



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2013/05.07.16.45 -TDI

ESTAÇÃO CHUVOSA NA REGIÃO DO CENTRO DE LANÇAMENTO DE ALCÂNTARA

Urias Andrade Pinheiro

Dissertação de Mestrado em Me-
teorologia, orientada pelo Dr. Mar-
cos Daisuke Oyama, aprovada em
29 de maio de 2013.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3E442CB>>

INPE
São José dos Campos
2013

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

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

Presidente:

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

Membros:

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

Dr^a Inez Staciarini Batista - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

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

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

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

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

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

BIBLIOTECA DIGITAL:

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

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

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

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

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Maria Tereza Smith de Brito - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Luciana Manacero - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2013/05.07.16.45 -TDI

ESTAÇÃO CHUVOSA NA REGIÃO DO CENTRO DE LANÇAMENTO DE ALCÂNTARA

Urias Andrade Pinheiro

Dissertação de Mestrado em Me-
teorologia, orientada pelo Dr. Mar-
cos Daisuke Oyama, aprovada em
29 de maio de 2013.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3E442CB>>

INPE
São José dos Campos
2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Pinheiro, Urias Andrade.

P655e Estação chuvosa na região do Centro de Lançamento de Alcântara / Urias Andrade Pinheiro. – São José dos Campos : INPE, 2013.

xxiv+69 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m19/2013/05.07.16.45 -TDI)

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2013.

Orientador : Dr. Marcos Daisuke Oyama.

1. precipitação. 2. Centro de Lançamento em Alcântara. 3. veranicos. 4. MM5. 5. sistemas meteorológicos. I.Título.

CDU 551.577(812.1)



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

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

Dr. Manoel Alonso Gan



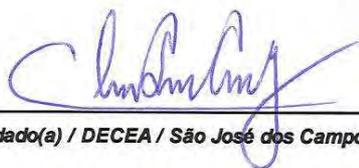
Presidente / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Marcos Daisuke Oyama



Orientador(a) / IAE/DCTA / SJC Campos - SP

Dr. Cleber de Souza Correa



Convidado(a) / DECEA / São José dos Campos - SP

Este trabalho foi aprovado por:

maioria simples

unanimidade

Aluno (a): **Urias Andrade Pinheiro**

São José dos Campos, 29 de Maio de 2013

“Dentro de vinte anos você se sentirá mais desiludido pelas coisas que não fizeste do que por aquelas que fizeste. Assim, desfralda as velas ao vento. Afasta-te do porto seguro. Aproveita os Alísios. Explora. Sonha. Descobre!”.

Mark Twain

A minha querida esposa Léa e meus filhos Letícia e Bruno.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pelo fato de ter me dado o bem mais precioso que é a vida.

A meus pais, Wilson e Guiomar (in memoriam), por terem me dado acesso à educação.

Ao meu orientador, Dr. Marcos Daisuke Oyama, pelo privilégio de ter sido um de seus orientados, pela paciência, dedicação, competência e excelente supervisão, também pelas críticas apropriadas, no sentido de enaltecer a coerência e o rigor científico pertinente ao tema desenvolvido neste trabalho.

Os meus sinceros agradecimentos, à honrada Coordenadora do Curso de Mestrado e Doutorado em Meteorologia, Prof^a Dr^a Maria Paulete, pelo imprescindível e eficaz apoio nos assuntos administrativos da PGMET.

Aos professores, Juan Ceballos, Júlio Chagas, Nelson Ferreira (Prof. Nelsinho), Silvio Nilo, Manoel Gan, Marcelo Barbio, Celso Thomaz, Regina e Plínio Alvalá, Iracema Cavalcanti, Pablo Reyes, José Bonatti, José Aravéquia e Nuri Calbete, que repassaram uma gama de conhecimentos fundamentais ao desenvolvimento desta dissertação.

Aos meus colegas do mestrado, em ordem alfabética: Aline, Anthony, Fábio, Fernando Brandão, Fernando Oliveira, Livia, Luciana, Minella e Silvia.

Um agradecimento especial a Michelyne, Doutoranda em Meteorologia, pela preciosa ajuda na fase final deste trabalho.

Aos colegas da turma de Doutorado, em ordem alfabética: André, Cláudia, Dayana, Paulo, Rildo, Sheila e Theomar.

Ao Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) da Força Aérea Brasileira, por ter me disponibilizado o acesso ao nível de Pós-Graduação (Mestrado).

Aos oficiais meteorologistas do ICEA, em ordem de antiguidade: Maj QOEMET Cleômenes, Maj QOEMET Avanir , Cap QOEMET George, Cap QOEA-MET Grossi e Cap QOEMET Miguel.

Aos militares e civis do IAE: TCEl QOEMET Cleber, Cap QOEMET Marcos Luiz, Ten QOEMET Alexandre (IAE), Aparecida (Cida), Castro e José Maria.

Ao amigo do CCA-SJ: Cap Int Hardaleson, pelo fraternal convívio durante o período do curso.

Ao Carlos César pela ajuda na instalação de programas computacionais utilizados nesta dissertação, estando sempre disposto a ajudar aos alunos da pós-graduação, na área de informática durante a realização do curso.

À Simone, secretária da pós-graduação em Meteorologia e sua auxiliar Luana, pela presteza, organização e competência na gestão da Secretaria do curso de Meteorologia.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

RESUMO

As características da estação chuvosa (EC) da região do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA) foram estudadas utilizando totais diários de precipitação de 1979 a 2010 (32 anos). Baseado na precipitação pentadal, definiu-se o início (fim) da EC como a primeira pântada quando a precipitação é maior (menor) que a média anual climatológica de 27,6 mm e esse comportamento se mantém em 3 das 4 pântadas posteriores. Em média, a EC inicia-se em 28 de janeiro, encerra-se em 12 de junho, possui duração de cerca de 4,5 meses e total de precipitação de 1621 mm (cerca de 80% do total anual). Cerca de 2/3 do total de precipitação da EC está concentrada no trimestre MAM. As datas de início e fim, a duração e o total de precipitação possuem grande variabilidade interanual e, usualmente, maior (menor) duração está associada a adiantamento (atraso) no início da EC, atraso (adiantamento) do fim da EC e maior (menor) total acumulado. Em geral, o adiantamento ou o atraso do início da EC depende de anomalias de características da Zona de Convergência Intertropical Atlântica. As anomalias da ocorrência de Linhas de Instabilidade na costa norte do Brasil e/ou de Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis seriam importantes em anos específicos, mas não como fator principal. A ocorrência de dias secos (1 a 2 dias consecutivos com total diário < 1 mm) e veranicos (3 dias consecutivos ou mais com total diário < 1 mm) afeta cerca de 7% e 3%, respectivamente, dos dias da EC. Simulações com o modelo regional MM5 para 2010, ano em que houve grande atraso no início da EC, foram realizadas. As simulações apresentaram erros expressivos no total diário de precipitação que levaram a uma identificação errônea da EC.

RAINY SEASON OVER THE REGION OF CENTER ALCÂNTARA ROCKET

LAUNCHING

ABSTRACT

The features of the rainy season (EC) at the Alcântara Launch Center (CLA) region were studied using daily precipitation data from 1979 to 2010 (32 years). Based on pentad precipitation, the onset (demise) of the EC was defined as the first pentad when precipitation is greater (lower) than the climatological annual average of 27.6 mm, and this behavior lasts for 3 out of the 4 following pentads. On average, EC onset is 28-Jan, EC demise is 12-Jun, EC duration is about 4.5 months and EC precipitation is 1621 mm (about 80% of the annual value). About 2/3 of the EC precipitation is concentrated on MAM. EC onset, demise, duration and total precipitation show large interannual variability and, usually, longer (shorter) duration is related to early (late) onset, late (early) demise and higher (lower) total precipitation. In general, early/late EC onset depends the anomalies of Atlantic Intertropical Convergence Zone features. Anomalies of Squall Lines and/or High Level Cyclonic Vortices occurrence may be important in specific years, but not as main factor. The occurrence of dry spells within EC is not usual and affects 10% of the EC duration. Simulations with the MM5 model for 2010, year with late EC onset, were performed. The simulations show poor model skill to predict EC.

