média móvel. Aplicado o filtro, selecionam-se os casos em que:

- A amplitude do vento filtrado não seja muito pequena (i.e., seja maior que  $0,5 \text{ m s}^{-1}$ ) de modo a desconsiderar pequenas flutuações;
- O vento filtrado mude de sinal (de positivo para negativo) na longitude do CLA. A motivação deste critério é a mudança de sinal do vento meridional associada à passagem de cavado sobre o CLA (vento de sul para vento de norte). Essa mudança de sinal é utilizada para identificar a localização temporal da ação de DOL em vários estudos (p.ex., MOTA, 1997; BARBOSA, 2005).

#### **3.3.1.4 Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)**

A ZCAS é um dos sistemas mais importantes no verão da América do Sul e é caracterizada por extensa uma faixa de nebulosidade de orientação NW/SE (desde a Amazônia em direção ao sudeste do Brasil) associada a totais elevados de precipitação. A ZCAS se forma principalmente devido à presença de sistemas frontais semi-estacionários que se formam sobre a região do sudeste do Brasil (ZAICOVSKI, 1999). O tempo de permanência mínima do sistema para que se considere a formação da ZCAS é tipicamente de 4 dias (QUADRO, 1994).

Um levantamento da ocorrência de eventos de ZCAS é feito através das informações do Boletim Climanálise. Este boletim descreve todos os casos de ocorrência de ZCAS, apresentando uma análise sinótica e regional destes casos. Esse levantamento leva em consideração todos os dias de todos os meses do ano entre 2005 e 2006 que apresentam casos de ZCAS. A Figura 3.5 mostra um exemplo de ZCAS atuando sobre a América do Sul. Pode-se observar que a ZCAS organiza a nebulosidade sobre São Paulo, oeste de Minas Gerais, Goiás caminha em direção a Tocantins e influencia o Maranhão.

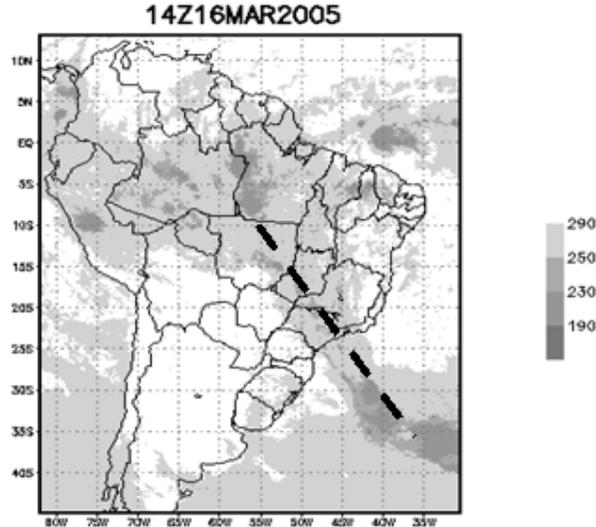


Figura 3.5 – Temperatura de brilho do dia 16 de março de 2005 às 14 Z indicando a presença da ZCAS que atuou no sudeste do Brasil entre os dias 15 e 20 de março. A linha tracejada mostra a orientação NW-SE da ZCAS.

### 3.3.2 Caracterização dos eventos de chuva

A partir de dados de TB e de informações do Boletim Climanálise, são estudados os padrões de nebulosidade associados à precipitação no CLA entre os anos de 2005 e 2006. A partir desta análise é elaborado um levantamento com características individuais de cada evento de chuva.

Também é analisada a ocorrência de Linhas de Instabilidade (LI) e Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) através de identificação visual. A identificação da ocorrência de LI é realizada subjetivamente através de dados de TB às 21 UTC, horário no qual as LI encontram-se bem definidas (COHEN et al., 1989), e de acordo com os padrões clássicos de LI descritos em Cavalcanti (1982). Os SCM são identificados através de dados de TB, verificando se a nebulosidade possui um padrão circular (MADDOX, 1980) e tamanho horizontal suficientemente grande (área mínima de  $10^4$  km).

Uma vez feita a identificação dos sistemas de grande escala (seção 3.3.1), obteve-se a contribuição das diferentes escalas na precipitação do CLA, adotando-se os seguintes critérios: conta-se o número de eventos associados aos sistemas de grande escala (ZCIT, ZCAS, VCAN e Oscilação de 3 a 9 dias), conta-se os números de eventos associados a mesoescala (LI e SCM) e, por exclusão, o restante dos eventos foram considerados de escala local (i.e., sistemas de tamanho pequeno e não associada a fatores de grande e mesoescala).

Com o propósito de caracterizar os eventos de acordo com a nebulosidade, são separados eventos associados à nebulosidade convectiva e nebulosidade estratiforme. Para tal, adota-se um limiar de TB de 250 K, onde valores menores (maiores) que esse limiar estão associados à nebulosidade convectiva (estratiforme). Um limiar próximo a esse ( $TB < 245$  K) foi utilizado por Vila e Machado (2004) para identificar nuvens associadas à convecção. Uma mudança no limiar adotado pode acarretar uma alteração nos resultados, pois o limiar que melhor representa a nebulosidade de Alcântara não é bem conhecido e precisa ser melhor avaliado em trabalhos futuros. A Figura 3.6 ilustra os limiares adotados – além do limiar de 250 K, utilizam-se os limiares de 270 K (nebulosidade estratiforme entre 250 e 270 K) e 230 K (núcleos convectivos para  $TB < 230$  K). Os anos de 2005 e 2006 não apresentaram grandes diferenças em relação à fração de eventos com nebulosidade convectiva e estratiforme. Dessa forma, os dois anos são apresentados conjuntamente com um total de 586 eventos. São descartados 24% deste total de eventos por falta de imagem. O principal foco do estudo é identificar e caracterizar a **nebulosidade associada à precipitação no CLA** (NAP). A divisão dos eventos associados a nebulosidade convectiva e estratiforme é feita da seguinte forma:

- Se a NAP **não está associada** a um sistema com  $TB < 250$  K, os eventos são subdivididos em dois grupos: o primeiro (segundo) contém os eventos que não estão associados (estão associados) a enfraquecimento de sistema convectivo.
- Se a NAP **está associada** a um sistema com  $TB < 250$  K, algumas características mais específicas, que são descritas em detalhe a seguir, são analisadas (Figura 3.7):

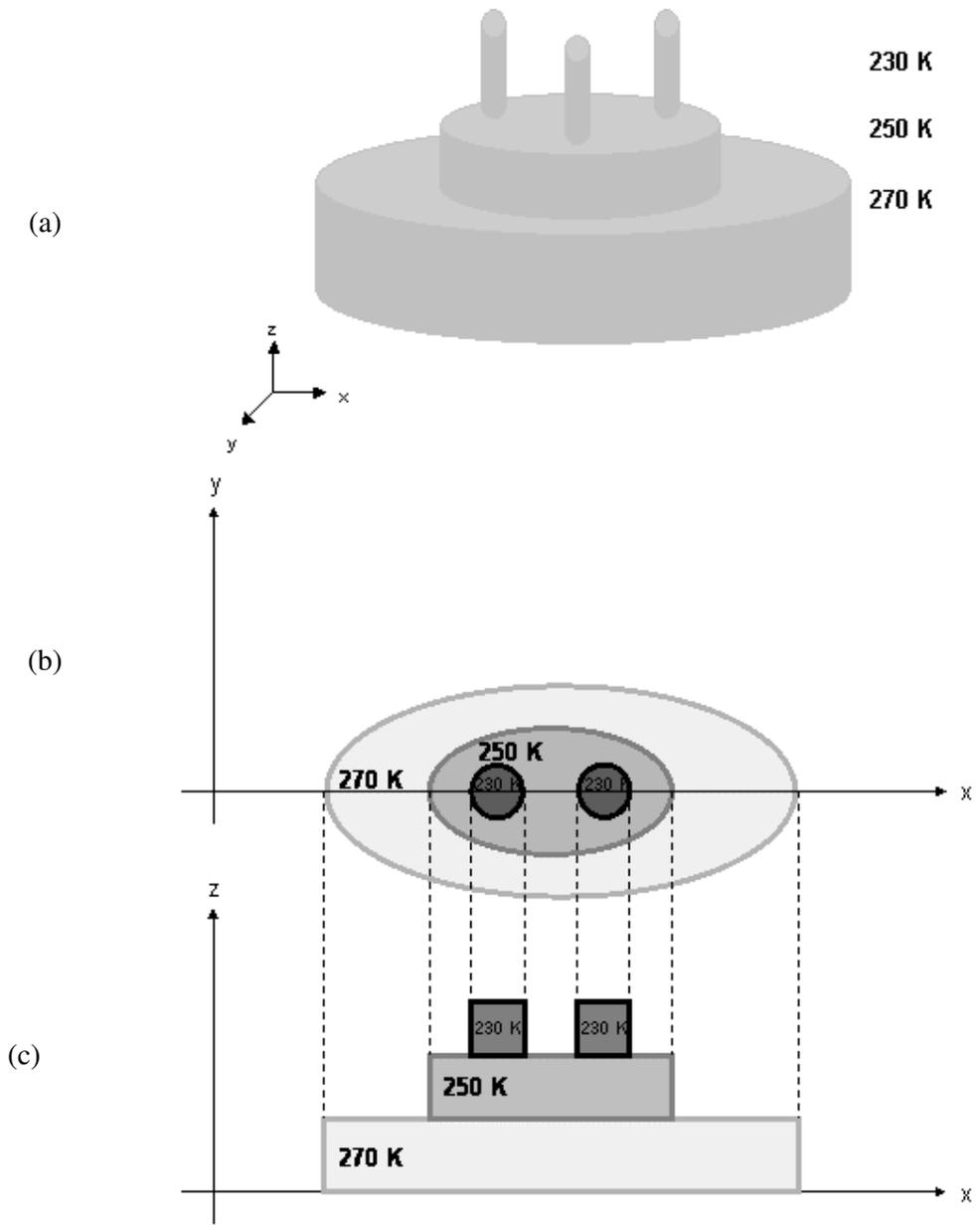


Figura 3.6 – Ilustração dos limiares adotados para a separação da nebulosidade convectiva da estratiforme. A nebulosidade estratiforme é identificada através de  $TB < 270\text{ K}$ , a nebulosidade convectiva é identificada por  $TB < 250\text{ K}$  e os núcleos convectivos por  $TB < 230\text{ K}$ . A figura (a) mostra uma visão tridimensional, em (b) um corte na horizontal e em (c) um corte na vertical.

a) Existência de núcleos convectivos ( $TB < 230$  K)

Os sistemas podem possuir **núcleos convectivos** no seu interior, i.e., aglomerado de nuvens com TB abaixo de 230 K. Os eventos possuem três configurações básicas que estão ilustradas na Figura 3.8 e são subdivididos em três grupos: (1) não há núcleos convectivos no interior da área onde  $TB < 250$  K (Figura 3.8a); (2) há núcleos convectivos, mas nenhum deles encontra-se sobre o CLA (Figura 3.8b); e (3) há núcleo convectivo sobre o CLA (Figura 3.8c).

b) Área do sistema

Os eventos estão divididos em três grupos em função da área do sistema com  $TB < 250$  K. A Figura 3.9 ilustra estes três grupos. No primeiro (Figura 3.9a), encontram-se os eventos cujo sistema possui área menor que  $1^\circ \times 1^\circ$  ( $\sim 10^4$  km<sup>2</sup>); no segundo (Figura 3.9b), área entre  $1^\circ \times 1^\circ$  e  $5^\circ \times 5^\circ$  ( $\sim 10^4$  km<sup>2</sup> a  $25 \times 10^4$  km<sup>2</sup>); no terceiro (Figura 3.9c), área superior a  $5^\circ \times 5^\circ$  ( $\sim 25 \times 10^4$  km<sup>2</sup>). As perturbações convectivas definidas em Guedes e Machado (2003) possuem tamanhos no limite entre o segundo e terceiro grupos (escala meso  $\alpha$  conforme ORLANSKI, 1975).

c) Posição do sistema em relação ao CLA

No primeiro grupo selecionam-se os eventos nos quais a **borda** do sistema encontra-se sobre o CLA (Figura 3.10a). No segundo grupo, o CLA está no interior do sistema (Figura 3.10b). No terceiro grupo (Figura 3.10c), o CLA permanece no **exterior** do sistema (i.e., sobre o CLA,  $TB > 250$  K, mas a NAP estaria associada à parte estratiforme de um sistema com  $TB < 250$  K próximo do CLA).

d) Fase do ciclo de vida

Esta característica também é dividida em três novos grupos: (1) eventos cujo sistema está na fase final do ciclo de vida, i.e., no enfraquecimento ou na dissipação, (2) eventos cujo sistema apresenta intensificação ou está maduro por convecção diurna e (3) eventos cujo sistema apresenta intensificação ou está maduro por convecção noturna.

#### e) Situação do entorno

Esta caracterização é realizada para avaliar como se apresenta o entorno do CLA no momento da precipitação. A Figura 3.11 representa algumas das possíveis situações de entorno visualizadas durante o período de estudo. Para tal, são estabelecidos quatro novos grupos: (1) eventos considerados como chuva isolada, i.e., o entorno apresenta apenas um sistema de tamanho pequeno sobre o CLA e nenhum outro sistema no entorno (Figura 3.11a), (2) eventos que apresentam sistemas convectivos isolados ao redor do CLA (Figura 3.11b), (3) eventos cujo sistema está incluso em um outro sistema de maior escala (Figura 3.11c) e (4) eventos que possuem um sistema de maior escala no entorno do CLA, mas esse sistema não engloba a NAP (Figura 3.11d).

#### f) Origem do sistema

O sistema é acompanhado (tracking) subjetivamente, sempre que possível, desde sua origem. Os eventos são subdivididos em relação ao local de origem do sistema: nordeste, noroeste, sudeste e sudoeste do CLA ou sobre o CLA. A Figura 3.12 ilustra como foi realizada esta subdivisão.

Calculam-se o número de eventos e o total de precipitação associados a cada uma das características descritas acima e também das suas respectivas subdivisões. Para cada uma das características, são excluídos os eventos para os quais não é possível obter alguma característica (p.ex., por falta de imagens de satélite). Por exemplo, a origem do sistema ( $TB < 250 K$ ) pode estar em um sistema de grande escala e, por isso, torna-se difícil decidir a partir de qual região o sistema se inicia. Por isso, são considerados somente os eventos em que é possível realizar a análise e este total será, a partir de agora, denominado total de eventos.

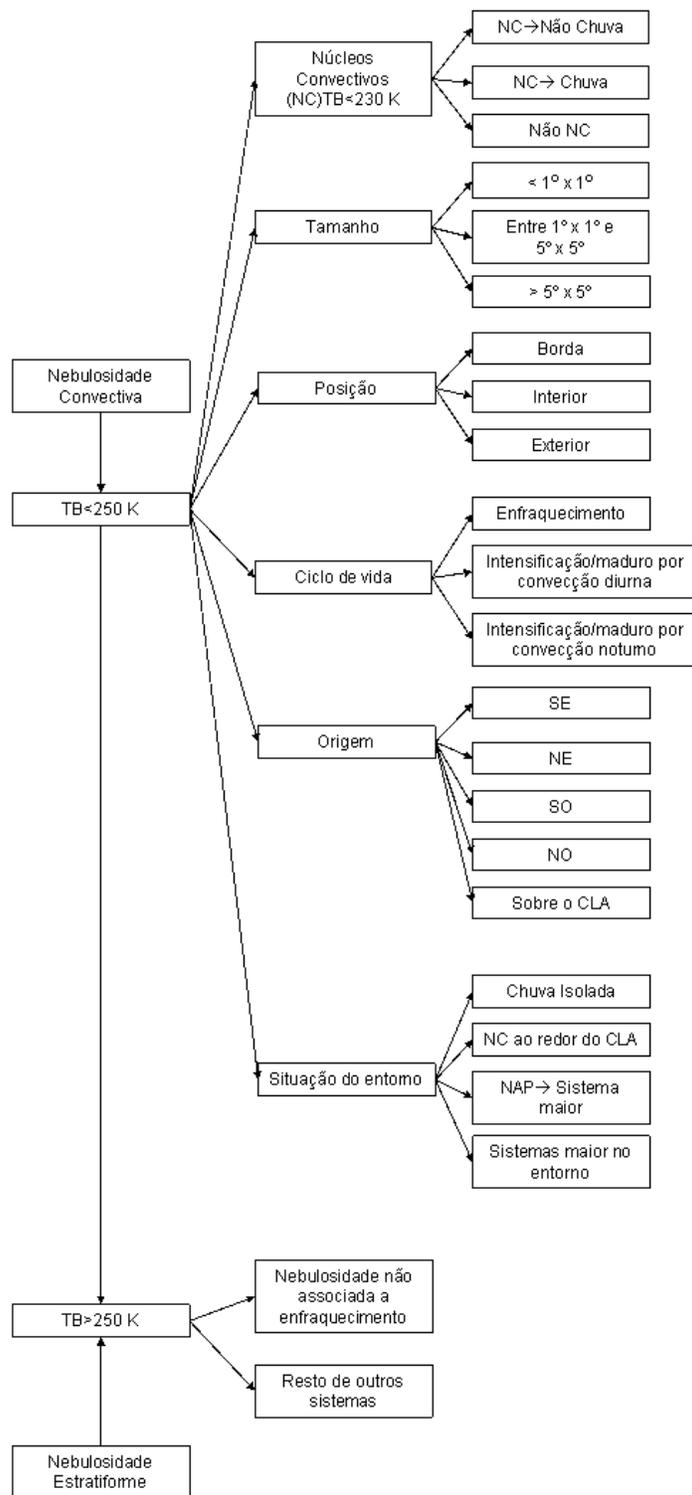


Figura 3.7– Esquema da caracterização dos sistemas.

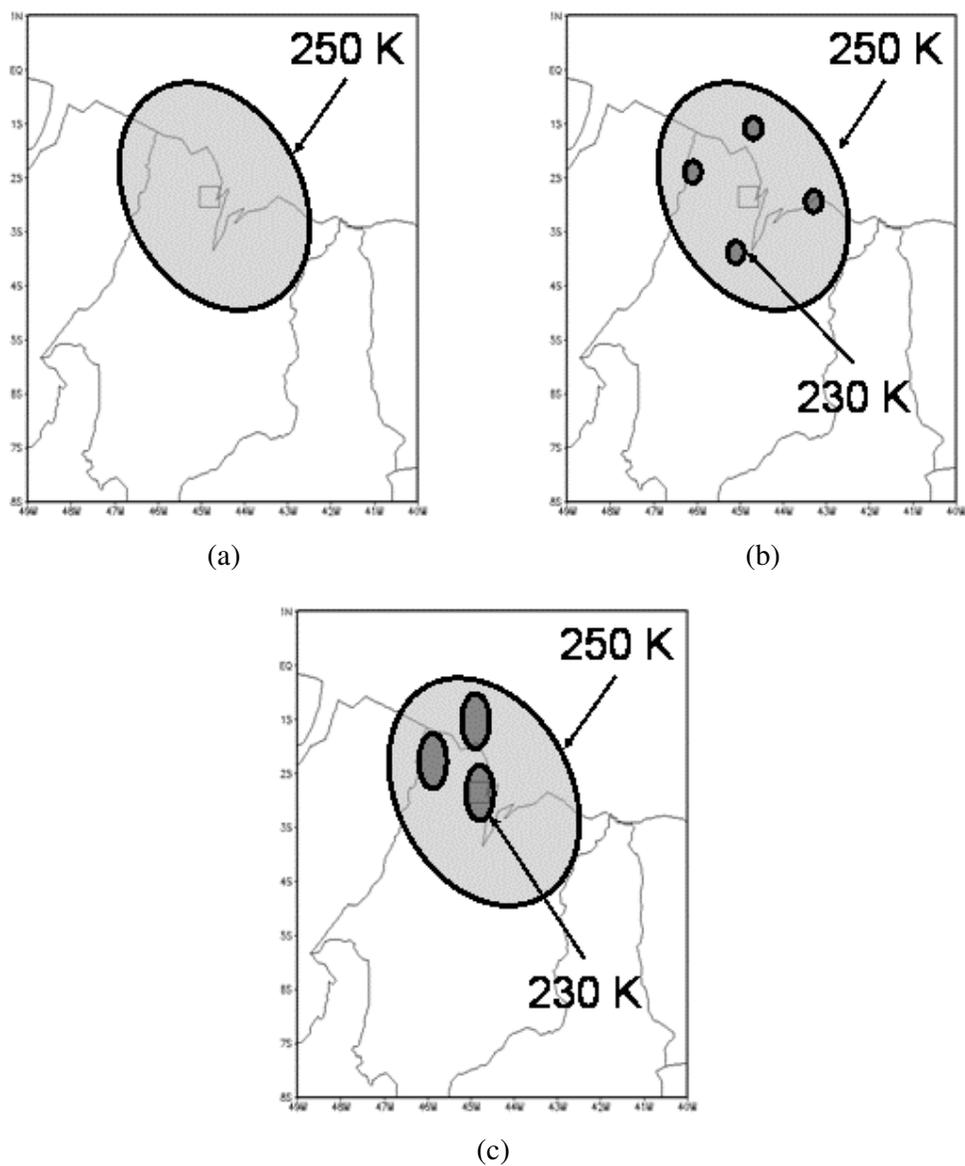


Figura 3.8– Esquema conceitual representa a separação dos sistemas convectivos quanto a existência de núcleos convectivos, onde (a) não há núcleos convectivos, (b) existem núcleos convectivos ao redor de Alcântara e (c) existe um núcleo convectivo sobre Alcântara.

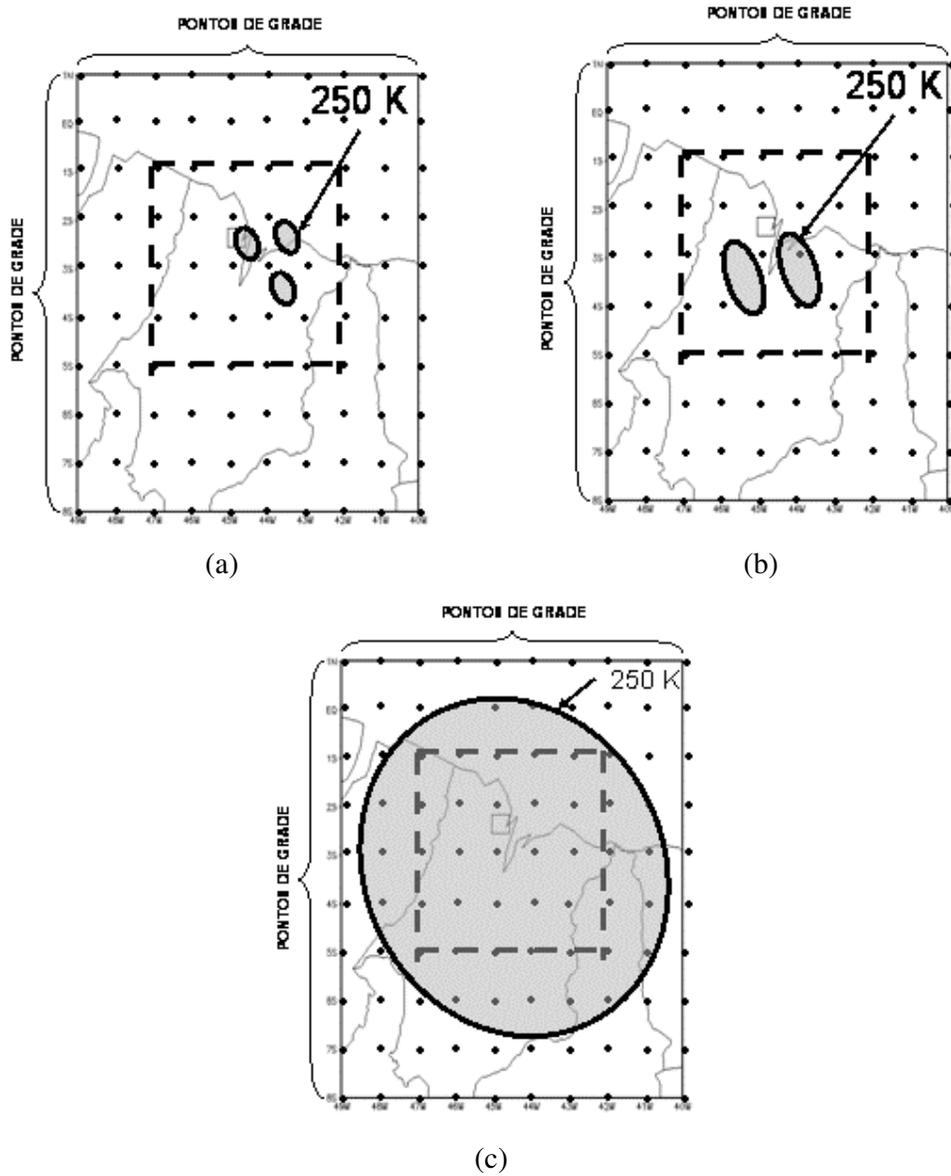
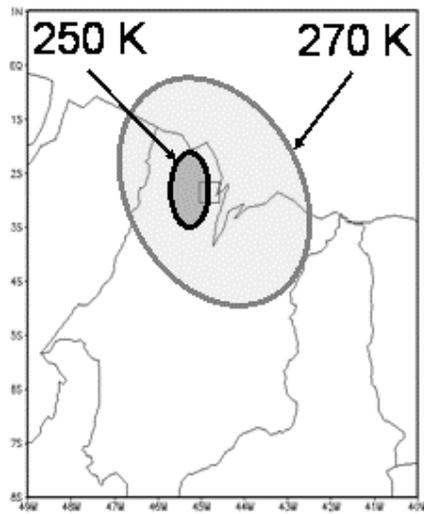
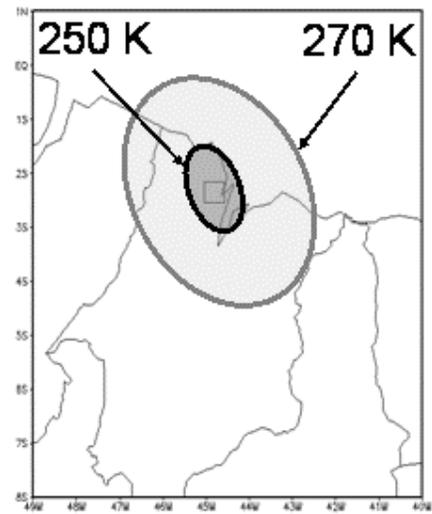


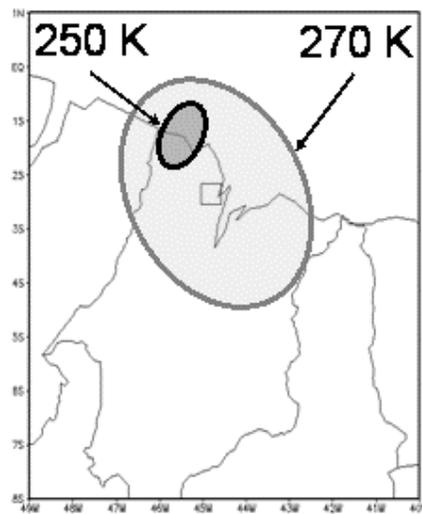
Figura 3.9 – Esquema conceitual de separação dos sistemas convectivos quanto ao tamanho da área nebulosa onde em (a) os sistemas possuem área menor do que  $1^\circ \times 1^\circ$  ( $\sim 10^4 \text{ km}^2$ ), em (b) os sistemas possuem área entre  $1^\circ \times 1^\circ$  e  $5^\circ \times 5^\circ$  ( $\sim 10^4 \text{ km}^2$  a  $25 \times 10^4 \text{ km}^2$ ) e em (c) os sistemas possuem área superior a  $5^\circ \times 5^\circ$ .



(a)



(b)



(c)

Figura 3.10 – Esquema conceitual de separação dos sistemas convectivos quanto às posições da nebulosidade em relação ao CLA, onde em (a) a borda do sistema se encontra sobre o CLA, em (b) o CLA está no interior do sistema e em (c) o CLA encontra-se no exterior do sistema.

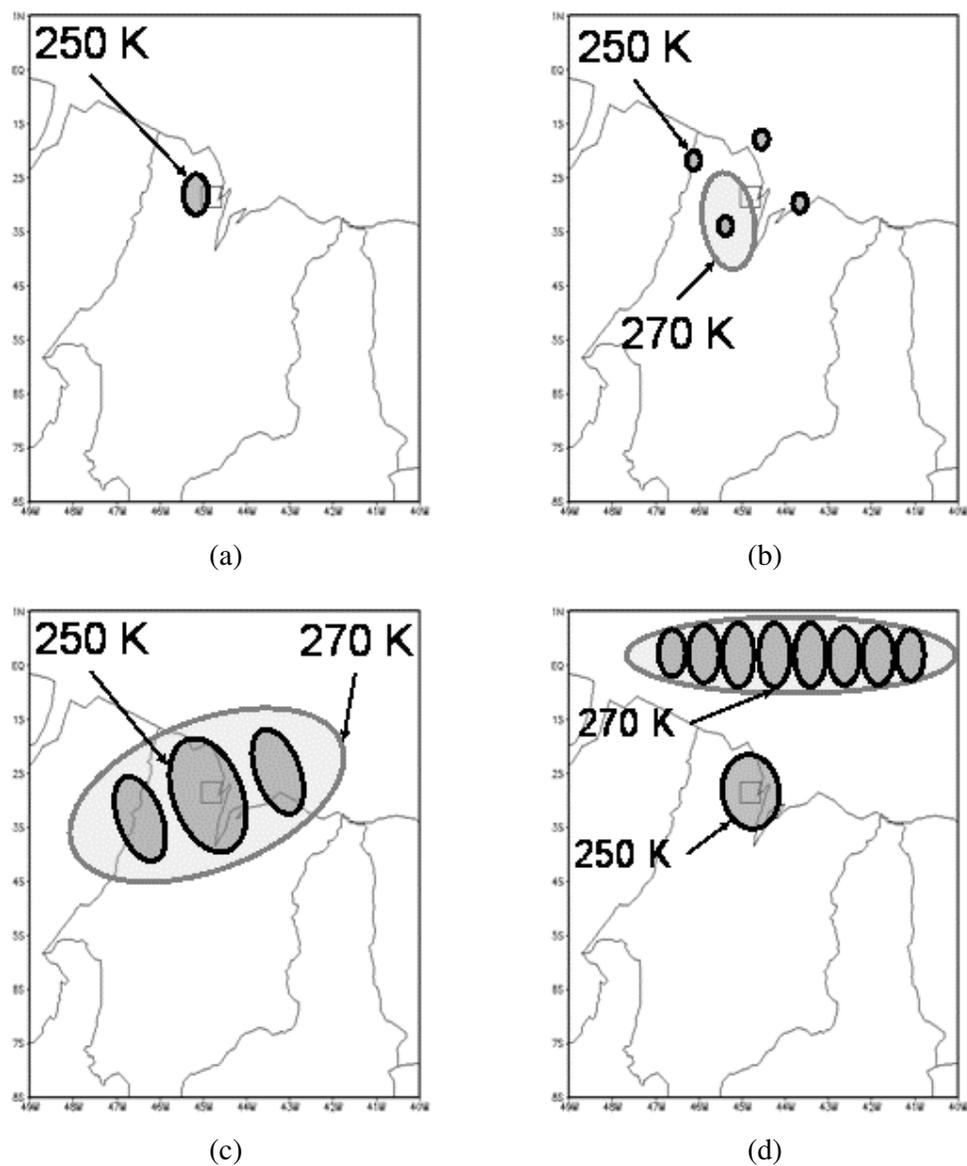


Figura 3.11 - Esquema conceitual de separação dos sistemas convectivos quanto à situação de entorno do CLA em relação à nebulosidade, onde em (a) apresenta-se uma chuva isolada sobre o CLA, em (b) apresenta-se sistemas convectivos isolados ao redor do CLA, em (c) um sistema convectivo incluso em um sistema de escala maior e em (d) um sistema convectivo sobre o CLA que não pertence a um sistema de escala maior e que se encontra próximo ao CLA.

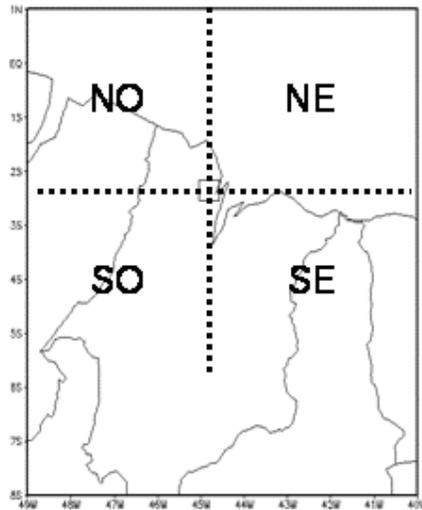


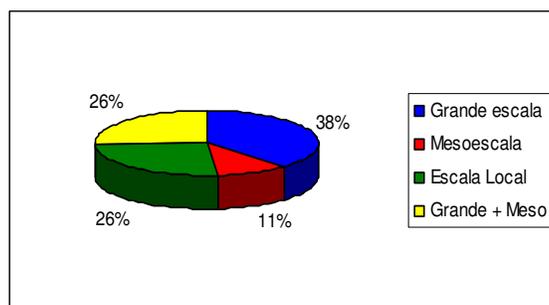
Figura 3.12 – Divisões em quatro quadrantes para determinar a região de origem dos sistemas.