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 - Localização geográfica de Alcântara-MA.....	1
Figura 1.2 - Falésia em Alcântara-MA.....	2
Figura 3.1 – Área para a qual é calculada a média de precipitação diária na grade dos dados do CPC. Essa área é limitada pela caixa em linha cheia mais espessa. O ponto na cor vermelha indica a localização aproximada do CLA. .	11
Figura 3.2 – Área para a qual é calculada a média de precipitação diária na grade dos dados do GPCP. A área é limitada pela caixa em linha cheia mais espessa. O ponto em vermelho indica a localização aproximada do CLA.	13
Figura 3.3 – Sequência de pântadas (números de 5 a 15). Nas células sombreadas em cinza, a precipitação é menor que a média anual climatológica; em vermelho, maior. A letra X indica a pântada de início da EC.....	14
Figura 3.4 – Ciclo anual médio (1979-2010) da posição (a) e intensidade (b) da ZCITA. A intensidade é dada em unidades de ROLE ($W m^{-2}$).	15
Figura 3.5 – Frequência média mensal de LI baseada em informações do Boletim Climanálise (1986 a 2010).....	16
Figura 3.6 – Média mensal dos dias de ação de VCAN no CLA baseada em informações de 1979 a 2010.....	16
Figura 3.7 – Localização do CLA (quadrado preto na costa norte do Brasil) e domínio das simulações (tracejado).....	18
Fonte: Pereira Neto e Oyama (2011).	18
Figura 4.1 – Histogramas de frequência da data de início (a) e fim (b), duração (c), total de precipitação (d) e intensidade média (e) das EC de 1979-2010. Nos painéis a e b, as datas no eixo das categorias representam o final do intervalo (p.ex., no painel a, a categoria 9-fev representa as datas de início entre 25-jan e 9-fev).	24
Figura 4.2 – Evolução temporal da EC para a região do CLA. As barras horizontais representam a duração da EC; as linhas vermelhas contínuas, a média do início e fim; e as linhas vermelhas tracejadas, à média \pm desvio-padrão. Os números à esquerda das linhas horizontais representam a pântada	

de início da EC, enquanto os números localizados à direita representam a respectiva duração.....	25
Figura 4.3 – Série temporal das anomalias normalizadas [diferença em relação à climatologia dividida pelo desvio-padrão (27 dias)] das datas de início (azul) e fim (vermelho) da EC. Anomalia normalizada positiva significa atraso; negativa, adiantamento.....	26
Figura 4.4 –Diagrama de dispersão entre duração e características de EC: total de precipitação (a), data de início (b) e data de fim (c). A linha de tendência, no painel a, foi obtida para coeficiente linear nulo. R^2 é o coeficiente de determinação.....	28
Figura 4.5 – Série temporal do total de precipitação da EC (azul) e do outono austral (vermelho).	30
Figura 4.6 – Diagrama de dispersão entre total de precipitação da EC e do outono austral (MAM). A linha vermelha contínua é a reta de regressão. R^2 é o coeficiente de determinação.....	30
Figura 4.7 – Total pentadal médio de precipitação entre 1997 a 2008, para os dados do CPC e GPCP. A média climatológica de 27.6 mm está representada pela linha pontilhada. O eixo horizontal refere-se a pântadas.....	32
Figura 4.8 – Séries temporais de início (a), fim (b) e duração (c) da EC, em pântadas, a partir dos dados do GPCP (azul) e CPC (vermelho).	33
Figura. 6.1 – Fração de dias secos e verânicos durante a EC da região do CLA.O percentual é calculado em relação à duração da EC.	42
Figura. 6.2 – Número de eventos de dias secos (1d e 2d) e verânicos (3d a 7d) em função do número de dias consecutivos com precipitação diária < 1 mm. Os percentuais são calculados em relação à totalidade de dias com precipitação diária < 1 mm.	43
Figura. 6.3 – Número de eventos de dias secos (1d e 2d) e verânicos (3d a 7d) para os anos com EC de maior e menor duração.....	44
Figura. 6.4 – Percentual de dias de dias secos e verânicos em relação ao total de dias da EC (duração) para EC com maior (EC>dur) e menor (EC<dur) duração.	44

Figura. 6.5 – Fração de dias classificados como dias secos ou veranicos para EC com maior (a) e menor (b) duração.....	45
Figura 6.6 – Probabilidade de ocorrência de veranicos em função do mês. (a) Veranicos de 3 dias ou mais; (b) veranicos de 5 dias ou mais.....	46
Figura 7.1 – Séries temporais dos totais pentadais simulados e observados. (a) Comparação entre observação (CPC) e simulação com configuração S1 (a) configuração S2 (b).	50
APÊNDICE A- Calendário relativo ao número de pântadas e suas respectivas datas.	65
APÊNDICE B - Critérios de Precipitação, em ordem cronológica.....	67
APÊNDICE C - Critérios de veranicos, em ordem cronológica	69

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 3.1 – Configuração do modelo MM5 utilizado no trabalho. Demais parametrizações seguem Pereira Neto e Oyama (2011).	19
Tabela 4.1 – Diferenças do início, fim e duração da EC obtidas com os dados do GPCP e do CPC. As características do CPC são tomados como base (assim, os valores nas células referem-se a GPCP menos CPC). Unidade: pântadas.....	32
Tabela 5.1 – Relação entre o sinal (positivo ou negativo) das anomalias normalizadas e o favorecimento ou inibição da precipitação. Favorecimento (inibição) da precipitação pode, por exemplo, significar uma EC com maior (menor) duração.....	36
Tabela 5.2 – Anos com EC curtas. Os anos com * correspondem aos de EC curta com início muito atrasado, i.e., atraso superior ao desvio-padrão (27 dias).	37
Tabela 5.3 – Anos com EC longas. Os anos com * correspondem aos de EC longa com início muito adiantado, i.e., adiantamento superior ao desvio-padrão (27 dias).	37
Tabela 5.4 – Efeito das anomalias normalizadas (valor entre parênteses) na precipitação durante o período de adiantamento para os anos com EC longa e início muito adiantado. POS: posição da ZCITA; INT: intensidade da ZCITA. 0: valor absoluto das anomalias normalizadas menor que 0,5; + e – : maior ou igual a 0,5 e menor que 1; ++ e – –: maior ou igual a 1. + e – referem-se a favorecimento (células sombreadas em azul) e inibição (vermelho) de precipitação, respectivamente. X (células cinzas): dados não disponíveis.	38
Tabela 5.5 – Efeito das anomalias normalizadas (valor entre parênteses) na precipitação durante o período de atraso para os anos com EC curta e início muito atrasado. Símbolos definidos na Tabela 5.4.....	39
Tabela 6.1 – Frequência anual de veranicos em função do mês (de fevereiro a maio) e do número de dias consecutivos com precipitação < 1 mm.	42
Tabela 7.1 – Tabela de contingência referente à configuração S1. Chuva (não-chuva) refere-se a precipitação diária $\geq (<)$ 1 mm.....	51
Tabela 7.2 – Tabela de contingência referente à configuração S2. Chuva (não-chuva) refere-se a precipitação diária $\geq (<)$ 1 mm.....	51
Tabela 7.3 – Índices de exatidão derivados das tabelas de contingência referentes às configurações S1 e S2.	51
Tabela 7.4 – Início, fim e duração das EC observada (CPC) e simuladas (configuração S1 e S2). As datas de início e fim correspondem ao centro da pântada.	52

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACA	–	Divisão de Ciências Atmosféricas
ATSM	–	Anomalias da Temperatura da Superfície do Mar
CLA	–	Centro de Lançamento de Alcântara
CPC	–	CPC South America daily precipitation analysis
CPTEC	–	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DOL	–	Distúrbios Ondulatórios de Leste
GPCP	–	Global Precipitation Climatology Project
IAE	–	Instituto de Aeronáutica e Espaço
INPE	–	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LI	–	Linhas de Instabilidade
MM5	–	Modelo de Mesoescala de 5 ^a . Geração
NCAR	–	National Center Atmospheric Research
NCEP	–	National Center for Environmental Prediction
NNEB	–	Norte do Nordeste Brasileiro
NOAA	–	National Oceanic and Atmospheric Administration
ROLE	–	Radiação de Onda Longa Emergente
SCM	–	Sistemas Convectivos de Mesoescala
VCAS	–	Vórtice Ciclônico de Ar Superior
ZCAS	–	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCITA	–	Zona de Convergência Intertropical do Atlântico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1	Sistemas de precipitação sobre a região do CLA	5
2.2	Início e fim da estação chuvosa.....	6
2.3	Veranicos.....	8
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3.1	Dados de precipitação diária do CPC	11
3.2	Dados diários de precipitação do GPCP.....	12
3.3	Identificação da EC.....	13
3.4	Levantamento dos sistemas	14
3.5	Simulações	17
4	CARACTERIZAÇÃO DA ESTAÇÃO CHUVOSA NA REGIÃO DO CLA	21
4.1	Características da estação chuvosa	21
4.2	Inter-relação das características da EC.....	26
4.3	Total de precipitação da EC e do outono austral	29
4.4	Sensibilidade ao uso de diferentes conjuntos de dados	30
4.5	Síntese.....	34
5	RELAÇÃO ENTRE SISTEMAS METEOROLÓGICOS E AS CARACTERÍSTICAS DA ESTAÇÃO CHUVOSA.....	35
5.1	Resultados.....	36
5.2	Discussão e síntese.....	40
6	DIAS SECOS E VERANICOS DURANTE A ESTAÇÃO CHUVOSA DA REGIÃO DO CLA	41
6.1	Climatologia	41
6.2	Comparação entre EC de maior e menor duração	43
6.3	Veranicos extremos	43
6.4	Probabilidade de ocorrência: comparação com São Luís.....	45
6.5	Síntese.....	46

7 REPRESENTAÇÃO DA ESTAÇÃO CHUVOSA POR MODELO REGIONAL	49
7.1 Resultados.....	49
7.2 Síntese.....	52
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
APÊNDICE A- Calendário relativo ao número de pântadas e suas respectivas datas.	65
APÊNDICE B - Critérios de Precipitação, em ordem cronológica.....	67
APÊNDICE C - Critérios de veranicos, em ordem cronológica	69

1. INTRODUÇÃO

O Centro de Lançamento de Alcântara (CLA; $02^{\circ}33'S / 44^{\circ}40'W$) é um órgão pertencente ao Comando da Aeronáutica e está localizado no município de Alcântara (MA) (Figura 1.1). O CLA faz parte do Programa Espacial Brasileiro como o local onde são lançados veículos espaciais, como o veículo lançador de satélite (VLS) e foguetes de sondagem (p.ex., VSB-30) (AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA, 2005). Tanto nas missões de lançamento quanto no estabelecimento dos requisitos de veículos espaciais, é necessário conhecimento meteorológico específico, pertencente à especialidade conhecida como Meteorologia Aeroespacial (VAUGHAN; JOHNSON, 2013). Devido a isso, dados de superfície e ar superior são coletados operacionalmente no CLA (MARQUES; FISCH, 2005), e diversas pesquisas são realizadas para a região, p.ex., Marques e Baungartner, 2008; Ferro et al., 2010; Barros e Oyama, 2010.

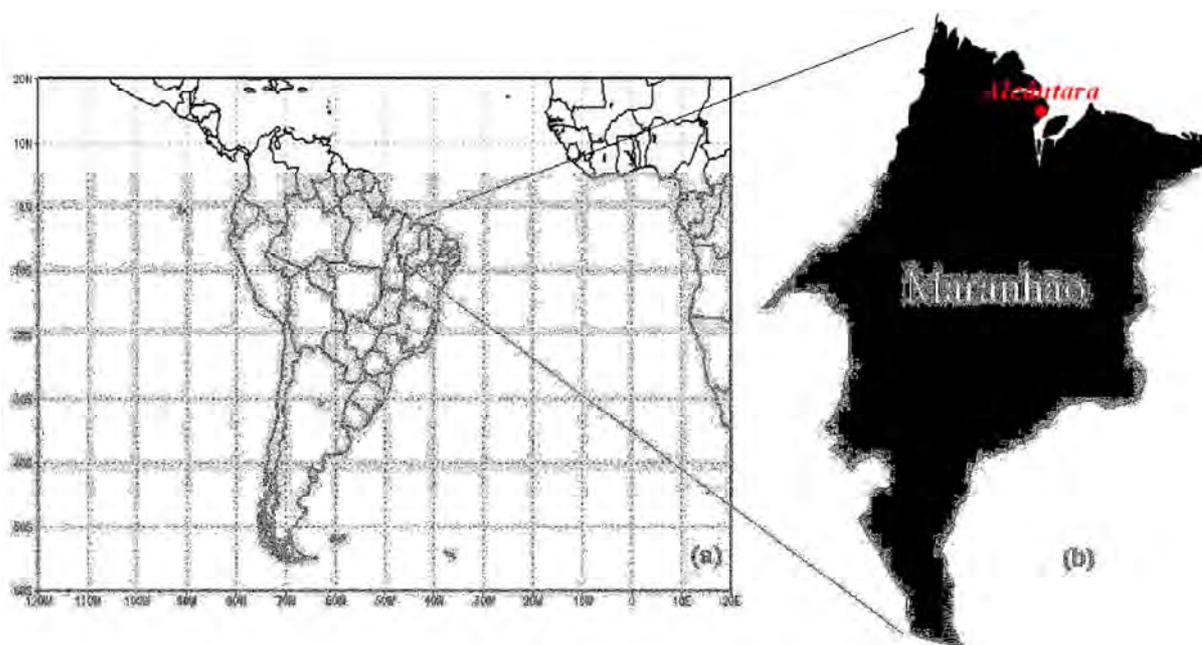


Figura 1.1 - Localização geográfica de Alcântara-MA
Fonte: Moscati et al.(2005).

A região do CLA localiza-se no litoral maranhense e encontra-se sob a ação dos ventos alísios durante todo o ano. O escoamento em baixos níveis, predominantemente de nordeste ou de leste, encontra um degrau – uma falésia com aproximadamente 50 m de altura (Figura 1.2) – ao passar do mar para o continente, levando à geração de uma camada limite interna que afeta a torre móvel de integração, local onde veículos espaciais de maior porte são integrados e lançados. Essa característica micrometeorológica foi estudada por Marinho et al. (2009), utilizando dados observados, ensaios de túnel de vento e modelagem numérica, e ilustra o tipo de pesquisa realizada em Meteorologia Aeroespacial.



Figura 1.2 - Falésia em Alcântara-MA
Fonte: Pires (2009)

Em relação ao regime de chuvas, do ponto de vista climático, a região do CLA é caracterizada por uma grande sazonalidade: enquanto mais de 50% do total

anual concentra-se no trimestre MAM (outono austral), menos que 5% encontra-se no trimestre SON (primavera austral) (PEREIRA et al., 2002). Sabe-se que o período chuvoso é de suma importância ao meio ambiente e às diversas atividades socioeconômicas, e que atrasos no seu início (variabilidade interanual) podem levar a impactos substanciais. Por exemplo, em 2010, a escassez de chuvas de fevereiro a março no Maranhão levou os agricultores a uma ação desesperada para atenuar as perdas agrícolas, a contratação de um serviço de geração artificial de precipitação (Jornal Nacional, 2010). Do ponto de vista do planejamento das missões de lançamento de foguetes, a ocorrência de precipitação é um fator de risco para a preparação e o lançamento de veículos que não são impermeáveis (MARQUES; FISCH, 2005). Assim, o conhecimento sobre o início, a extensão e o fim do período chuvoso na região do CLA, bem como da frequência temporal dos eventos de chuva durante o período chuvoso, seria útil para a identificação das datas mais favoráveis ao lançamento de foguetes. Obter esse conhecimento é o objetivo geral deste trabalho.