### 3.4. Resultados

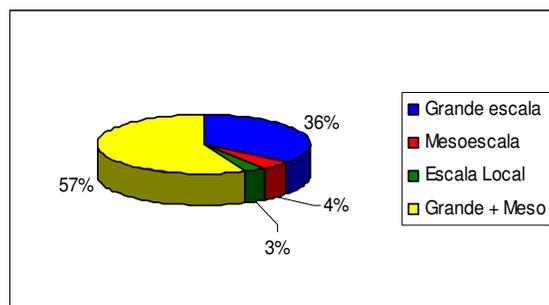
#### 3.4.1 Características dos eventos de precipitação

Os resultados mostram que, durante o ano de 2005 (2006), ocorreram 282 (304) eventos de precipitação sobre o CLA. Deste total de eventos, 44 em 2005 (33 em 2006) são excluídos por falta de imagens de TB para caracterizá-los. Resultou, assim, um total de 238 (271) eventos em 2005 (2006) para serem analisados. As Figuras 3.13a-b mostram a contribuição relativa dos fatores de grande, meso e pequena escala para os eventos de precipitação ocorridos no CLA, respectivamente para os anos 2005 e 2006. Os fatores de grande escala isoladamente (i.e., sem ação conjunta de fatores de mesoescala ou escala local) são os responsáveis por cerca de  $\frac{1}{3}$  da precipitação do CLA: 38% do total de eventos estiveram diretamente ligados a fatores de grande escala em 2005, e 36% no ano de 2006. Além de atuar isoladamente, os fatores de grande escala interagiram com os de mesoescala em 26% do total dos eventos em 2005 e 57% em 2006, ou seja, os fatores de grande escala constituem-se no principal causador de chuva no CLA (isoladamente ou associados a fatores de mesoescala). Enquanto a maioria dos casos

(38%) esteve associada a fatores de grande escala sem organização em mesoescala no ano de 2005, em 2006, ao contrário, houve uma associação entre os fatores de grande escala com a nebulosidade em mesoescala na maioria dos casos (57%). Os sistemas de mesoescala atuando sem a presença de fatores de grande escala estão associados a 11% dos casos de precipitação ocorridos no CLA em 2005 e apenas 4% em 2006. O restante, 26% (3%) do total de eventos de 2005 (2006), está associado a algum sistema de escala local. Embora o número de sistemas locais seja relativamente pequeno, na ordem de 10%, este número corresponde a mais do que uma dezena de casos e pode, dessa forma, influenciar a previsibilidade de precipitação no CLA. Torna-se importante, então, considerar a possibilidade de ocorrência destes sistemas no momento da previsão.



(a)



(b)

Figura 3.13 – Representação da quantidade de eventos de chuva (em porcentagem) ocorridos no CLA associados aos sistemas de grande, meso e pequena escala para o ano de (a) 2005 e (b) 2006.

A Tabela 3.2 mostra a porcentagem do total de eventos associado a cada sistema meteorológico considerado neste trabalho. Vale ressaltar a existência de eventos que estão associados simultaneamente a mais do que um sistema, o que faz com que as

colunas de 2005 e 2006 somem mais do que 100%. A Tabela 3.2 visa mostrar qual sistema que está mais associado aos eventos de chuva no CLA. O sistema meteorológico que se sobressai é a ZCIT, com mais da metade do total de eventos de precipitação associados nos dois anos. Este resultado concorda com Molion e Bernardo (2002), que consideram a ZCIT como o principal causador de chuvas na região. Outros sistemas que se destacaram pela quantidade de eventos de chuva envolvidos foram as LI (na ordem de  $\frac{1}{4}$  a  $\frac{1}{3}$ ) e os SCM (na ordem de  $\frac{1}{4}$ ). Os sistemas que apresentam o menor número de casos de precipitação a eles associados foram VCAN e Oscilação de 3 a 9 dias. A ZCAS apresentou uma porcentagem relativamente pequena de eventos associados, mostrando que existem alguns casos onde a ZCAS pode estar associada com a chuva no CLA. Um deles foi estudado por Tavares (2008), que analisou um caso em que a Alta da Bolívia e um VCAN estiveram associados a um evento de ZCAS que trouxe nebulosidade e chuva ao CLA.

Tabela 3.2 – Associação dos sistemas meteorológicos aos eventos de precipitação ocorridos no CLA nos anos de 2005 e 2006.

<b>Sistemas</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>
ZCIT	54 %	79 %
LI	20 %	46 %
VCAN	15 %	22 %
ZCAS	13 %	10 %
SCM	25 %	26 %
3 a 9 dias	7 %	5 %

Nota-se que dificilmente os sistemas atuam individualmente e devido a este fato é feita uma análise da associação de sistemas, que pode ser vista na Tabelas 3.3 e 3.4. A ZCIT é o sistema com maior frequência de aparecimento individual, i.e., atuação sem relação com outros sistemas, com 87 casos em 2005 e 163 em 2006 (Tabela 3.3). A ZCIT, também, esteve muitas vezes associada a outros sistemas. Os sistemas de grande escala que mais estiveram associados à ZCIT foram ZCAS e VCAN. Nota-se também um número grande de casos onde a ZCAS está associada ao VCAN, pois a configuração

típica da ZCAS geralmente inclui um VCAN atuando no NEB. Observa-se uma menor frequência de sistemas de grande escala associados à Oscilação de 3 a 9 dias. Além disso, aproximadamente 75% dos casos associados a este sistema durante os dois anos também estão associados a um segundo sistema. Estas informações indicam que a Oscilação de 3 a 9 dias individualmente não parece exercer influência significativa sobre a precipitação do CLA, mas isso precisa ser confirmado em estudos futuros.

A maioria dos eventos associados a LI e SCM estão associados a ZCIT (Tabelas 3.4 a-b). Depois da ZCIT, o sistema que mais esteve associado aos SCM foi o VCAN. Observou-se um número razoável de eventos onde LI e VCAN estavam relacionados. Em poucos casos, as LI estiveram associadas a ZCAS e Oscilação de 3 a 9 dias. Barbosa (2005) investigou as possíveis relações entre flutuações de 3 a 9 dias e as perturbações convectivas (PC), que têm uma estreita relação com LI de maior extensão espacial. Os resultados mostraram que a presença de flutuações de 3 a 9 dias favorecem a presença de PC confinadas (i.e., PC que se propaga até 150 km) ou PC que se propagam para distâncias maiores do que 450 km.

Tabela 3.3 – Número de associações entre sistemas de grande escala (a) para o ano de 2005 e (b) para o ano de 2006.

	ZCIT	ZCAS	VCAN	3 a 9 DIAS		ZCIT	ZCAS	VCAN	3 a 9 DIAS
<b>ZCIT</b>	87	24	23	10	<b>ZCIT</b>	163	23	27	9
<b>ZCAS</b>	X	3	14	3	<b>ZCAS</b>	X	2	9	1
<b>VCAN</b>	X	X	10	2	<b>VCAN</b>	X	X	30	2
<b>3 a 9 DIAS</b>	X	X	X	5	<b>3 a 9 DIAS</b>	X	X	X	3

(a)

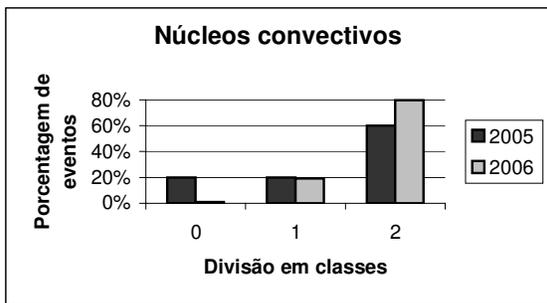
(b)

Tabela 3.4 – Associações entre sistemas de mesoescala com sistemas de grande escala (a) para o ano de 2005 e (b) para o ano de 2006.

	ZCIT	ZCAS	VCAN	3 a 9	SOZINHO
DIAS					
<b>LI</b>	31	9	11	7	12
<b>SCM</b>	33	3	9	5	19
(a)					
	ZCIT	ZCAS	VCAN	3 a 9	SOZINHO
DIAS					
<b>LI</b>	92	13	25	7	10
<b>SCM</b>	66	10	11	4	2
(b)					

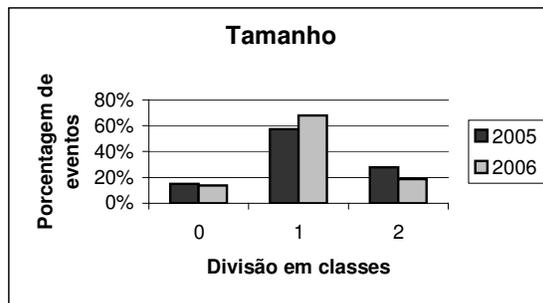
As principais características dos sistemas convectivos que atuaram no CLA durante 2005 e 2006 são mostradas na Figura 3.14. Um aspecto notável dos histogramas da Figura 3.14 é que, em geral, existe uma classe com número de eventos substancialmente maior que as outras classes. Isso significa uma organização da NAP que é preliminarmente explorada na próxima seção (3.4.2). Observa-se que grande parte dos eventos de chuva estiveram associados a núcleos convectivos e que possivelmente foram responsáveis pela chuva. A classe 1 da Figura 3.14a mostra que cerca de 20% dos eventos (tanto de 2005 quanto de 2006) possuem a configuração de núcleos convectivos próximo ao CLA, porém eles não estão diretamente relacionados com a chuva ocorrida. O tamanho preferencial para os sistemas na região do CLA são os eventos inclusos a classe 1 da Figura 3.14b, que indica tamanho de nebulosidade dentro da mesoescala, i.e., sistemas que possuem a área entre  $10^4 \text{ km}^2$  e  $25 \times 10^4 \text{ km}^2$ . A posição dos sistemas em relação ao CLA permanece preferencialmente na porção convectiva da nebulosidade, pois o maior número de eventos está alocado nas classes 1 e 2 da Figura 3.14c: a classe 1 (sistema que causa a chuva através da sua borda) possui a média de 45 % dos eventos e a classe 2 (sistema que mantém o CLA no seu interior) possui a mesma média. A maior parte dos eventos apresenta intensificação por convecção diurna (classe 2 da Figura 3.14d) e por enfraquecimento/desintensificação (classe 0 da Figura 3.14d).

Embora menor relativamente às outras classes, há um número substancial de sistemas que se intensificam por convecção noturna (classe 1 da Figura 3.14d). A situação atmosférica ao redor mostra que o sistema está geralmente incluído em um sistema maior (classe 2 da Figura 3.14e) e a origem preferencial dos sistemas é de sudeste e de nordeste (classes SE e NE da Figura 3.14f).



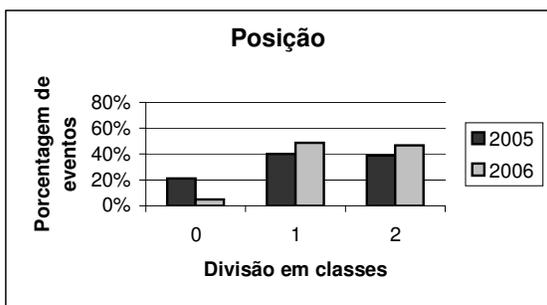
0 = não existem núcleos convectivos  
 1 = núcleos convectivos não associados com chuva  
 2 = núcleos convectivos associados com chuva

(a)



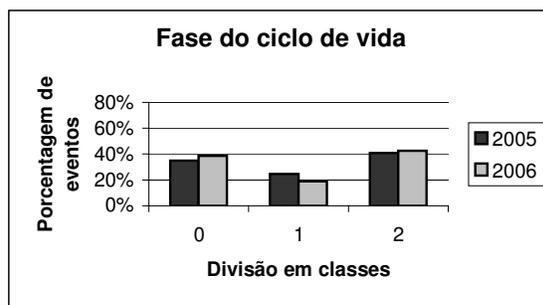
0 = menor do que  $1^\circ \times 1^\circ$   
 1 = entre  $1^\circ \times 1^\circ$  e  $5^\circ \times 5^\circ$   
 2 = maior que  $5^\circ \times 5^\circ$

(b)



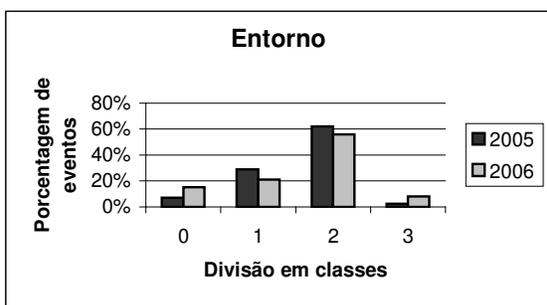
0 = na parte estratiforme da nebulosidade (TB > 250 K)  
 1 = na borda (TB = 250 K)  
 2 = no interior (TB < 250K)

(c)



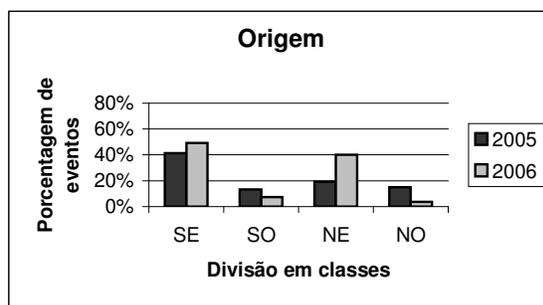
0 = enfraquecimento  
 1 = intensificação/maduro por convecção noturna  
 2 = intensificação/maduro por convecção diurna

(d)



0 = chuva isolada  
 1 = convecção ao redor  
 2 = incluso em um sistema maior  
 3 = sistema maior no entorno

(e)

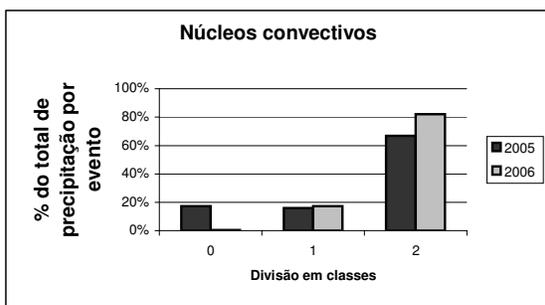


0 = sudeste  
 1 = sudoeste  
 2 = nordeste  
 3 = noroeste

(f)

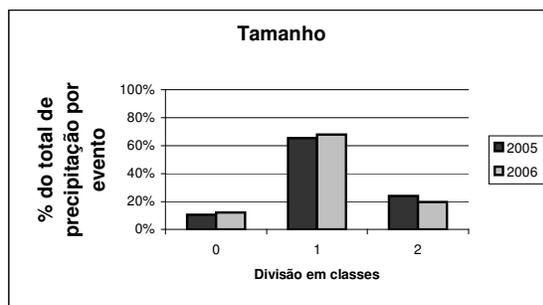
Figura 3.14 – Características gerais dos sistemas convectivos que atuaram no CLA durante 2005 (preto) e 2006 (cinza), com relação à porcentagem do número de eventos onde (a) mostra a classificação de núcleos convectivos, (b) tamanho, (c) posição do sistema com relação ao CLA, (d) fase do ciclo de vida, (e) entorno e (f) origem.

A Figura 3.15 mostra a porcentagem do total de precipitação acumulada em cada classe das características (núcleos convectivos, tamanho, posição, etc) para os sistemas convectivos que atuaram no CLA durante 2005 e 2006. De forma geral, as mesmas classes que se sobressaem com um maior número de eventos envolvidos, mostrados na Figura 3.14, apresentam também um total de precipitação maior quando comparado com as outras classes. O total de precipitação é maior para as seguintes classes: núcleos convectivos associados com chuva, com cerca de 75% do total de precipitação somados para esta característica (Figura 3.15a), sistemas de tamanho dentro da mesoescala (classe 1 da Figura 3.15b), chuva na porção convectiva do sistema (classes 1 e 2 da Figura 3.15c), processos de convecção diurna, que inclui a média de 50% (nos dois anos) do total de precipitação (classe 2 da Figura 3.15d), sistemas inclusos em um sistema maior (Figura 3.14e) e que se originam de sudeste (Figura 3.15f).