Em vez do termo qualitativo “período chuvoso”, daqui em diante utiliza-se o termo “estação chuvosa” (EC), que possui um significado preciso. Por estação chuvosa, entende-se um único intervalo temporal entre duas datas que atende a critério(s) envolvendo a precipitação. Assim, os objetivos específicos do trabalho são:

- caracterizar estatisticamente (climatologia e variabilidade interanual) os parâmetros da estação chuvosa na região do CLA – início, fim, extensão e total de precipitação;
- verificar a existência de períodos secos (de estiagem ou com pouca precipitação), chamados de veranicos, durante a estação chuvosa;
- verificar se o modelo regional MM5, em operação atualmente na Divisão de Ciências Atmosféricas (ACA), ajustado sobre um domínio centrado na região do CLA e com 24 h de prognóstico útil (36 h de simulação

descontado o *spin-up* de 12 h), é capaz de representar o início e o fim da estação chuvosa em um ano específico.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistemas de precipitação sobre a região do CLA

Na região do CLA, o trimestre chuvoso (MAM) decorre principalmente da influência direta da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (MARENGO; HASTENRATH, 1993), que atinge a sua posição mais austral nesse trimestre. A ZCIT corresponde à região de confluência entre os ventos alísios de sudeste provenientes do Hemisfério Sul e os de nordeste provenientes do Hemisfério Norte, e é caracterizada por intensa atividade convectiva. A ZCIT pode favorecer a precipitação de duas formas: por meio aglomerados convectivos que se formam na parte oceânica da ZCIT e se propagam para oeste, atingindo a região do CLA; interagindo com a brisa marítima e facilitando a formação de linhas de instabilidade (LI) (KOUSKY, 1980; CAVALCANTI, 1982; COHEN et al 1989; COHEN et al., 1995). Quando, no trimestre MAM, a ZCIT se posiciona mais ao norte (sul) de sua posição climatológica, espera-se menor (maior) total de precipitação no trimestre (HASTENRATH, 1991); essa associação, no entanto, não é sempre válida (OYAMA; CARVALHO, 2012).

No período entre o final do verão e o início do outono austral, quando a frequência de chuvas aumenta, os vórtices ciclônicos de altos níveis (VCAN) podem afetar a precipitação na região do CLA. Os VCAN são vórtices que surgem em altos níveis e possuem centro frio (GAN; KOUSKY, 1986). O centro do VCAN geralmente não tem nuvens, já a sua periferia (especialmente a norte) pode apresentar atividade convectiva (KOUSKY; GAN, 1981; GAN, 1982; MISHRA et al., 2007): o ar desce no centro e se eleva na periferia do sistema. Logo, se a parte central (periferia) do vórtice afeta a região do CLA, pode ocorrer inibição (favorecimento) de precipitação.

Portanto, na região do CLA, durante o trimestre chuvoso, há a influência dos seguintes sistemas de precipitação: ZCIT, VCAN (grande escala), e LI

(mesoescala). Esses sistemas são selecionados para análise dos fatores associados ao início da estação chuvosa (capítulo 5). Outros sistemas, como sistemas convectivos de mesoescala e tempestades locais (BARROS; OYAMA, 2010), também afetam a região do CLA, mas não são tratados neste trabalho.

2.2 Início e fim da estação chuvosa

As datas de início e fim da estação chuvosa (EC) podem ser delimitadas de modos diferentes. Na maioria dos casos, são usados valores pentadais de acumulados de precipitação ou de radiação de onda longa emergente (ROLE), em períodos de 5 a 10 dias consecutivos. A seguir, são apresentados os critérios que utilizaram precipitação acumulada e enfocaram regiões do Brasil.

Para a região Amazônica:

- Marengo et al (2001) utilizaram o critério de precipitação acumulada diária. Com o conhecimento da climatologia local, os autores usam uma transição abrupta do período seco para o período chuvoso. O início (fim) da estação chuvosa, seria a pênstada com total diário maior (menor) que 4 mm, sendo que 6 em 8 pênstadas precedentes deve ser menor (maior) que 3,5 mm (4,5 mm), e 6 de 8 pênstadas subsequentes deve ser maior (menor) que 4,5 mm (3,5 mm).
- Liebmann e Marengo (2001) adotaram outro método, baseado na diferença entre a precipitação acumulada diária e a precipitação anual média diária, que foi uniformemente distribuída entre os 365/366 dias do calendário Juliano. Se a diferença for positiva (negativa), então indica o início (fim) da estação chuvosa para aquele ano individual.

Para a região Sudeste:

- Sugahara (1991) utilizou o critério considerando pênstadas de precipitação. O início (fim) da estação chuvosa seria a primeira ocorrência de uma (três) pênstada(s) com precipitação maior (menor) ou igual a 10 (15) mm, não seguida por três (uma) pênstadas com

precipitação diária menor (maior) que 15 (10) mm. O mesmo critério foi utilizado por Marengo (2002), mas testando limiares diários de 3, 4 e 5 mm.

- Sansigolo (1996) considerou o início da estação chuvosa como o primeiro dia com 20 mm acumulados, em 1 ou 2 dias consecutivos, após o dia 1-set e condicionados à não-ocorrência de 10 dias secos (precipitação menor de 1 mm) nos 30 dias seguintes. O fim das chuvas foi determinado pela primeira ocorrência de uma longa seqüência de 10 ou mais dias seco após o dia 30-jan.
- Barbieri (2005) utilizou o seguinte critério: relacionou a precipitação pentadal acumulada com o seu valor médio (climatológico), i.e, calculado como a divisão entre o total de precipitação anual (climatológico) e setenta e três pântadas que compõem o ano. Se o resultado da divisão for maior (menor) que a unidade, então é o início (fim) da estação chuvosa para aquele ano individual, exigindo-se que, pelo menos, a metade dos valores fiquem acima (abaixo) da unidade por 2 (4) pântadas consecutivas.
- Franchito et al. (2008) utilizaram o mesmo critério de Barbieri et al. (2005), exceto que pelo menos, a metade dos valores fiquem acima (abaixo) da unidade por 1 de 4 pântadas consecutivas.

Para a região Centro-Oeste

- Gan et al. (2004) usou um índice baseado na precipitação de cada pântada, sendo o início (fim) da estação chuvosa, quando a primeira ocorrência de precipitação for maior (menor) que 4 mm por dia em, pelo menos, 6 das 8 pântadas seguintes.

Para o Estado do Paraná:

- Grimm et al. (1998) utilizaram o seguinte critério: 1) a primeira ocorrência de uma pântada com precipitação maior ou igual a P5, onde P5 é o valor correspondente ao percentil 5 obtido da ordenação das

precipitações médias pentadais da região. 2) a condição anterior deve ser seguida pela ocorrência de um evento onde Q3 seja maior que P15 nas três próximas pântadas consecutivas, onde Q3 é a média das três precipitações consecutivas e P15 é o valor correspondente ao percentil 15. Para a data de final da estação chuvosa: 1) a primeira ocorrência, depois do início da estação chuvosa, de Q3 menor ou igual a P15, considerando a primeira pântada consecutiva de três utilizadas na definição de Q3, como sendo o final da estação chuvosa. 2) a condição anterior deve ser seguida por um evento Q3 menor que P5.

Um resumo dos critérios encontra-se no Apêndice B.

2.3 Veranicos

Diversos fatores meteorológicos de mesoescala ou macroescala podem contribuir para ocorrência de veranicos. Por exemplo, Carvalho e Jones (2009) analisaram períodos de cinco dias de estiagem durante eventos de monções na América do Sul. Esses períodos de estiagem podem ser denominados de veranicos. **veranico** (MENEZES, 2008). Também, é possível estabelecer um limiar para os veranicos, como, por exemplo, 1 mm/dia.(ASSAD, 1993). A seguir é apresentada uma revisão dos trabalhos de veranicos para o Brasil.

Assad et al. (1993) plotaram, para o Planalto Central, o histograma de veranicos de 5, 10, 15 e 20 dias, considerando o limiar de 1 mm/dia de precipitação e utilizando uma série histórica de 20 anos, e depois relacionaram os histogramas com distribuições de probabilidade (Weibull e Gumbel), para analisar fenômenos extremos como chuva máxima e intensidade de veranicos.