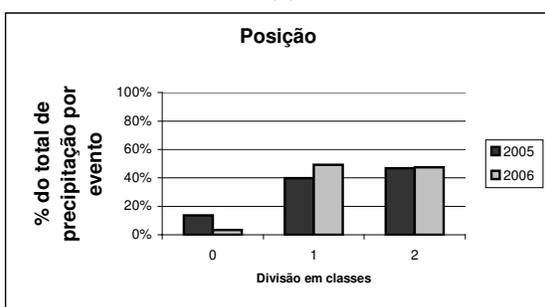
0 = não existem núcleos convectivos  
 1 = núcleos convectivos não associados com chuva  
 2 = núcleos convectivos associados com chuva

(a)



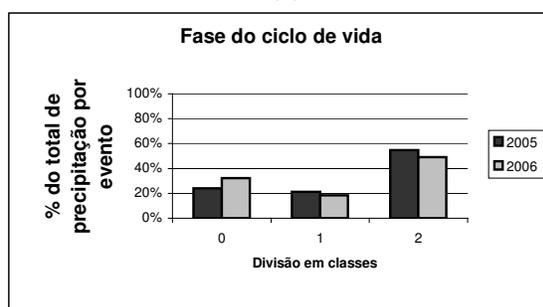
0 = menor do que  $1^\circ \times 1^\circ$   
 1 = entre  $1^\circ \times 1^\circ$  e  $5^\circ \times 5^\circ$   
 2 = maior que  $5^\circ \times 5^\circ$

(b)



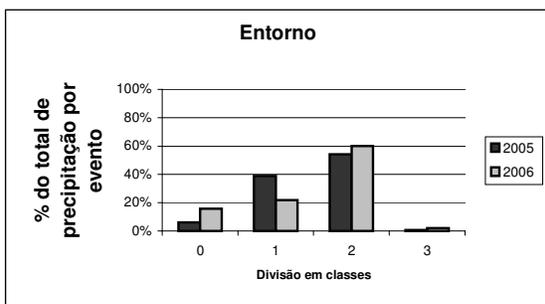
0 = na parte estratiforme da nebulosidade (TB > 250 K)  
 1 = na borda (TB = 250 K)  
 2 = no interior (TB < 250K)

(c)



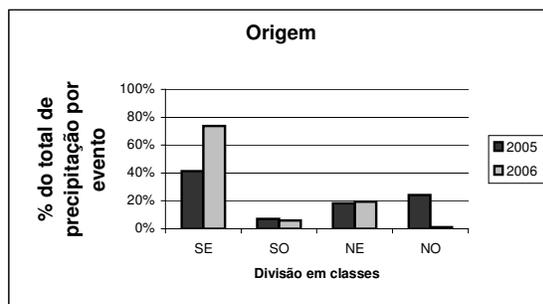
0 = enfraquecimento  
 1 = intensificação/maduro por convecção noturna  
 2 = intensificação/maduro por convecção diurna

(d)



0 = chuva isolada  
 1 = convecção ao redor  
 2 = incluso em um sistema maior  
 3 = sistema maior no entorno

(e)



0 = sudeste  
 1 = sudoeste  
 2 = nordeste  
 3 = noroeste

(f)

Figura 3.15 – Características dos sistemas convectivos que atuaram no CLA durante 2005 (preto) e 2006 (cinza), com relação à porcentagem do total de precipitação dos eventos de chuva, onde (a) mostra a classificação de núcleos convectivos, (b) tamanho, (c) posição do sistema com relação ao CLA, (d) fase do ciclo de vida, (e) entorno e (f) origem.

Dos eventos de precipitação ocorridos no CLA, aproximadamente 43% são associados a nebulosidade convectiva e 57% estão associados a nebulosidade estratiforme (Figura 3.16). Isso mostra a importância dos processos associados à nebulosidade estratiforme ( $TB > 250 K$ ), não somente a convectiva, na produção de chuva no CLA.

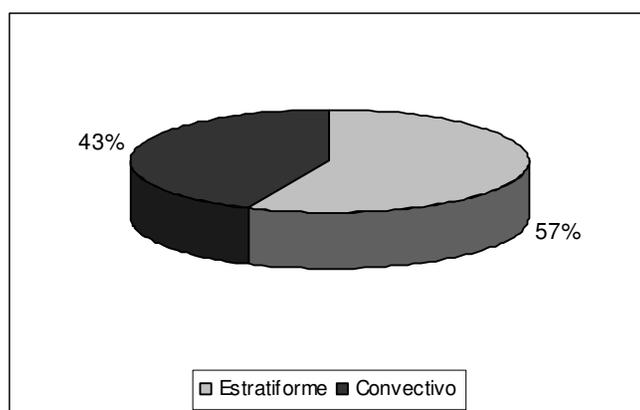


Figura 3.16 – Divisão dos eventos de chuva ocorridos em 2005 e 2006 no CLA em nebulosidade estratiforme e convectiva.

A formação da chuva associada à nebulosidade estratiforme se dá basicamente por dois processos.

- Um grupo se forma por resquícios de um sistema formado anteriormente no CLA e que se encontra em fase de desintensificação. Em 2005 (2006), a porcentagem destes eventos somou 52% (53%) do total de eventos de nebulosidade estratiforme.
- Um outro grupo se forma por uma nebulosidade que não está associada a nenhum tipo de enfraquecimento ou processo convectivo. A porcentagem deste grupo (em relação ao total de nebulosidade estratiforme) foi de 48% no ano de 2005 e 47% no ano de 2006.

Em resumo, os casos de precipitação associada a nebulosidade estratiforme estão (quase) igualmente divididos nos dois grupos. Foi mostrado pela Figura 3.16 que um pouco mais da metade dos casos de precipitação do CLA estão associados à

nebulosidade estratiforme. Cerca da metade desses casos não estão associados a um sistema convectivo, isso significa que um quarto do total de eventos que atuam no CLA não está associado a nenhum processo convectivo. Este resultado é significativo, pois se sabe que a distribuição da chuva na região equatorial é fortemente associada com a convecção profunda oriunda da ZCIT (PEIXOTO, 1992). Então, mesmo que fosse elaborado um esquema perfeito para a convecção profunda de nossos modelos, ainda poderíamos errar em um quarto dos eventos.

### **3.4.2 Classificação preliminar dos eventos em categorias**

São agrupados em uma mesma categoria os eventos que apresentam características comuns. São estabelecidas 4 categorias: eventos associados à ZCIT, ZCAS, aos sistemas de mesoescala (SCM e LI) e nebulosidade isolada. A Tabela 3.5 apresenta as características gerais de cada uma das categorias. São acrescentadas na tabela somente as informações que reúnem mais do que 50% dos eventos inclusos na categoria. Todas as categorias apresentam um grande número de eventos em que os núcleos convectivos estão presentes e que por sua vez estão associados à chuva ocorrida no CLA.

#### **3.4.2.1 Eventos de chuva associados a ZCIT**

A categoria da ZCIT apresentou uma nebulosidade com tamanho médio, dentro da dimensão da mesoescala. A borda da nebulosidade envolvida geralmente causa a chuva ou a nebulosidade é grande o suficiente para englobar o CLA. Os sistemas causadores da chuva em sua maioria estão associados a um enfraquecimento ou estão se intensificando no período diurno. O entorno geralmente apresenta a nebulosidade causadora da chuva inclusa em uma nebulosidade de maior escala. Os sistemas se originam preferencialmente de sudeste e nordeste, o que é justificável, pois a ZCIT se situa justamente na região de confluência dos alísios, ventos cuja direção é de sudeste e nordeste (Tabela 3.5).

Tabela 3.5 – Características gerais das categorias.

	GRANDE ESCALA			MESOESCALA		ESCALA LOCAL
	ZCIT		ZCAS	SCM e LI		Chuva isolada
<b>Núcleos Convectivos (NC)</b>	Sim		Sim	Sim		Sim
<b>NC associados com chuva</b>	Sim		Sim	Sim		Sim
<b>Tamanho</b>	Mesoescala		Grande escala	Mesoescala	Mesoescala	Escala local
<b>Posição</b>	Borda do sistema afeta o CLA	A nebulosidade cobre o CLA	A nebulosidade cobre o CLA	Borda do sistema afeta o CLA	A nebulosidade cobre o CLA	Borda do sistema afeta o CLA
<b>Ciclo de vida</b>	Enfraquecimento	Intensificação por convecção diurna	Nenhum processo sobressai	Enfraquecimento	Intensificação por convecção diurna	Enfraquecimento
<b>Entorno</b>	Incluso em sistema maior		Incluso em sistema maior	Incluso em sistema maior		Chuva isolada
<b>Origem</b>	SE	NE	SE	SE	NE	SE

Na Figura 3.17a observa-se que o maior número de eventos se concentra no período chuvoso, e o menor número no período seco. Mais especificamente, o pico de eventos se dá nos meses de março e abril, meses em que a ZCIT encontra-se em sua posição mais austral segundo Lobo (1982). Os meses de janeiro e junho nitidamente se configuram como meses de transição, pois o decréscimo de número de eventos de maio pra junho é grande, assim como o acréscimo de eventos de dezembro para janeiro. No período chuvoso, o total de precipitação associado com a ZCIT é maior do que nos meses adjacentes, com média de  $250 \text{ mm.mês}^{-1}$ , e um máximo de precipitação se apresenta em abril. É destacado o mês de dezembro que apresenta um mínimo de precipitação de  $27 \text{ mm.mês}^{-1}$  (Figura 3.17b).

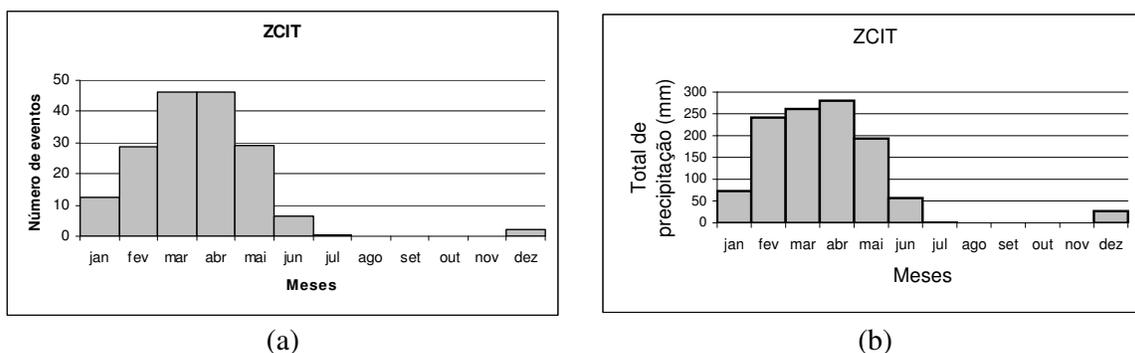


Figura 3.17 – Distribuição média mensal (a) do número de eventos por ano de precipitação no CLA (b) do total de precipitação no CLA associados com a ZCIT.

Algumas subcategorias foram obtidas da categoria da ZCIT, por apresentarem informações interessantes. Foram elas: casos em que a ZCIT e LI ocorrem simultaneamente, casos em que a ZCIT e SCM ocorrem simultaneamente e casos em que a ZCIT e chuvas isoladas (CI) ocorrem simultaneamente. Cada uma delas está descrita com mais detalhes a seguir.

a) Casos em que a ZCIT e LI ou ZCIT e SCM ocorrem simultaneamente

As associações entre ZCIT e LI ou ZCIT e SCM serão apresentados conjuntamente, pois possuem as mesmas características. Basicamente, eles possuem as mesmas características da categoria na qual eles estão inclusos (ZCIT). Nestes dois casos de associações (ZCIT e LI ou ZCIT e SCM) contabilizam-se aproximadamente  $\frac{1}{3}$  dos eventos em cada um. Nos outros  $\frac{1}{3}$ , a ZCIT atuou sozinha ou em associação com outro sistema.

São observados 12 casos em que a ZCIT e CI ocorrem simultaneamente. Vale, então, salientar que existem casos de chuva isolada mesmo que a ZCIT esteja configurada.

As subcategorias da ZCIT (Figuras 3.18a-c) permanecem concentradas nos meses chuvosos (janeiro a junho) assim com a categoria da ZCIT (Figura 3.17), porém com pequenas distinções. Quando ZCIT e LI atuam simultaneamente (Figura 3.18a), a distribuição mensal é similar à distribuição da ZCIT (Figura 3.17); no entanto, observa-

se que entre os meses de julho e dezembro a subcategoria não apresenta nenhum evento, enquanto que a ZCIT apresenta um pequeno número de eventos em julho e dezembro. Em ambos, os meses de janeiro e junho se apresentam como meses de transição. Janeiro determina o início do período no qual estes sistemas começam a atuar. Junho determina o término deste mesmo período. O mês de abril apresenta-se como o mês preferencial para a ocorrência da interação entre ZCIT e LI. Quando ZCIT e SCM atuam simultaneamente (Figura 3.18b) o número de eventos apresenta-se de uma forma mais uniforme. Não apresenta picos pronunciados como a subcategoria da ZCIT com LI apresenta. O maior número de eventos se concentra nos meses de março, abril e maio, com uma média entre 10 e 15 eventos. A subcategoria onde a ZCIT interage com Chuvas Isoladas (Figura 3.18c) esteve mais concentrada em alguns meses, pois janeiro, julho e dezembro não apresentam eventos. O número de eventos foi muito inferior aos de outras subcategorias. Ao todo, somam apenas 12 casos durante os anos de 2005 e 2006. Os meses com um maior número de casos foram março e abril.

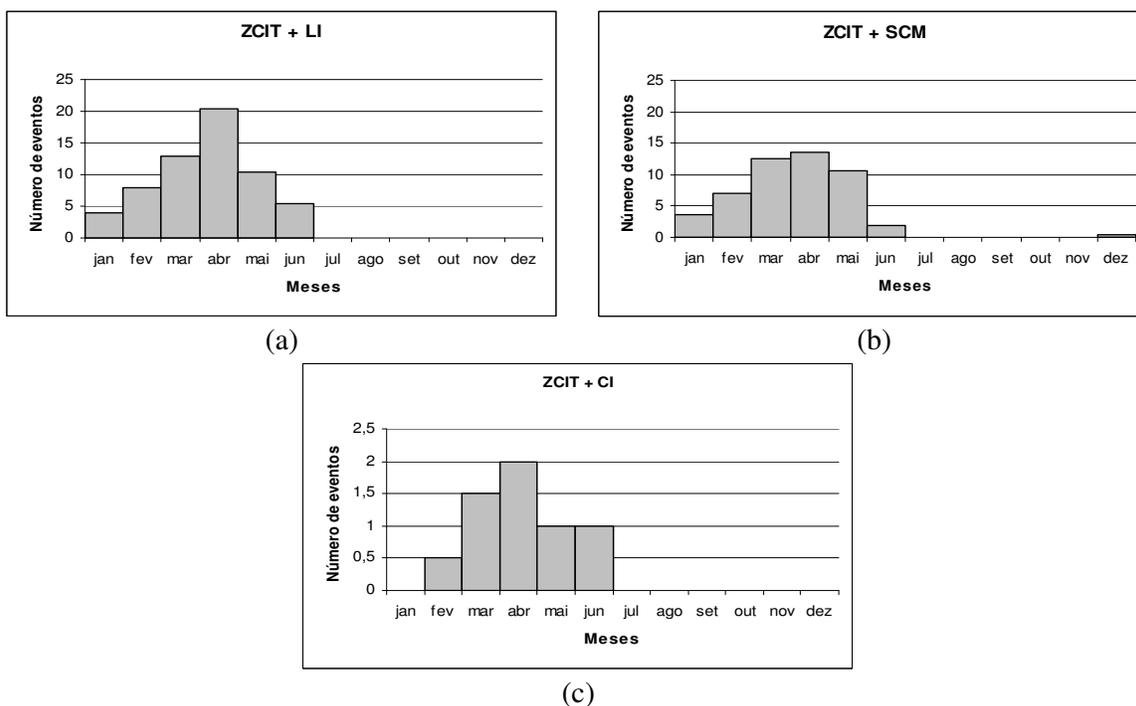


Figura 3.18 – Distribuição mensal de número de eventos por ano de precipitação no CLA associados com a ZCIT e LI simultaneamente (a) e associados com a ZCIT e SCM simultaneamente (b) e associados com a ZCIT e CI simultaneamente (c).

### **3.4.2.2 Eventos de chuva associados a ZCAS**

A maior parte dos eventos de chuva correspondentes as duas categorias associadas com sistemas de grande escala (ZCIT e ZCAS) apresentam a mesma característica no entorno, onde a nebulosidade que gera a chuva está imersa em uma nebulosidade de maior escala. Os eventos da categoria da ZCAS possuem características parecidas com os da categoria da ZCIT, exceto pequenas diferenças. Além do tamanho de nebulosidade na ordem da mesoescala, grande parte dos eventos apresentou nebulosidade na ordem da grande escala. A borda dos sistemas está associada com a chuva na categoria da ZCIT, mas não está na categoria da ZCAS. Com relação ao ciclo de vida, nenhuma fase sobressai para a categoria da ZCAS. Isso indica que todos os processos (convecção diurna, noturna e enfraquecimento) são importantes, pois todos possuem o mesmo número de ocorrência. Ressalta-se a importância dos processos de intensificação por convecção noturna que teve um número de eventos da mesma ordem dos outros dois processos, que geralmente são mais altos. A origem também difere da ZCIT e a nebulosidade associada à chuva preferencialmente se origina de sudeste. As Figuras 3.19a-b mostram que, durante o período de estudo, o período de atuação da ZCAS no CLA é em média de novembro a março. Um máximo de eventos e um máximo no total de precipitação se coincidem no mês de março (Figura 3.19a-b). O mês de fevereiro se destacou por apresentar um número de eventos intermediário, porém um total de precipitação baixo, comparado com os outros meses. Pode-se inferir que neste mês os eventos tiveram um total mais baixo relacionado com os demais meses.

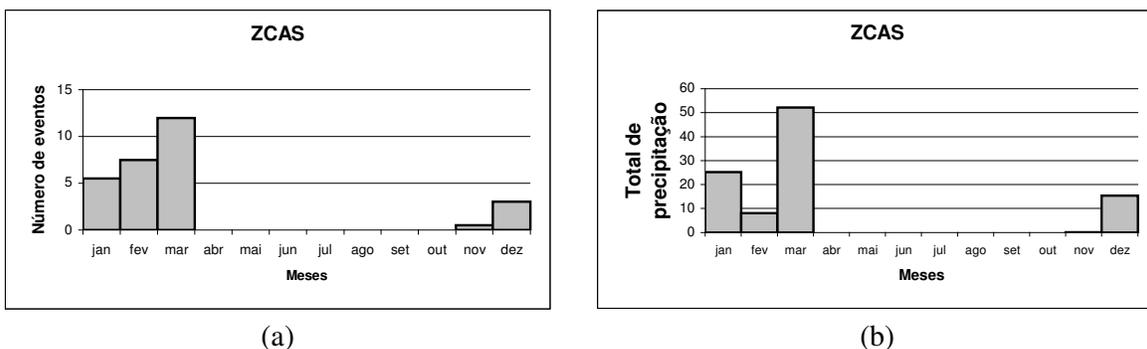


Figura 3.19 – Distribuição média mensal (a) do número de eventos por ano de precipitação no CLA (b) do total de precipitação no CLA associados com a ZCAS.

### 3.4.2.3 Eventos de chuva associados a sistemas de mesoescala (SCM e LI)

A categoria dos sistemas de mesoescala (SCM e LI) possui as mesmas características da categoria da ZCIT. Dessa forma a descrição detalhada pode ser vista na seção 3.4.2.1.

O ciclo mensal da LI (Figura 3.20a) é semelhante ao ciclo mensal da precipitação apresentada na Figura 2.2. O mês de abril é exibido como o mês preferencial de atuação da LI (Figura 3.20a), porém não é o mês com o maior total de precipitação gerada por este sistema (Figura 3.20b). Este mesmo mês apresenta um maior número de casos de ZCIT interagindo com a LI, durante o mesmo período (Figura 3.18a). Cohen et al. (1989), em sua climatologia feita para ocorrências de LI, observaram um máximo nos meses de abril e julho, sendo que estas ocorreram mais intensas quando a ZCIT encontrava-se mais ativa. Neste mesmo trabalho, Cohen et al. (1989) também encontraram pouca ocorrência de LI sobre a região amazônica durante a estação seca, concordando com os resultados apresentados na Figura 3.20a. A Figura 3.20b confirma a Figura 3.20a qual mostra que a LI atua durante praticamente o ano todo. A Figura 3.20b apresenta um total de precipitação relativamente uniforme entre fevereiro e junho, sendo que os mínimos de precipitação ocorrem entre agosto e dezembro. Os SCM se distribuem de forma mais uniforme no decorrer do ano (Figura 3.20c) e concentram o maior número de eventos nos meses de março, abril e maio. O total de precipitação também apresenta uma característica aparentemente uniforme (Figura 3.20d),

destacando-se, entretanto, o mês de fevereiro com um máximo de precipitação. A subcategoria da ZCIT que exibe eventos em que ZCIT e SCM atuam conjuntamente apresenta a mesma característica. O SCM não apresenta casos na estação seca, exceto em outubro.

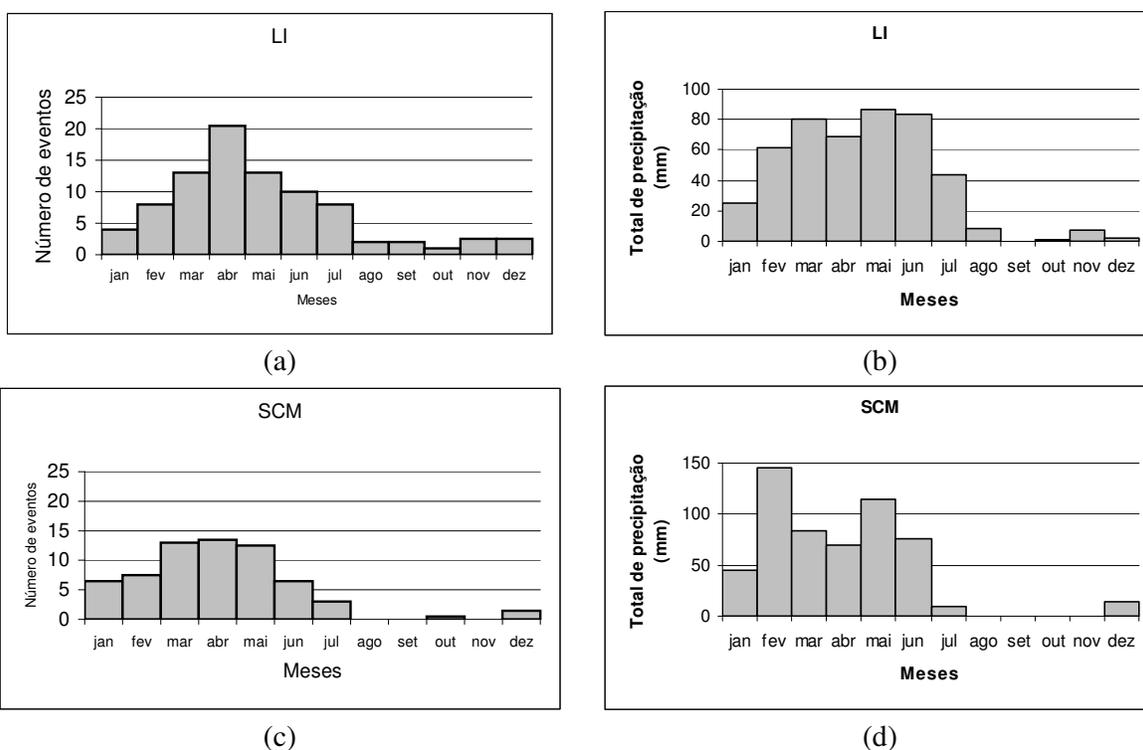


Figura 3.20 – Distribuição média mensal (a) do número de eventos por ano de precipitação no CLA e (b) do total de precipitação no CLA associados com LI (c) do número de eventos por ano de precipitação no CLA e (d) do total de precipitação no CLA associados com SCM.

#### 3.4.2.4 Eventos de chuva associados com chuva isolada

A categoria de chuvas isoladas apresenta algumas diferenças básicas das outras categorias. Por sua própria definição, o tamanho da nebulosidade (escala local, menor do que  $10^4 \text{ km}^2$ ) é uma diferença fundamental das outras categorias que apresentam estruturas maiores de nebulosidade. A borda da nebulosidade envolvida geralmente

causa a chuva. O processo de formação da chuva está geralmente associado ao enfraquecimento do sistema. A região preferencial de origem do sistema é de sudeste.

Os meses de atuação da chuva isolada no CLA (Figura 3.21) foram os mesmos apresentados para os eventos de chuva isolada em que a ZCIT estava envolvida (Figura 3.18c). A única diferença entre estes dois grupos é que as chuvas isoladas acontecem preferencialmente no mês de junho, que pertence a uma estação de transição. É interessante ressaltar a ocorrência de uma queda abrupta do número de eventos de junho para julho (Figura 3.21a). A ZCIT dificilmente está associada a chuva isoladas no mês de junho, pois neste mês ela se encontra em sua marcha para o Hemisfério Norte. O total de precipitação associado com a CI é basicamente uniforme apresentando um total maior (menor) no mês de junho (fevereiro). Nota-se que o mês de junho, mês com maior número de eventos (Figura 3.21a), apresenta o maior total de precipitação relacionado.

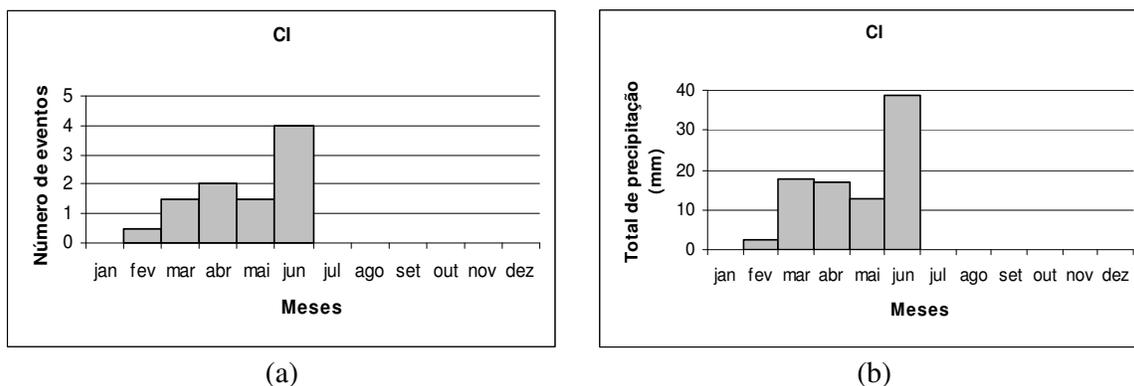


Figura 3.21 – Distribuição média mensal (a) do número de eventos por ano de precipitação no CLA e (b) do total de precipitação no CLA associados com CI.

### 3.5 Conclusões

As principais conclusões são:

- Os fatores de grande escala foram responsáveis por cerca de 40% do total de eventos. Eles também interagiram com fatores de mesoescala e somaram 26% (57%) do

total de eventos em 2005 (2006), ratificando sua atuação como principal causador da chuva no CLA;

– Os sistemas de mesoescala atuando sem a presença de fatores de grande escala estão associados a cerca de 10% dos casos de precipitação ocorridos no CLA. O restante, também da ordem de 10%, está associado a algum sistema de escala local;

– O sistema meteorológico que esteve mais (menos) associado aos eventos de precipitação foi a ZCIT (Oscilação de 3 a 9 dias) com mais da metade (menos de 10%) de eventos associados nos dois anos;

– O sistema com maior frequência de aparecimento individual foi a ZCIT. Entretanto, a ZCIT também aparece em conjunção a outros sistemas de grande escala, principalmente à ZCAS e ao VCAN;

– A Oscilação de 3 a 9 dias individualmente parece não exercer influência significativa sobre a precipitação do CLA, pois além de ser o sistema com menos sistemas de grande escala associados, dos poucos casos que se apresentaram,  $\frac{3}{4}$  estão associados a um segundo sistema. Contudo, esta afirmação precisa ser confirmada em estudos futuros;

– A maioria dos eventos associados a LI e SCM também estão associados a ZCIT;

– Os processos convectivos são de grande importância para a precipitação na região do CLA, porém ressalta-se também a importância dos processos estratiformes que geraram cerca de 60% da precipitação ocorrida no CLA no período de estudo enquanto que a nebulosidade convectiva gerou aproximadamente 40% da precipitação;

– Algumas características básicas foram obtidas para a maioria dos eventos de chuva associados a sistemas com  $TB < 250$  K. Os sistemas geralmente estão associados a núcleos convectivos ( $TB < 230$  K), possuem áreas entre  $10^4$  km<sup>2</sup> e  $25 \times 10^4$  km<sup>2</sup> (i.e., organização em mesoescala), a chuva está posicionada na porção convectiva do sistema, intensificam-se por convecção diurna, encontram-se inclusos em um sistema de escala maior e a sua origem preferencial é de sudeste e de nordeste;

- Os casos de precipitação associados a nebulosidade estratiforme estão quase que igualmente divididos em dois grupos, um grupo que se forma por resquícios de um sistema formado anteriormente no CLA e que se encontra em fase de desintensificação e o outro grupo que se forma por uma nebulosidade que não está associada a nenhum tipo de enfraquecimento ou processo convectivo;
- A categoria da ZCIT apresentou os seguintes padrões de nebulosidade: tamanho na dimensão da mesoescala; ou é borda do sistema que causa chuva ou o sistema engloba o CLA; eventos associados a fase de enfraquecimento ou de intensificação; origem de sudeste e nordeste; os meses de março e abril concentram o maior número de ocorrência e maior total de precipitação;
- A categoria da ZCAS apresentou os seguintes padrões de nebulosidade: tamanho de grande escala ou de mesoescala; nebulosidade costuma cobrir o CLA; origem de sudeste; período de ocorrência de novembro a março e total de precipitação maior;
- A categoria do SCM e da LI apresentaram as mesmas características da categoria da ZCIT e o mês preferencial para o SCM são os meses MAM enquanto que para a LI é o mês de abril; os maiores índices pluviométricos das LI acontecem entre fevereiro e junho e dos SCM em fevereiro;
- A categoria da CI apresentou os seguintes padrões de nebulosidade: tamanho pequeno por definição (menor que  $10^4 \text{ km}^2$ ); chuva na borda do sistema; eventos associados a fase de enfraquecimento; origem de sudeste. Um mês pertencente à estação de transição (junho) foi mês preferencial de ocorrência das CI, sendo que houve uma queda abrupta de casos de junho para julho; este mês apresentou o maior índice pluviométrico associado com a CI.



## **4 PARTE III: MODELAGEM**

### **4.1 Objetivo**

Avaliar o desempenho do modelo regional MM5 em simular os eventos de precipitação de 2005 e 2006 no CLA.

### **4.2 Material**

#### **4.2.1 Dados observados**

Os totais horários de precipitação no CLA, descritos na seção 2.2.1, são utilizados para serem comparados com a precipitação simulada pelo modelo MM5.

#### **4.2.2 Modelo MM5**

O MM5 é a quinta geração do modelo de mesoescala desenvolvido em conjunto pela Pennsylvania State University (PSU) e pelo National Center for Atmospheric Research (NCAR) (GRELL et al., 1995). O MM5<sup>4</sup> é um modelo de domínio público, não-hidrostático, que possui a opção de grades aninhadas (nesting) e inclui vários esquemas de parametrização de processos físicos. O MM5 tem sido extensamente utilizado, no Brasil e no mundo, tanto operacionalmente quanto em pesquisas de tempo e clima. A versão do MM5 utilizada neste trabalho é a 3.7.

A condição inicial e de contorno provêm das análises globais do NCEP disponibilizadas pelo CPTEC/INPE que possuem um espaçamento temporal de 12 horas (2 vezes ao dia) e espaçamento horizontal de aproximadamente 1° (T126). Os dados de TSM são semanais, possuem um espaçamento horizontal de 1° e são obtidos junto ao CDC / NOAA através do sítio<sup>5</sup> (REYNOLDS et al., 2002). Temperatura e umidade do solo são inicializadas com a Reanálise do NCEP/NCAR.

---

<sup>4</sup> A página do MM5 na internet é: <http://box.mmm.ucar.edu/mm5>, acessado em 07 de abril de 2008.

<sup>5</sup> <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.noaa.oisst.v2.html>, acessado em 20 de outubro de 2007.