Lacerda et al. (2004) obtiveram os casos de veranicos para o Sertão do Araripe-PE, utilizando mais de 25 anos de dados, considerando veranico como pelo menos 5 dias consecutivos com total diário ≤ 1 mm no período de janeiro a

abril de cada ano. Foram obtidos o número total de veranicos, a duração média de um veranico e a duração do veranico mais longo para toda a série estudada.

Menezes et al (2008) estudaram a ocorrência de veranicos no sertão da Paraíba, com 36 anos de dados de precipitação. Considerou-se veranico como a sequência de 4 dias ou mais com total diário ≤ 2 mm (depois, consideraram ≤ 4 mm). Os autores encontraram que o maior veranico foi de 49 dias com total diário ≤ 4 mm em 1983, quando ocorreu um intenso de El Niño.

Um resumo dos critérios encontra-se no Apêndice C.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Dados de precipitação diária do CPC

Utilizam-se os dados globais de precipitação diária do Climate Prediction Center (CPC), no período de janeiro de 1979 a dezembro de 2010 (32 anos completos). Os dados encontram-se em grade regular de $0,5^\circ$ e representam os dados coletados em estações pluviométricas de superfície. Foram obtidos no sítio: ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/precip/cpc_uni_prctp/gauge_glb/v1.0. Acessado em 15/05/2011. A série temporal para o CLA é a média dos quatro pontos de grade que circundam o CLA, como mostrado na Figura 3.1.

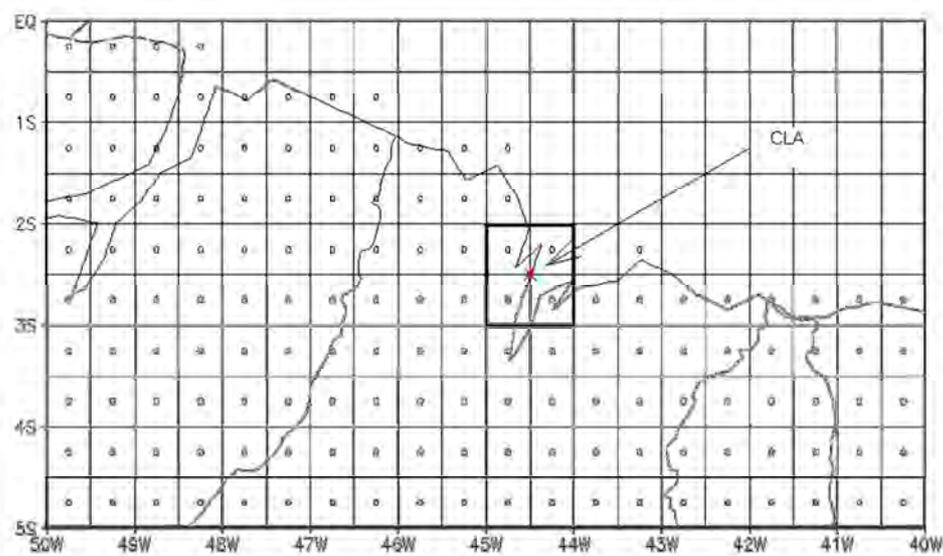


Figura 3.1 – Área para a qual é calculada a média de precipitação diária na grade dos dados do CPC. Essa área é limitada pela caixa em linha cheia mais espessa. O ponto na cor vermelha indica a localização aproximada do CLA.

A série é transformada da escala diária para a escala pentadal (5 dias). Há ausência de dados nos dias: 26-fev-2007; 1, 2 e 3-mar-2009; a precipitação pentadal (p_5) foi calculada por meio da Eq. 3.1:

$$p_5 = \frac{5}{n} \sum_{i=1}^n p_i \quad (3.1)$$

onde:

n : número de dias da pântada com valores válidos;

p_i : precipitação diária (mm).

Em anos bissextos, a precipitação média relativa à pântada de ordem 12 (25 fev a 1 mar) é obtida realizando a média aritmética de precipitação diária acumulada de seis dias, e multiplicando a média por cinco.

3.2 Dados diários de precipitação do GPCP

Utilizam-se dados globais de precipitação diária do Global Precipitation Climatology Project (GPCP) (Adler et al., 2003), no período de janeiro de 1997 a dezembro de 2008 (12 anos completos). A série do GPCP diferencia-se da série do CPC, por considerar, além de dados provenientes de estações de superfície, os dados obtidos por satélites. Os dados encontram-se em grade regular de 1° e foram obtidos de <ftp://rsd.gsfc.nasa.gov/pub/1dd-v1.1>. A série temporal para o CLA é obtida para o ponto de grade centrado em 2,5°S e 44,5°W, que representa a precipitação na mesma área (de 1° × 1°) utilizada na obtenção da série temporal do CPC (Figura 3.2).

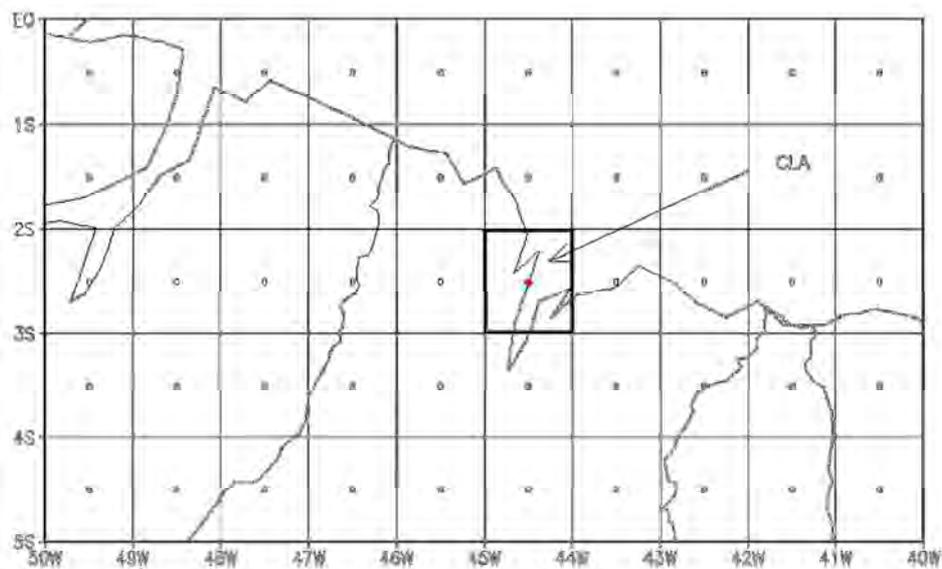


Figura 3.2 – Área para a qual é calculada a média de precipitação diária na grade dos dados do GPCP. A área é limitada pela caixa em linha cheia mais espessa. O ponto em vermelho indica a localização aproximada do CLA.

3.3 Identificação da EC

Na literatura, encontram-se muitos critérios para identificação da EC (seção 2.2). Um desses critérios foi proposto por Gan e Moscati (2003), e que considerou informações de vento, além da precipitação. No presente trabalho, adota-se um critério baseado somente na precipitação pentadal. O início (fim) da EC é definida como a primeira pântada quando a precipitação é maior (menor) que a média anual climatológica, e esse comportamento se mantém em 3 das 4 pântadas posteriores. A Figura 3.3 ilustra a identificação do início da EC. As pântadas 6 e 8 não podem ser consideradas como início da EC porque somente 2 das 4 pântadas posteriores têm precipitação maior que a média anual climatológica; a pântada 10, por preencher os requisitos, é o início da EC. O critério adotado aqui é uma adaptação do utilizado por Gan et al. (2004), mas sem considerar o vento zonal em 850 hPa na identificação. No caso do fim da EC, a procura se inicia a partir da pântada 20 (06 a 10-abr), que corresponde à média entre as datas de início e fim climatológicas. A data de

início (fim) da EC refere-se ao terceiro dia da pântada de início (fim); por exemplo, se a pântada de início é a 1 (01 a 04-jan), a data de início é 03-jan.