### **4.3 Metodologia**

#### **4.3.1 Simulações**

O domínio das simulações é aproximadamente centrado no CLA e abrange a área entre 9S-4N e 34W-56W. O domínio possui 70 (50) pontos na direção zonal (meridional). O espaçamento horizontal (vertical) é de 30 km (24 níveis). A pressão no topo da atmosfera é de 50 hPa. As parametrizações adotadas são: Kain-Fritsch (KF, KAIN E FRITSCH, 1993) para convecção profunda; “simple ice” (DUDHIA, 1989) para microfísica (convecção explícita); RRTM (MLAWER et al., 1997) para radiação; MRF-PBL (HONG E PAN, 1996) para camada limite planetária; e Noah-LSM (CHEN E DUDHIA, 2001) para processos de superfície. A escolha desses esquemas segue Vizy e Cook (2005). No caso do esquema de KF, nenhum ajuste é feito para que o uso dos valores default do esquema possa ser avaliado. O esquema KF foi escolhido por ter sido utilizado por Vizy Cook (2005) e Mapes et al. (2004) em simulações para a região tropical.

As integrações se iniciam com a análise de 00 UTC e se estendem por 36 h. As 12 primeiras horas são descartadas como *spin-up* (tempo necessário para o modelo entrar em equilíbrio); assim, somente são consideradas as últimas 24 h de cada integração. São feitas integrações para todos os dias de 2005 e 2006. A precipitação simulada pelo modelo MM5 é obtida para a localização do ponto de grade mais próximo do CLA (2,23039°S; 44,4617°W).

#### **4.3.2 Tabelas de Contingência**

Para comparação da precipitação entre modelo e observações, utilizam-se as medidas estatísticas definidas em McBride e Ebert (2000) para tabelas de contingência 2x2. Para verificar o desempenho do modelo em diferentes faixas de precipitação, são adotados os mesmos limiares utilizados por McBride e Ebert (2000) para total diário: 0.1, 1, 2, 5, 10, 20 e 50 mm.

A Tabela 4.1 ilustra uma tabela de contingência 2x2, onde  $a$  é o número de simulações corretas de eventos de chuva,  $b$  é o número de alarmes falsos, i.e., não houve chuva enquanto o modelo apresentou uma simulação de chuva,  $c$  é o número de falhas, i.e., houve chuva, porém, o modelo não simulou a chuva e  $d$  representa o número de simulações corretas de não-chuva.

Tabela 4.1 – Tabela de contingência.

		Observações		Total
		Chuva	Não – chuva	
Simulações	Chuva	$a$	$b$	$a+b$
	Não – chuva	$c$	$d$	$c+d$
	Total	$a+c$	$b+d$	$N = a+b+c+d$

Para cada limiar, elabora-se uma tabela de contingência e calculam-se índices de exatidão e desempenho com o propósito de avaliar o modelo na estimação do total de precipitação. Os índices de exatidão calculados são *hit rate* (HR), *threat score* (TS), *probability of detection* (POD), *success ratio* (SR), *false alarm rate* (FAR) e o viés ou *bias*. A Tabela 4.2 define cada um destes índices e mostra como interpretá-los. As seguintes medidas de desempenho são calculadas: medida de desempenho de *Heike* (HSS), de *Kuipers* (KSS) e de *Gilbert* (GSS). As expressões utilizadas para o cálculo destas medidas e a interpretação de seus resultados podem ser vistas na Tabela 4.3.

Tabela 4.2 – Medidas de exatidão para tabela de contingência 2x2 mostrada na Tabela 4.1

Medida de exatidão			Intervalo	Valores para interpretação	
				Acerto Total (b=c=0)	Nenhum acerto (a=d=0)
<b>Hit rate</b>	Fração de casos previstos corretamente em relação ao total. Percentage of forecast correct (PFC) é igual a H expresso em %.	$H = \frac{a+d}{n}$	[0;+1]	+1	0
<b>Threat score</b>	Igual a H mas excluindo d (rejeições corretas). Usando quando d é muito maior que as demais frequências, ou seja, d ~n.	$TS = \frac{a}{a+b+c}$			
<b>Probability of detection</b>	Fração de acertos em relação ao total de ocorrências observadas [P(F <sub>1</sub>  O <sub>1</sub> )]	$POD = \frac{a}{a+c}$			
<b>Success ratio</b>	Fração de acertos em relação ao total de ocorrências previstas [P(O <sub>1</sub>  F <sub>1</sub> )]	$SR = \frac{a}{a+b}$			
<b>False alarm rate</b>	Fração de alertas falsos em relação ao total de ocorrências previstas; FAR=1-SR, i.e., [P(O <sub>2</sub>  F <sub>1</sub> )]	$FAR = \frac{b}{a+b}$			
<b>Bias</b>	Razão entre o total de ocorrências previstas e observadas [P(F <sub>1</sub> )/P(O <sub>1</sub> )]	$B = \frac{a+b}{a+c}$	[0;+ ∞ [	=+1: unbiased forecasting >+1: overforecasting <+1: underforecasting	

Fonte: Baseada em Wilks (1995).

#### 4.4 Resultados

O modelo de mesoescala MM5 simula chuva para quase todos os dias dos anos de 2005 e 2006 (Figura 4.1). Para quase todos os meses, as barras correspondentes à chuva simulada estão entre 80 e 100%. Considerando que um mês tenha 30 dias, isso indica que o modelo simula chuva em mais de 24 dias na maioria dos meses de 2005 e 2006. Portanto, o modelo superestima o número de dias com chuva, pois o número de dias com chuva observado varia de quase 0 (estação chuvosa) a 70% (estação chuvosa). Embora o modelo diminua o número de dias com chuva na estação seca, a redução é de

somente 20 a 30 pontos percentuais, ou seja, bem menor que o observado (na ordem de 70%). Portanto, em relação ao número de dias com chuva, a sazonalidade simulada é menor que a observada.

Tabela 4.3 – Medidas de desempenho para Tabela de contigência 2x2 mostrada na Tabela 4.1

Medida de desempenho		Intervalo	Valores para interpretação		
			Acerto Total (b=c=0)	Previsão aleatória (ad=bc)	Nenhum acerto (a=d=0)
Heidke	$HSS = \frac{H - H_{ref}}{1 - H_{ref}} = \frac{2(ad - bc)}{(a+c)(c+d) + (a+b)(b+d)}$	[-1;+1]	+1	0	-1
Kuipers	$KSS = \frac{H - H_{ref}}{1 - H_{ref, B=1}} = \frac{ad - bc}{(a+c)(b+d)}$				
Gilbert	$GSS = \frac{a - a_{ref}}{a + b + c - a_{ref}} = \frac{ad - bc}{n(b+c) + ad - bc}$	$[-\frac{1}{3}; +1]$			$-\frac{1}{3}$

Fonte: Baseada em Wilks (1995).

Associada à superestimativa do número de dias com chuva, ocorre superestimativa da precipitação mensal em todo o período de estudo, i.e., a curva correspondente à precipitação simulada permanece acima da curva correspondente à precipitação observada durante todo o período (Figura 4.2). Trata-se de um resultado que vai ao encontro de Oyama (2006). O modelo representa bem o mês com um máximo de precipitação observada (março) nos dois anos. No entanto, nesse mês encontra-se o maior erro de simulação (distância entre as duas curvas). O menor erro de simulação coincide com os meses mais secos (de julho a outubro); isto indica que, apesar do modelo simular chuva para quase todos os dias destes meses (Figura 4.1), os totais diários são pequenos. O erro sistemático (viés) é em média da ordem de 200 mm mês<sup>-1</sup>.

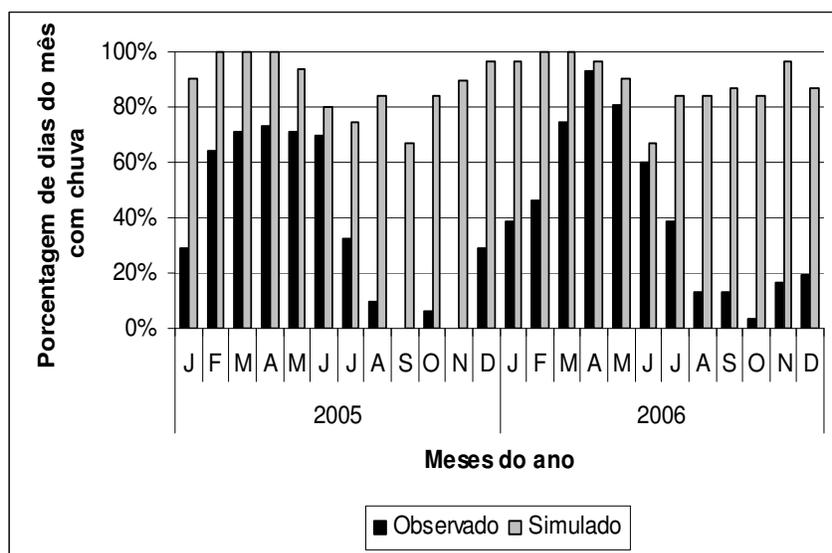


Figura 4.1 – Porcentagem de dias do mês com chuva para os anos de 2005 e 2006 para a chuva observada e a chuva simulada.

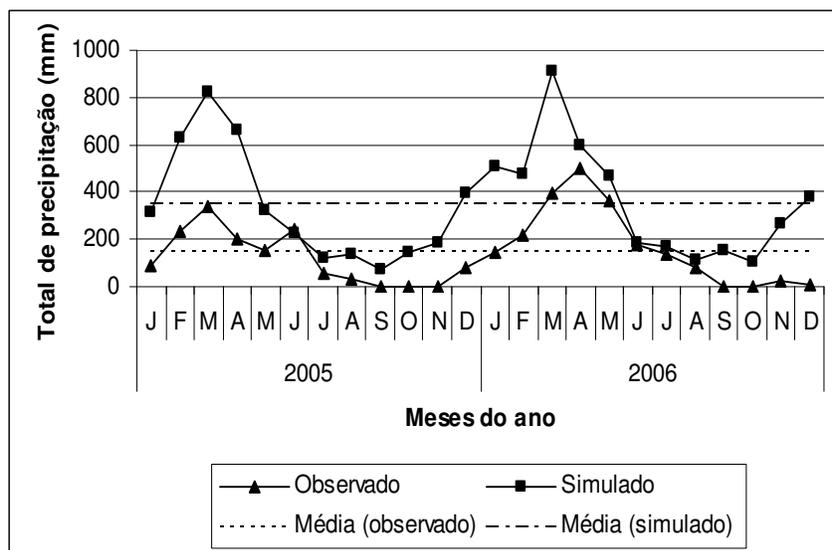


Figura 4.2 – Total de precipitação (observada e simulada) acumulada mensalmente nos anos de 2005 e 2006. As curvas pontilhadas indicam a média.

A Figura 4.3 mostra o histograma do ciclo diário do número de eventos de precipitação divididos por trimestres. Vale ressaltar que tanto dados observados quanto dados

simulados correspondem ao período de 2005 a 2006. No primeiro trimestre (DJF), observa-se pelas Figuras 4.3a e 4.3b que o modelo superestima a precipitação para todos os horários do dia, sendo que os dados observados apresentam distribuição mais uniforme ao longo do dia. A Figura 4.3b apresenta um número maior de eventos ocorrendo entre as 9 e 12 HL, enquanto que a Figura 4.3a não apresenta tal pico. Isso indica que o modelo superestima o número de eventos que ocorrem principalmente neste intervalo de tempo. No segundo trimestre (MAM) (Figuras 4.3c e 4.3d), o modelo superestima os eventos que ocorrem entre 9 e 12 HL e subestima a quantidade de eventos que ocorrem entre 6 e 9 HL e 12 e 21 HL. No terceiro trimestre (JJA), a Figura 4.4a dos dados observados mostram uma distribuição bastante uniforme no decorrer do dia, com apenas um pequeno máximo ocorrendo entre as 3 e 6 HL, enquanto a Figura 4.4b dos eventos simulados mostra um maior número de eventos entre 6 e 12 HL. No quarto trimestre (SON), a precipitação observada se distribui entre as 3 e 18 HL (Figura 4.4c). O modelo simula precipitação durante todo o dia para o quarto trimestre (Figura 4.4d); porém, o maior número de eventos simulados se concentra entre as 3 e 12 HL. Neste trimestre o modelo se comporta melhor em avaliar o período de ocorrência de precipitação.

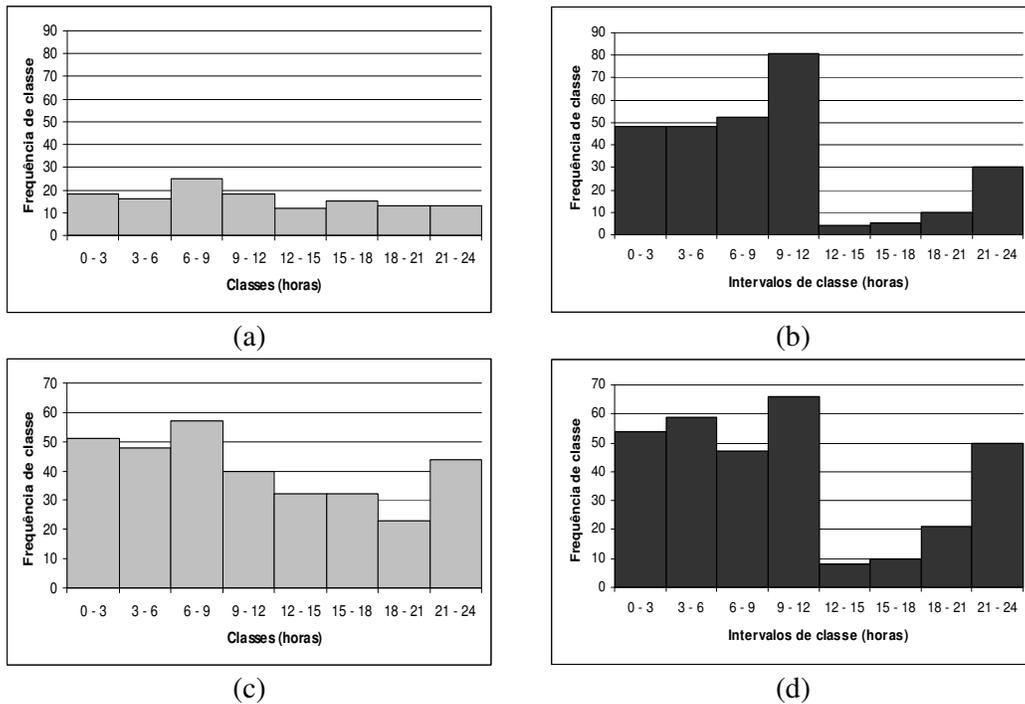


Figura 4.3 – Histograma do ciclo diário do número de eventos de precipitação para os eventos observados (de 2005 a 2006) em (a) e (c) e para os eventos simulados em (b) a (d). DJF compõem o primeiro trimestre (a) e (b), MAM compõem o segundo trimestre (c) e (d)

Os índices de exatidão do modelo obtidos com a simulação do total de precipitação são mostrados na Figura 4.5. O índice POD demonstra uma alta taxa de acerto do modelo em relação ao total de ocorrências observadas. Conforme o limiar de precipitação aumenta, este índice diminui, i.e., a capacidade do modelo em detetar os eventos de precipitação diminui. Quando o limiar passa de 10 mm o índice cai para zero subitamente. No entanto, quando se analisa o índice SR, percebe-se que durante quase todo espectro de limiares ele permanece abaixo de 0,4; isso revela uma pequena parcela de acertos do modelo em relação ao total de ocorrências simuladas. Pode-se inferir que, apesar do modelo conseguir simular bem o que é observado, ele erra ao simular mais eventos de precipitação do que realmente ocorre. Isto pode ser visto facilmente pelo índice FAR que, diferente dos outros, aumenta quanto maior o limiar, mantendo-se

praticamente acima 0,5. Esses resultados confirmam a superestimativa do número de dias chuvosos mostrada na Figura 4.1.