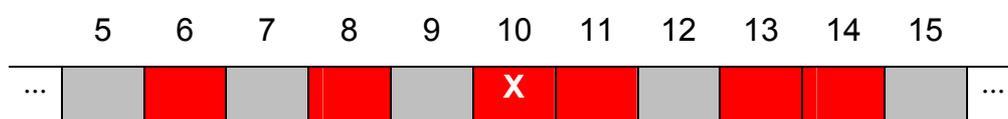


Figura 3.3 – Sequência de pântadas (números de 5 a 15). Nas células sombreadas em cinza, a precipitação é menor que a média anual climatológica; em vermelho, maior. A letra X indica a pântada de início da EC.

3.4 Levantamento dos sistemas

As características da ZCITA são obtidas objetivamente pela utilização do método descrito em Oyama e Carvalho (2012), que é baseado em Carvalho (2011). A partir de dados mensais de radiação de onda longa emergente (ROLE), o método obtém as características da ZCITA – posição, intensidade (definida como o valor de ROLE na posição da ZCITA), largura e inclinação – para a porção central do Atlântico equatorial. Neste trabalho, utilizam-se somente a posição e a intensidade, que são as características mais associadas à variabilidade de precipitação da ZCITA no quadrimestre chuvoso (fevereiro a maio; OYAMA; CARVALHO, 2012). O ciclo anual médio da posição e intensidade da ZCITA está mostrado na Figura 5.1.

A frequência de linhas de instabilidade (LI) atuantes no litoral norte do Nordeste brasileiro é obtida do Boletim Climanálise. A frequência é obtida para o período de agosto de 1986 a novembro de 2010. Em alguns meses nesse período, no entanto, não é possível obter a frequência devido à ausência da seção relativa às LI (ago/1986, dez/1986, jan/1990, jan/1991, fev/1991, mar/1991, abr/1991, set/1991, out/1991, fev/1992, mar/1992, ago/1992, mar/1993, nov/1994, dez/1994, jan/1995, mai-dez/1996, jan-dez/1997 e out/2001). A frequência

média mensal de LI encontra-se na Figura 5.2. O ciclo anual é semelhante ao obtido por Cohen et al. (1989).

Os dias de ação de VCAN no CLA é obtida de Coutinho (2008) para o período de 1979 a 2006, e do Boletim Climanálise de jan/2007 a nov/2010. Considera-se que um dado VCAN influencia a região do CLA se o centro do VCAN está a leste do CLA e a distância do centro ao CLA é menor que 2000 km (SILVA, 2005). Trata-se de uma abordagem muito simples, que é adotada no presente trabalho como tentativa inicial. A Figura 5.3 mostra a média mensal dos dias de ação de VCAN no CLA.

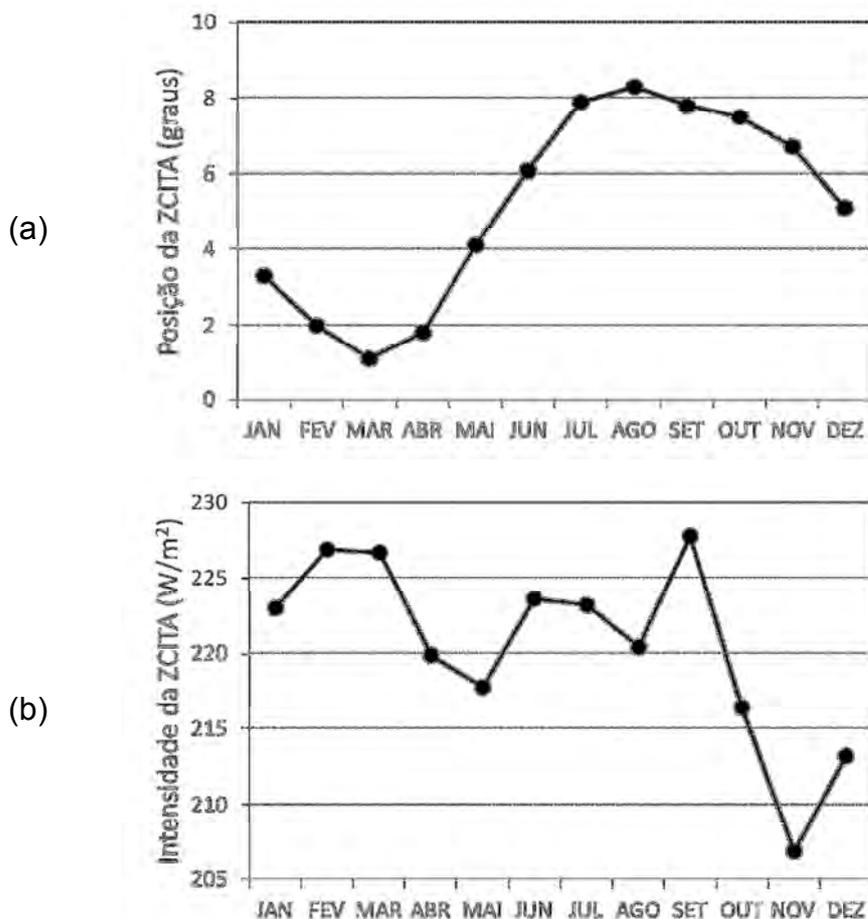


Figura 3.4 – Ciclo anual médio (1979-2010) da posição (a) e intensidade (b) da ZCITA. A intensidade é dada em unidades de ROLE ($W m^{-2}$).

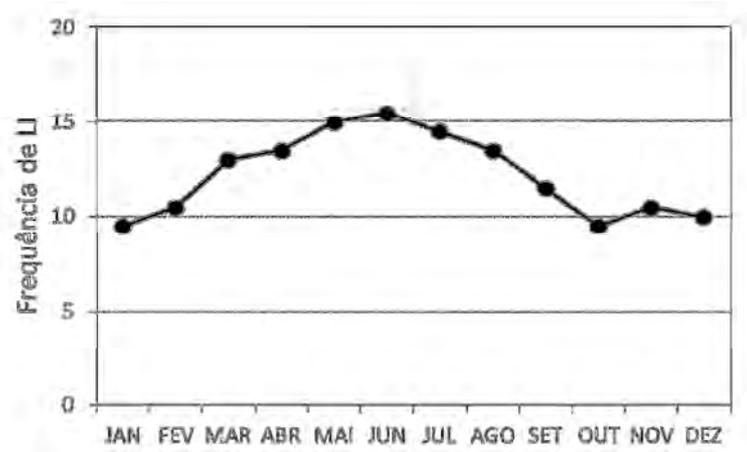


Figura 3.5 – Frequência média mensal de LI baseada em informações do Boletim Climanálise (1986 a 2010).

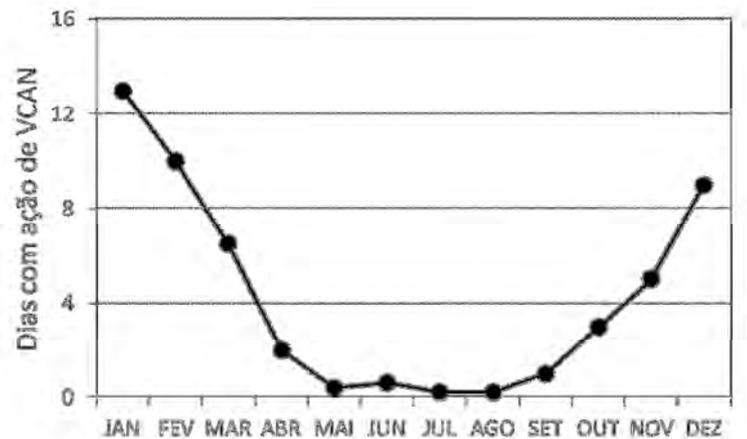


Figura 3.6 – Média mensal dos dias de ação de VCAN no CLA baseada em informações de 1979 a 2010.

As anomalias de todas variáveis mensais – posição e intensidade da ZCITA, frequência de ocorrência de LI e número de dias com ação de VCAN no CLA – são calculadas e normalizadas pelo desvio-padrão. A relação entre o sinal das anomalias normalizadas e as variações da EC está mostrada na Tabela 5.1. Ressalta-se que, no caso de VCAN, adota-se a hipótese de que os VCAN agem como inibidores da precipitação no CLA, ou seja, que é mais frequente a atuação das porções secas do VCAN, como a região central sobre o CLA, onde há subsidência. (GAN; KOUSKY, 1982).