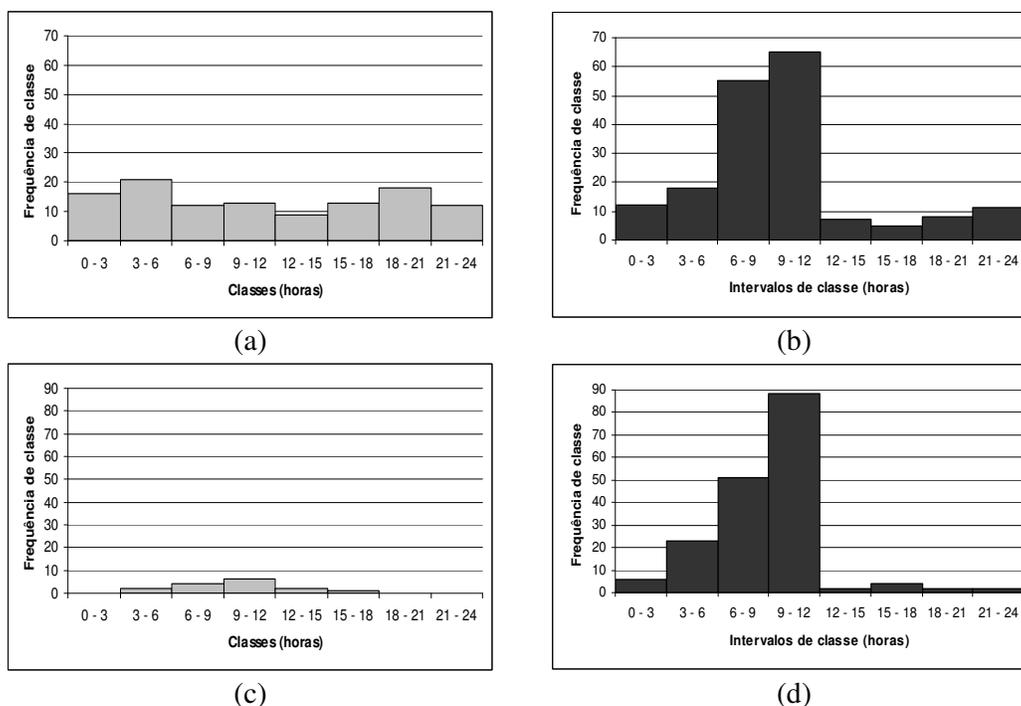


Figura 4.4 – Histograma do ciclo diário do número de eventos de precipitação para os eventos observados (de 2005 a 2006) em (a) e (c) e para os eventos simulados em (b) a (d). JJA compõem o terceiro trimestre (a) e (b) e SON compõem o quarto trimestre (c) e (d).

O HR apresenta um valor abaixo de 0,5 até o limiar de 5 mm, e depois aumenta rapidamente. Para limiares abaixo de 5 mm, a parcela de eventos simulados corretamente em relação ao total de eventos é pequena, mas quando o limiar de precipitação é maior do que cinco milímetros, esta parcela tende a aumentar. Entretanto, quando se exclui o número de eventos de não-chuva simulados corretamente, calculando o índice TS, o mesmo se apresenta insatisfatório, pois o número de acerto é muito pequeno em relação aos erros. Todavia se apresenta mais alto do que o esperado, pois o *c* (número de casos de chuva observada, porém não prevista) é desprezível em relação aos os outros (*a*, *b* e *d*), pois o modelo simula chuva para praticamente todos os dias do ano. Assim, o índice TS se torna muito próximo do índice SR.

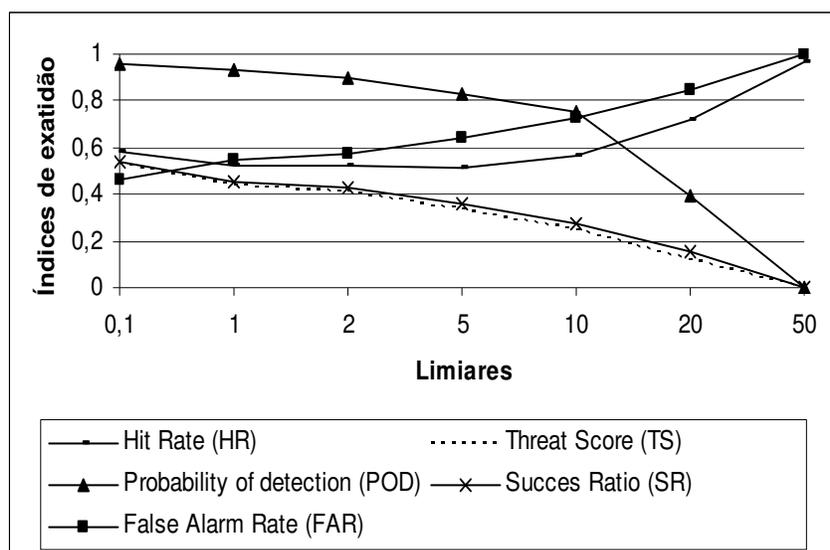


Figura 4.5 – Valores dos índices de exatidão do modelo MM5 em função dos limiares de precipitação.

A Figura 4.6 apresenta os índices de desempenho calculados. Em geral, os três índices exibem valores próximos de zero e por isso indicam um desempenho baixo do modelo em simular o total de precipitação no CLA. O índice de Kuipers (KSS) mostra que o modelo aumenta o seu desempenho em simular eventos com limiares entre 5 e 20 mm. Uma análise mais pontual diria que o índice de Kuipers (Gilbert) mostrou um melhor (pior) desempenho do modelo.

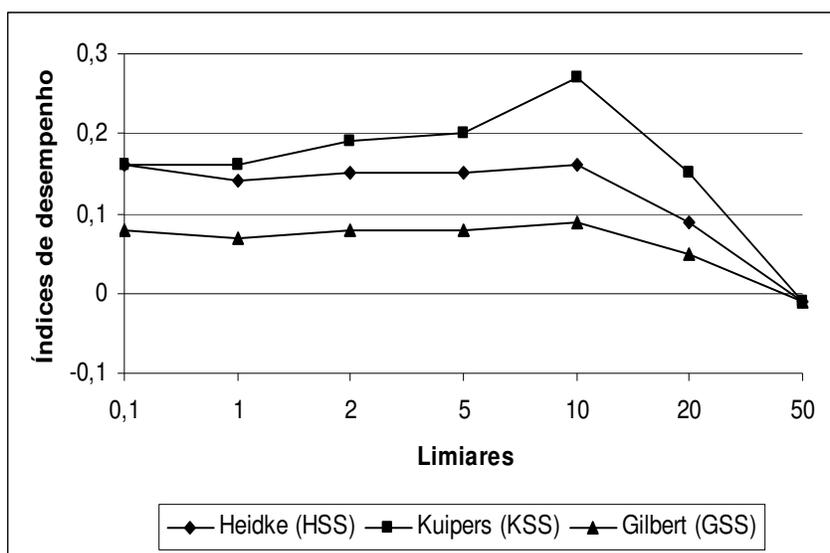


Figura 4.6 – Valores dos índices de desempenho do modelo MM5 em função dos limiares de precipitação.

O viés mostra em todo espectro dos limiares valores maiores do que um (Figura 4.7). Isso indica que o modelo superestima a precipitação para todos os limiares. Até o limiar de 10 mm, quanto maior o limiar, maior o viés. Entretanto, quando o limiar é maior do que 10 mm, o viés diminui rapidamente, i.e., o modelo tende a acertar mais em suas simulações neste intervalo de limiar.

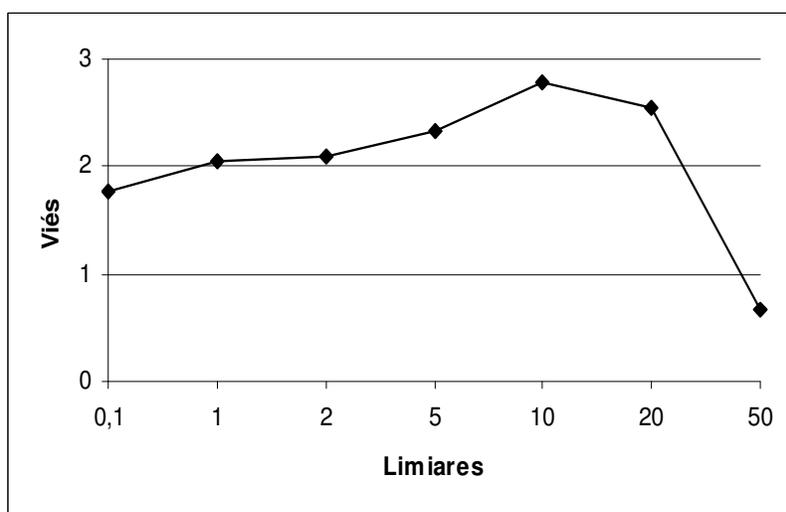


Figura 4.7 – Valor do viés do modelo MM5 em função dos limiares de precipitação.

#### 4.4.1 Simulações de teste

Devido à alta superestimativa do número de dias chuvosos e total mensal, são realizadas simulações adicionais para verificar se modificação simples seriam capazes de atenuar os erros sistemáticos. Assim, no primeiro teste, em vez do esquema KF, utiliza-se o esquema KF2 (KF com modificações), que está disponível no conjunto de esquemas do MM5. No segundo teste, denominado KF750, modifica-se o raio das nuvens nas correntes ascendentes de 1500 m para 750 m no esquema de KF. Trata-se de um ajuste realizado por Mapes et al. (2004). A simulação é feita para dois meses do ano de 2005. É selecionado um mês (abril) que representa a estação chuvosa e outro mês que representa a estação seca (outubro).

A Figura 4.8 mostra a comparação entre a porcentagem de dias com chuva observada para os meses de abril e outubro de 2005 nas três simulações (KF, KF2, KF750). O esquema KF2 mostra uma melhor estimativa dos dias com chuva, principalmente para o mês de outubro, quando o esquema diminui de forma pronunciada a porcentagem de dias com chuva, aproximando-se mais das observações. Contudo, no mês de março, o esquema KF2 apresenta somente uma pequena redução com relação ao KF, o que ocorre também com o esquema KF750. Logo, apesar de haver melhorias, particularmente no esquema KF2, elas ainda não seriam suficientes para representar bem as observações.

A simulação utilizando o esquema KF2 continua se apresentando melhor do que as outras simulações, conforme se pode observar na Figura 4.9, que mostra a comparação entre o total de precipitação observada e as três simulações (KF, KF2, KF750). Para o mês de março, a melhora do KF2 continua não sendo significativa, de forma semelhante à porcentagem dos dias de chuva. O modelo com o esquema KF2 se comporta melhor ao simular a precipitação no mês de outubro

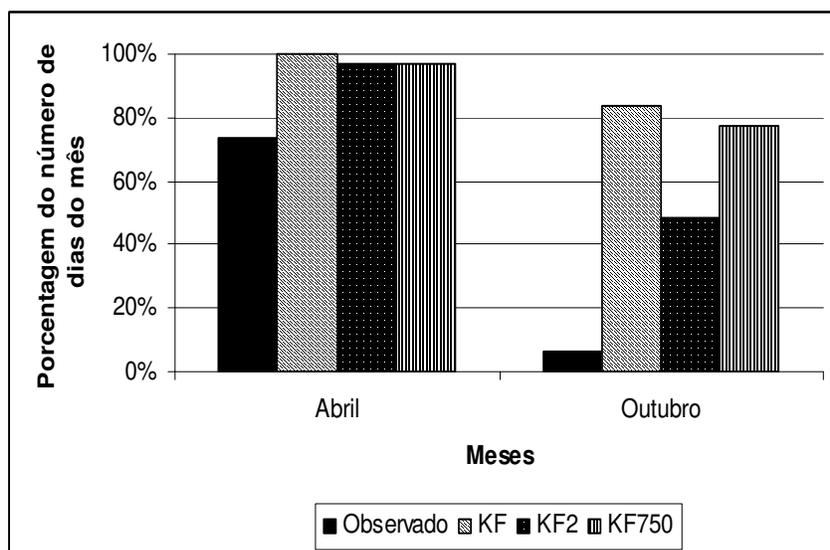


Figura 4.8 – Comparação entre o observado e 3 simulações diferentes com o modelo MM5 para os meses março e abril de 2005, com relação à porcentagem do número de dias do mês.

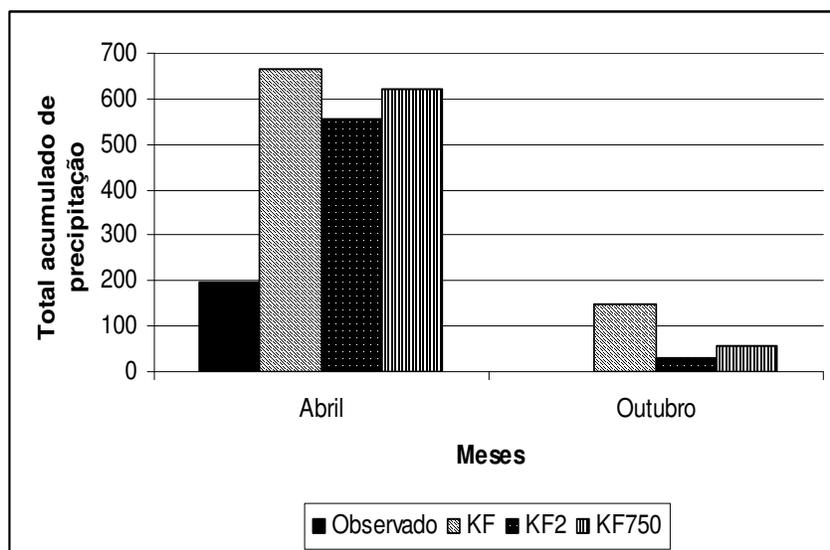


Figura 4.9 – Comparação entre observado e 3 simulações diferentes com o modelo MM5 para os meses março e abril de 2005, com relação ao total de precipitação acumulada.

## 4.5 Conclusões

As principais conclusões obtidas da Parte III são:

- Durante todo o período de estudo o modelo superestima a precipitação observada e mostra que na estação chuvosa (seca) o erro é maior (menor);
- O modelo tende a superestimar o número de eventos que ocorrem entre as 0 e 12 HL em DJF e subestimar entre as 12 e 21 HL. Em MAM o modelo subestima os eventos que ocorrem entre 6 e 9 HL e 12 e 18 HL e superestima os eventos que ocorrem entre 9 e 12 HL. Em JJA e SON o modelo superestima os eventos que ocorrem entre 6 e 12 HL e entre 3 e 12 HL, respectivamente;
- Com o uso dos índices de exatidão, pode-se concluir que, apesar do modelo conseguir identificar os eventos de chuva observada, ele erra ao superestimar a quantidade de eventos;
- Os índices de desempenho exibem valores próximos de zero e por isso indicam um desempenho baixo do modelo em simular o total de precipitação no CLA. O índice de Kuipers (KSS) demonstrou que o modelo aumenta o seu desempenho em simular eventos com limiares entre 5 e 20 mm;
- O viés mostra que o modelo superestima a precipitação para todos os limiares. Até o limiar de 20 mm, quanto maior o limiar, maior o viés;
- As simulações testes mostram que o esquema KF2 apresenta uma melhora na simulação da precipitação da chuva no CLA, porém essa melhora ainda não é suficiente para representar bem os eventos de precipitação.

## 5 CONCLUSÕES

Este trabalho visou estudar vários aspectos relacionados com a precipitação no Centro de Lançamento de Alcântara (CLA), onde é desenvolvido grande parte dos experimentos de interesse aeroespacial do Brasil.

A primeira etapa do trabalho apresentado caracterizou estatisticamente o comportamento da precipitação sobre o CLA utilizando dados horários abrangendo o período do final do ano de 1993 até o início do ano de 2007. Nesta etapa, quando analisaram-se os máximos de precipitação, foi verificado que os meses de março e abril caracterizam a estação chuvosa e os meses de setembro, outubro e novembro caracterizam a estação seca. Característica interessante foi observada para o total acumulado nos eventos de chuva sobre o CLA, onde grande parte dos eventos de chuva apresenta pouco total acumulado, curta duração, pequena intensidade, sendo freqüentes durante a estação chuvosa.

Em uma segunda etapa, procurou-se definir critérios e identificar os sistemas meteorológicos de grande, meso e de escala local associados com precipitação, que atuaram sobre a região do CLA entre os anos de 2005 e 2006. Com este objetivo, foram utilizados dados de reanálise do NCEP, dados de Radiação de Onda Longa Emergente (ROLE) e dados de Temperatura de Brilho no canal do infravermelho (TB) dos satélites GOES, conseguindo assim avaliar a contribuição dos sistemas relacionados anteriormente, sobre a precipitação no CLA, de acordo com a morfologia, dimensão e situação sinótica envolvida na atuação de cada sistema.

Nesta etapa foi encontrado que os fatores de grande escala somaram 40% dos eventos, sendo que o sistema que apresentou maior freqüência individual e esteve mais associado com a precipitação sobre o CLA foi a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Resultados obtidos nesta segunda etapa também mostram que grande parte dos eventos de Linhas de Instabilidade (LI) e de Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), que ocasionaram precipitação sobre o CLA, estiveram associados com a ZCIT. Os processos estratiformes geraram cerca de 60% da precipitação ocorrida no CLA nos anos de 2005

e 2006, enquanto que a nebulosidade convectiva gerou aproximadamente 40%. Ambos apresentam um papel preponderante para a geração da chuva no CLA, onde a nebulosidade estratiforme se destacou. Quanto a morfologia dos sistemas, foi observado que para aqueles sistemas que apresentaram  $TB < 250$  K, possuem organização em mesoescala, i.e, áreas entre  $10^4$  km<sup>2</sup> e  $25 \times 10^4$  km<sup>2</sup>.

Em uma última etapa, utilizou-se o modelo MM5 com o objetivo de simular os eventos relacionados com precipitação sobre o CLA entre os anos de 2005 e 2006, com o propósito de contribuir para melhoria da previsão de precipitação sobre esta região. Resultados obtidos nesta etapa mostraram que para o período em estudo o modelo superestimou a precipitação durante todo o ano. Índices de exatidão e desempenho mostraram que o modelo possui erros relacionados a estimativa da quantidade de eventos e relacionados com os totais de precipitação. Testes mostraram que o esquema de convecção KF2 apresentou uma melhora na simulação da chuva no CLA, porém essa melhora ainda não foi suficiente para representar os eventos de precipitação.

Espera-se que o presente trabalho tenha contribuído para uma melhor caracterização da precipitação e dos sistemas precipitantes sobre o CLA. Como trabalhos futuros, sugerimos: 1) caracterizar estatisticamente os eventos extremos de precipitação no CLA; 2) obter objetivamente o ciclo de vida dos sistemas convectivos que influenciam o CLA; e 3) modificar o esquema KF2 para representar melhor os eventos de precipitação no CLA.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M. A. S.; OYAMA, M. D.; YAMASAKI, J. Composição de eventos de distúrbios ondulatórios de leste sobre as regiões de Alcântara e Natal: caracterização preliminar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis, SC. **Anais...** Florianópolis: SBMET, 2006. CD-ROM.

ALVES M. A. S.; MARQUES, R. F. C.; OYAMA, M. D. Detecção de distúrbios ondulatórios de leste sobre a região do centro de lançamento de Alcântara utilizando dados filtrados: estudo preliminar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 15., 2008, São Paulo, SP. **Anais...** São Paulo: SBMET, 2008 (aceito para apresentação).

ASSIS, F. N.; ARRUDA, H.V.; PEREIRA, A.R. **Aplicações de estatística à climatologia**: teoria e prática. Pelotas: Ed. Universitária UFPel, 1996. 161p.

BARBOSA, R. L. **Interação das perturbações convectivas iniciadas na costa norte do Brasil com os distúrbios ondulatórios de leste**. 2005-04-01. 151 p. (INPE-14433-TDI/1132). Dissertação de Mestrado - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2007. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2005/07.06.19.23>>. Acesso em: 18 jun. 2008.

BUSTAMANTE, J. F.; CHOU, S. C.; ROZANTE, J. R.; GOMES, J. L. Uma avaliação da previsibilidade de tempo do modelo Eta para a América do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 1, 59-70, 2005.

CAVALCANTI, I. F. A. **Um estudo sobre interações entre sistemas de circulação de escala sinótica e circulações locais**. fev. 1982. 133 p. (INPE-2494-TDL/097). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1982. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2005/08.24.13.44>>. Acesso em: 29 abr. 2008.

CHEN, F.; DUDHIA, J. Coupling an advanced land-surface/ hydrology model with the Penn State/NCAR MM5 modeling system, part I: model implementation and sensitivity. **Mon. Wea. Rev.**, v.129, p.569-585, 2001.

CLIMANALISE - Boletim de Monitoramento e Análise Climática. Cachoeira Paulista, SP: INPE, 2002, 2005 e 2006. Mensal. ISSN 0103-0019.

COÊLHO, M. S. **Estudo da estrutura vertical e horizontal da precipitação e da circulação atmosférica na região da ZCIT.** 2002-02-18. 158 p. (INPE-10287-TDI/906). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2002. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2004/08.16.11.01>>. Acesso em: 18 jun. 2008.

COHEN, J. C. P.; SILVA DIAS, M. F.; NOBRE, C. A. Aspectos climatológicos das linhas de instabilidade na Amazônia. **Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. 4, n. 11, p. 34-40, nov. 1989. (INPE-6028-PRE/2143).

COUTINHO, E. C.; FISCH, G. Distúrbios ondulatórios de leste (DOLs) na região do Centro de Lançamento de Alcântara - MA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, p. 1-14, 2007.

DUDHIA, J. Numerical study of convection observed during winter monsoon experiment using a mesoscale two-dimensional model. **J. Atmos. Sci.**, v.46, p.3077-3107, 1989.

EBERT, E. E., U. DAMRATH, W. WERGEN, M. E. BALDWIN, The WGNE assessment of short term quantitative precipitation forecast. **Bull. Amer. Meteo. Soc.**, 84, 481-492, 2003.

FERREIRA, N. S.; REPELLI, C. A.; ALVEZ, J. M. B.; SOUZA, E. B. Localiza um procedimento numérico para localização do eixo central da zona de convergência intertropical no atlântico tropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 2, p. 159-164, 2005.

FISCH, G. Análise do perfil de vento no Centro de Lançamento de Alcântara. **Ciência e Natura**, Santa Maria, RS, v. único, p. 171-175, 2005.

GADGIL, S.; GURUPRASAD, A. An objective method for identification of intertropical convergence zone. **J. Climate**, v.3, n.1, p.558 – 567, 1990.

GAN, M. A. **Um estudo observacional sobre as baixas frias da alta troposfera, nas latitudes subtropicais do Atlântico Sul e leste do Brasil**. 1982-10-05. 80 p. (INPE-2685-TDL/126). - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1982. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2005/06.21.17.31>>. Acesso em: 29 abr. 2008.

GRELL, G.A.; DUDHIA, J.; STAUFFER, D.R. **A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5)**. Boulder, Colorado: NCAR, 1995. 122p. NCAR Technical Note, NCAR/TN-398+STR.

GUEDES, R. L.; MACHADO, L. A. T. Climatologia da estrutura vertical das perturbações convectivas sobre a América do Sul e adjacências. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 18, n. 2, p. 215-230, dez 2003. (INPE-10653-PRE/6115).

HONG, S. Y.; PAN, H. L. Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium-range forecast model. **Mon. Wea. Rev.**, v.124, p.2322-2339, 1996.

HOUZE, R. A. **Cloud dynamics**. New York: Academic Press, 1993. 573 p.

KAIN, J. S.; FRITSCH, J. M. Convective parameterization for mesoscale models: the Kain-Fritsch Scheme. In: Emanuel, K.A.; Raymond, D.J. (Ed.) *The Representation of Cumulus Convection in Numerical Models*. Boston, Massachusetts: **Amer. Met. Soc.**, 1993. cap. 16, p.165-170.

KALNAY, E.; KANAMITSU, M.; KISTLER, R.; COLLINS, W.; DEAVEN, D.; GANDIN, L.; IREDELL, M.; SAHA, S.; WHITE, G.; WOOLEN, J.; ZHU, Y.; CHELLIAH, M.; EBISUZAKI, W.; HIGGINS, W.; JANOWIAK, J.; MO, K. C.; ROPELEWSKI, C.; WANG, J.; LEETMA, A.; REYNOLDS, R.; JENNE, R.; JOSEPH, D. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. **Bulletin of American Meteorology Society**, v. 77, p. 437-471, 1996.

KOUSKY, V. E. Diurnal rainfall variation in northeast Brazil. **Mon. Wea. Rev.**, 108, 488 – 498, 1980.

KOUSKY, V.; CAVALCANTI, I. F.A. Eventos oscilação Sul/El Nino. Características, evolução e anomalias de precipitação. **Ciência e Cultura**, v. 36, n. 11, 1888-99, 1984.

LIEBMANN B; SMITH CA. A description of a complete (interpoled) outgoing longwave radiation dataset. **Bulletin of American Meteorology Society**, v. 77, p. 1275-1277, 1996.

LOBO, P. R. V. **Um estudo climatológico da zona de convergência intertropical (ZCIT) e sua influencia sobre o nordeste do Brasil**. fev. 1982. 93 p. (INPE-2534-TDL/101). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Sao Jose dos Campos. 1982.

LOURENÇO, M. C. M.; FERREIRA, N. J.; GAN, M. A. Vórtices ciclônicos em altos níveis de origem subtropical. **Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. on line, n. Especial 10 anos, 1996. (INPE-12791-PRE/8081). Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/vociclo.html>>. Acesso em: 18 jun. 2008.

MADDOX, R. A. Mesoscale convective complexes. **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, 61, 1374-1387, 1980.

MAPES, B.E.; WARNER, T.T.; XU, M. Comparison of cumulus parameterizations and entrainment using domain - mean wind divergence in a regional model. **J. Atmos. Sci.**, v.61, n.11, p.1284-1295, 2004.

MARENGO, J. A.; NOBRE, C. N.; TOMASELLA, J. OYAMA, M. D.; OLIVEIRA, G. S.; OLIVEIRA, R.; CAMARGO, H.; ALVES, L. M. BROWN, I. F. The drought of Amazonia in 2005. **J. Climate**, v. 21, p.495 – 516, 2008.

MARQUES, R.F.C.; FISCH, G.F. As atividades de meteorologia aeroespacial no Centro Técnico Aeroespacial (CTA). **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, v.29, n.3, p.21-25, 2005.

MCBRIDE, J.L.; EBERT, E.E. Verification of quantitative precipitation forecasts from operational numerical weather prediction models over Australia. **Weather and Forecasting**. Vol. 15, n. 1 p. 103–121, 2000.

MELO, A. B. C.; NOBRE, P.; MENDES, D.; BOTTINO, M. J. A zona de convergência intertropical sobre o Oceano Atlântico: climatologia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., , Foz do Iguaçu. **Anais...** 2002. v. 1, p. 682-686. CD-ROM. (INPE-9368-PRE/5028). Disponível em:

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/iris@1915/2005/04.13.17.20>>. Acesso em: 18 jun. 2008.

MLAWER, E. J. et al. Radiative transfer for inhomogeneous atmosphere: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave. **J. Geophys. Res.**, v.102, n.D14, p.16663-16682, 1997.

MOLION L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro (RJ), v. 17, n. 1, p. 1-10, 2002.

MOTA, G.V. **Estudo observacional de distúrbios ondulatórios de leste no nordeste brasileiro**. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, 1997.

ORLANSKI, I. A rational subdivision of scales for atmospheric processes. **Bull. Amer. Meteor. Soc.** 56, p: 527-530, 1975.

OYAMA, M. D. Erros sistemáticos no clima da região tropical da América do Sul simulado pelo modelo regional MM5 em baixa resolução horizontal. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 1, p. 118-133, 2006.

OYAMA, M. D.; GIAROLLA, E. Simulação de linhas de instabilidade na costa norte do Brasil de 6 a 9 de julho de 2005 com uso do modelo regional MM5: Resultados preliminares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. **Anais...** Florianópolis: SBMET, 2006.

PEIXOTO, J. P. Oort, A. H. **Physics of climate**. American Institute of Physics, 520p. 1992.

PEREIRA, E.I.; MIRANDA, I.; FISCH, G.F.; MACHADO, L.A.T.; ALVES, M.A.S. **Atlas climatológico do Centro de Lançamento de Alcântara**. São José dos Campos: Centro Técnico Aeroespacial, 2002. Relatório de desenvolvimento, ACA/RT-01/01, GDO-000000/B0047.

PEREIRA, L. G. RUTLEDGE, S. A. diurnal cycle of shallow and Deep convection for a tropical land and an ocean environment and its relationship to synoptic wind regimes. **Mon. Wea. Rev.**, v.134, p. 2688–2701, 2006.

PIRES, L. B. M.; FISCH, G. Ventos da camada limite superficial no Centro de Lançamento de Alcântara. **Ciência e Natura**, Santa Maria, RS, v. único, p. 213-216, 2005.

QUADRO, M. F. L.; CUSTODIO, M. A.; ETCHICHURY, P. C. Estudo observacional de um episódio de ZCAS ocorrido em janeiro de 1994. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 8., 1994, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBMET, 1994. v. 2, p. 590-593. Papel.

REUTER, E. D. J.; FISCH, G.; MOTA, G. V.; COHEN, J. C. P. Estudo observacional da camada limite planetária marinha na região do Centro de Lançamento de Foguetes de Alcântara - MA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 19, n. 3, p. 251-264, 2004.

REYNOLDS, R.W. et al. An improved in situ and satellite SST analysis for climate. **J. Climate**, v.15, p.1609-1625, 2002.

ROBALLO, S. T.; FISCH, G. Estudo das características do perfil vertical do vento no centro de lançamento de Alcântara (CLA). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA (CBMET), 14., Florianópolis, SC. **Proceedings...** 2006. CD-ROM; Papel. (INPE-14580-PRE/9610). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2006/12.13.12.01>>. Acesso em: 18 jun. 2008.

SILVA, J. W.; GUIMARÃES, E.C.; TAVARES, M. Variabilidade temporal da precipitação mensal e anual na estação climatológica de Uberaba-MG. **Ciências Agrotécnicas**, Lavras, v.27, n.3 p.665-674, maio/junho, 2003.

SILVA, L. A. **A influência do vórtice ciclônicos de altos níveis (VCAN) sobre a precipitação do nordeste do Brasil (NEB) e as características associadas.** 2005-08-29. 134 p. (INPE-14488-TDI/1169). Dissertação de Mestrado - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2005/10.26.11.21>>. Acesso em: 18 jun. 2008.

SPIEGEL, M.R. **Probabilidade e estatística.** São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1978.

TAVARES, P. S. **Um estudo observacional da incursão de sistemas frontais no Nordeste Brasileiro e sua influência na atmosfera do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA)**. 03/04/2008. 152 p. (INPE--T/). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2008/05.19.20.01>>. Acesso em: 18 jun. 2008.

TEIXEIRA, M. S.; SATYAMURTY, P. Eventos extremos de precipitação na região da Serra do Mar: Parte I - descrições estatísticas da precipitação diária. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., Nov.27 - 01 Dec., Florianópolis, SC. **Proceedings...** SBMET, 2006. Artigos. Papel. Publicado como: INPE-14276-PRE/9364. Disponível em: <<http://mtc-m15.sid.inpe.br/rep-/sid.inpe.br/mtc-m15@80/2006/10.31.13.34>>. Acesso em: 07 mar. 2007. rep: [sid.inpe.br/mtc-m15@80/2006/10.31.13.34](http://sid.inpe.br/mtc-m15@80/2006/10.31.13.34).

UVO, C. B. **A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da Região Norte do Nordeste Brasileiro**. 81p. (INPE – 4887 – TDL/378). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1989.

VALVERDE, A. E. L.; LEITE, H. G.; SILVA, D. D.; PRUSKY, F. F. Momentos-L: teoria e aplicação em hidrologia. **Rev. Árvore**, v.28, n.6, p.927-933. ISSN 0100-6762, Nov./Dec. 2004.

VILA, D. A.; MACHADO, L. A. T. Shape and radiative properties of convective systems observed from infrared satellite images. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, p. 1-16, 2004. (INPE-11148-PRE/6604). Disponível em: <<http://urlib.net/cptec.inpe.br/walmeida/2004/07.23.10.22>>. Acesso em: 29 abr. 2008.

VIZY, E. K.; COOK, K.H. Evaluation of LGM SST reconstructions through their Influence on South American Climate. **J. Geophys. Res.**, v.110, doi:10.1029/2004JD005415, 2005.

WARNER, T. T.; PETERSON, R. A.; TREADON, R. E. A Tutorial on Lateral Boundary Conditions as a Basic and Potentially Serious Limitation to Regional Numerical Weather Prediction. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n. 11, p. 2599-2617, 1997

WILKS, D. S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. San Diego: Academic Press, 1995. 467p.

XAVIER, T. M. B. S.; XAVIER, A. F. S.; DIAS, P. L. S.; DIAS, M. A. F. S. A zona de convergência intertropical e suas relações com a chuva do Ceará (1964-98). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 15, n. 1, p. 27-43, 2000.

XIAO, Q.; KUO, Y. H.; SUN, J.; LEE, W. C., BARKER, D. M.; LIM E. An approach of radar reflectivity data assimilation and its assessment with the inland QPF of typhoon Rusa (2002) at landfall. **J. Appl. Meteor. Climatol.**, v. 46, p. 14–22, 2007.

ZAICOVSKI, M. B. **Aspectos sinóticos** – climatológicos associados a zona de convergência do Atlântico sul. 88p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1999.

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

### **Teses e Dissertações (TDI)**

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

### **Manuais Técnicos (MAN)**

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

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

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

### **Relatórios de Pesquisa (RPQ)**

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

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

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

### **Publicações Didáticas (PUD)**

Incluem apostilas, notas de aula e manuais didáticos.

### **Publicações Seriadas**

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

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

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

### **Pré-publicações (PRE)**

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