3.5 Simulações

Para as simulações, utiliza-se o modelo regional MM5 (GRELL et al., 1995). O MM5 corresponde à quinta geração do sistema de modelagem regional desenvolvido em conjunto pela *Pennsylvania State University* (PSU) e pelo *National Center for Atmospheric Research* (NCAR), e é amplamente empregado na pesquisa e na Meteorologia operacional. No Brasil, o MM5 tem sido utilizado por diversas instituições, tais como o Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) (OYAMA, 2007), o Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA) e o Centro Nacional de Meteorologia Aeronáutica (CNMA). O MM5 é um modelo de área limitada, não-hidrostático e que possui um amplo conjunto de parametrizações físicas disponíveis. Aqui, utiliza-se um domínio aproximadamente centrado no CLA (Figura 3.4); o domínio escolhido é o mesmo utilizado por Pereira Neto e Oyama (2011).

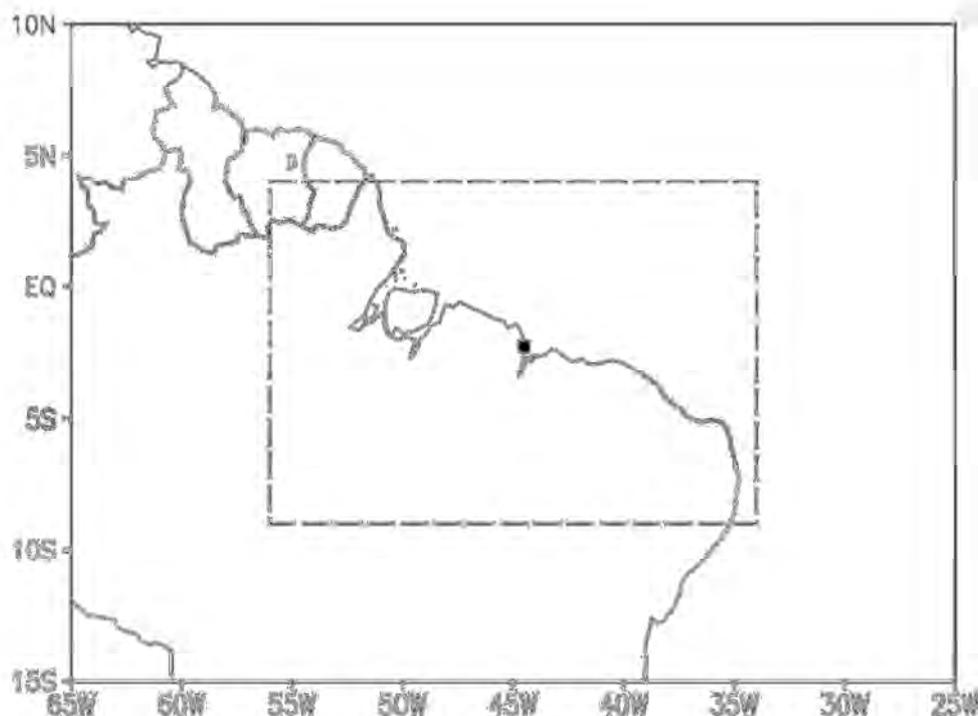


Figura 3.7 – Localização do CLA (quadrado preto na costa norte do Brasil) e domínio das simulações (tracejado).
 Fonte: Pereira Neto e Oyama (2011).

As simulações são realizadas para cada dia e comparadas com as análises de precipitação do CPC, e abrangem o período de 01 de janeiro a 28 de agosto de 2010. A série de precipitação simulada é obtida da seguinte forma: o modelo é integrado por 36 h, a partir de 12:00 UTC, sendo as 12 primeiras horas descartadas como *spin-up*; a precipitação das 24 h restantes é tomada como total diário. As condições iniciais e de contorno provêm da Reanálise do ERA-Interim (DEE, 2011).

As simulações são realizadas para duas configurações: S1 e S2. Ambas as configurações provêm de Pereira Neto e Oyama (2011): a configuração S2 corresponde ao controle (que gera precipitação excessiva na região do CLA), enquanto a S1 inclui ajustes para melhor representar a precipitação na região do CLA, particularmente no trimestre chuvoso. Um resumo das configurações está apresentado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Configuração do modelo MM5 utilizado no trabalho. Demais parametrizações seguem Pereira Neto e Oyama (2011).

espaçamento de grade	30 km	
número de níveis	24	
convecção profunda	S1: KF-2 ajustado	S2: KF-2
microfísica de nuvens	S1: <i>warm rain</i>	S2: <i>simple ice</i>
convecção rasa	S1: Grell	S2: KF-2

4. CARACTERIZAÇÃO DA ESTAÇÃO CHUVOSA NA REGIÃO DO CLA

A estação chuvosa (EC) é de grande importância para a sociedade em geral e tem sido objeto de vários estudos. O conhecimento sobre a EC permite um planejamento mais adequado de atividades relacionadas à agricultura, defesa civil, ao setor elétrico e espacial, por exemplo. Neste capítulo, o objetivo é obter as características da estação chuvosa (EC) – início, fim, duração, total de precipitação e intensidade média – na região do CLA. A caracterização é estatística e abordam-se a climatologia, a variabilidade interanual e a distribuição de frequência, bem como a inter-relação entre as características da EC. Além disso, verifica-se a sensibilidade dos resultados obtidos ao uso de um diferente conjunto de dados de precipitação. Trata-se de uma forma de avaliar a robustez dos resultados obtidos.

4.1. Características da estação chuvosa

Climatologicamente, a estação chuvosa (EC) na região do CLA possui as seguintes características:

- início em 28-jan;
- término em 12-jun;
- duração de 139 dias¹ (cerca de 4 meses e meio);
- total de precipitação média de 1621 mm (80% do total anual);
- intensidade média de 11,6 mm d⁻¹.

Quanto à variabilidade interanual, o desvio-padrão é de 27 dias (cerca de 1 mês) para as datas de início e fim. O coeficiente de variação da duração é de 33% (desvio-padrão de cerca de 1 mês e meio); do total de precipitação, 38%; e da intensidade média, 15%. A pequena variabilidade da intensidade média (em relação às das outras características) implica, em primeira ordem, na

proporcionalidade entre total de precipitação e duração. Isso é ratificado pela alta correlação linear entre essas duas características (coeficiente de correlação de Pearson, r , maior que 0,9; Cf. seção 4.2).

A distribuição de frequência das características da EC está mostrada na Figura 4.1.

- Data de início: distribuição aparentemente bimodal, com uma moda próxima da média (meados de janeiro) e outra muito atrasada (meados de março).
- Data de fim, duração e total de precipitação: distribuição unimodal e assimétrica (assimetria negativa); para a duração (total de precipitação), a moda é maior que a média em cerca de 1 mês (500 mm). A assimetria da distribuição da data de fim, da duração e do total de precipitação está diretamente relacionadas entre si. Atraso frequente do fim de EC contribui para a maior frequência de EC mais longas e, conseqüentemente (em primeira ordem), com maior total de precipitação.
- Intensidade média: distribuição unimodal, simétrica e mesocúrtica.

A evolução temporal da EC está mostrada na Figura 4.2. Claramente, ocorre grande variação, de ano para ano, do início, fim e duração da EC, ratificando os altos valores de desvio-padrão dessas características. A autocorrelação com *lag* 1 é quase nula, ou seja, as características da EC não se comportam como um processo markoviano de primeira ordem, embora haja períodos (intervalo de anos) em que a duração da EC tenha menor variabilidade: por exemplo, de 1999 a 2004 (de 1979 a 1983, exceto 1982), a EC foi bem mais longa (curta) que a média. O período entre as pântadas 17 e 20, referente ao período de 22 de março a 10 de abril, é comum às EC, em todos os 32 anos. Em geral, as anomalias de início e fim da EC mostram-se com defasagem de fase de 180° , ou seja, os anos com atraso no início (fim) coincidem com os de adiantamento

¹ Soma de 134 dias entre as datas de início e fim, 2 dias da pântada inicial e 2 dias da pântada final.

do fim (início); esse comportamento aparece de forma mais clara na Figura 4.3. Isso significa que, menor (maior) duração estaria associada à ocorrência **conjunta** de atraso no início (fim) e adiantamento do fim (início). Essa relação é testada na seção 4.2.

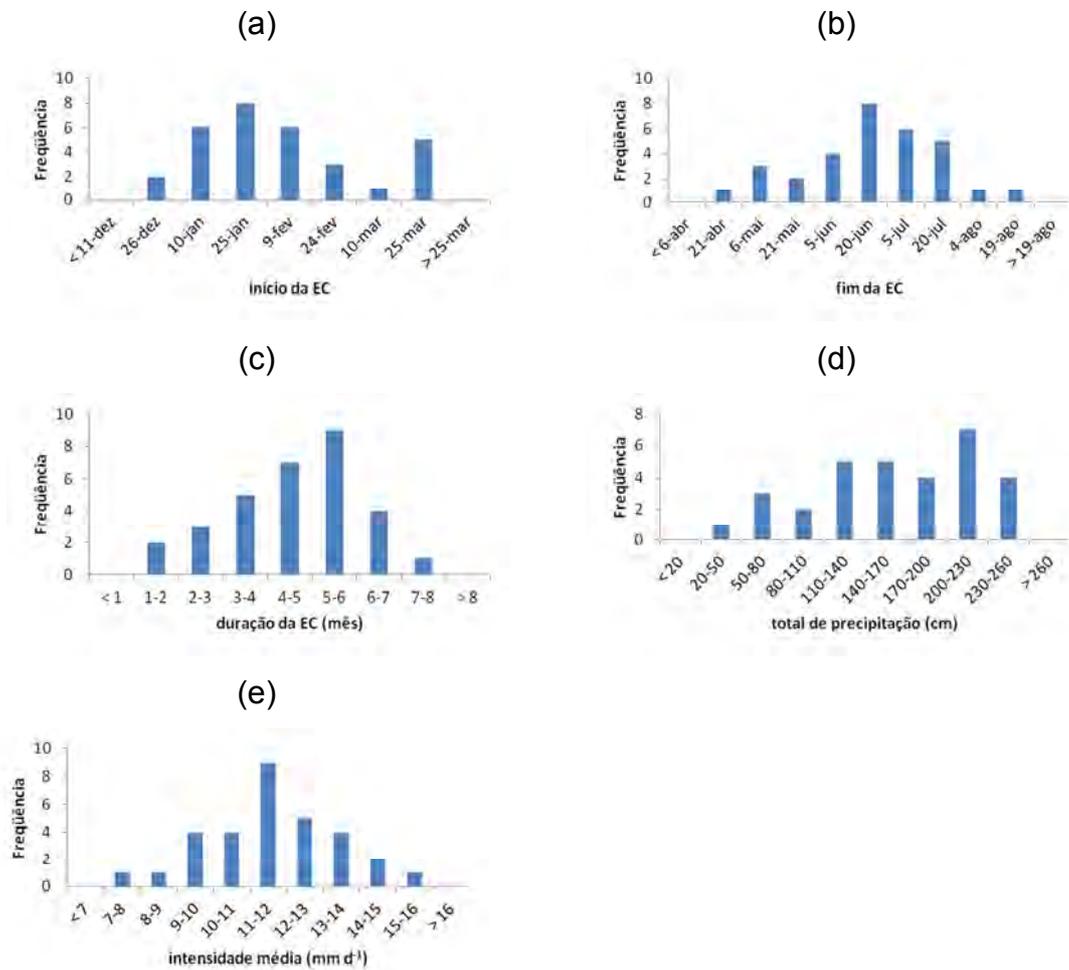


Figura 4.1 – Histogramas de frequência da data de início (a) e fim (b), duração (c), total de precipitação (d) e intensidade média (e) das EC de 1979-2010. Nos painéis a e b, as datas no eixo das categorias representam o final do intervalo (p.ex., no painel a, a categoria 9-fev representa as datas de início entre 25-jan e 9-fev).

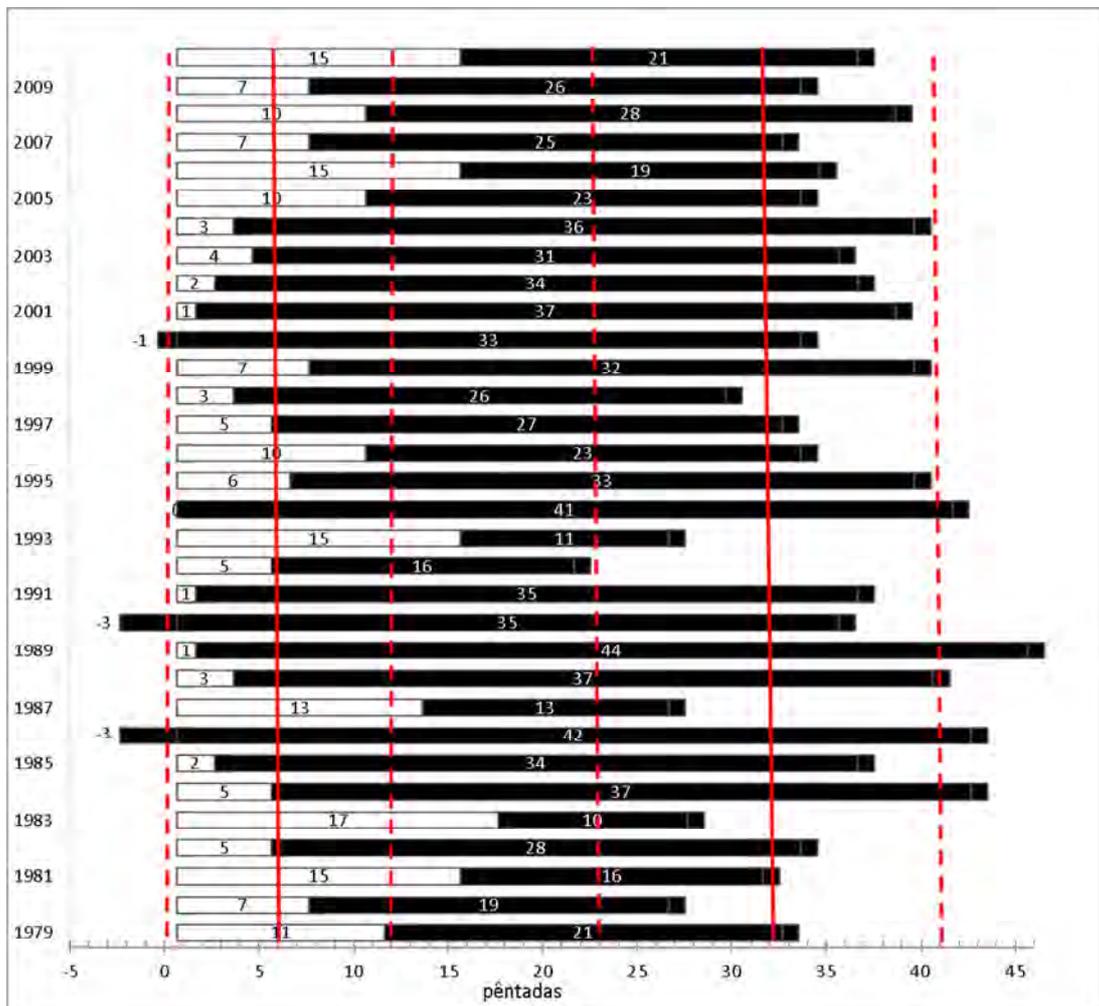


Figura 4.2 – Evolução temporal da EC para a região do CLA. As barras horizontais representam a duração da EC; as linhas vermelhas contínuas, a média do início e fim; e as linhas vermelhas tracejadas, à média \pm desvio-padrão. Os números à esquerda das linhas horizontais representam a pêntada de início da EC, enquanto os números localizados à direita representam a respectiva duração.

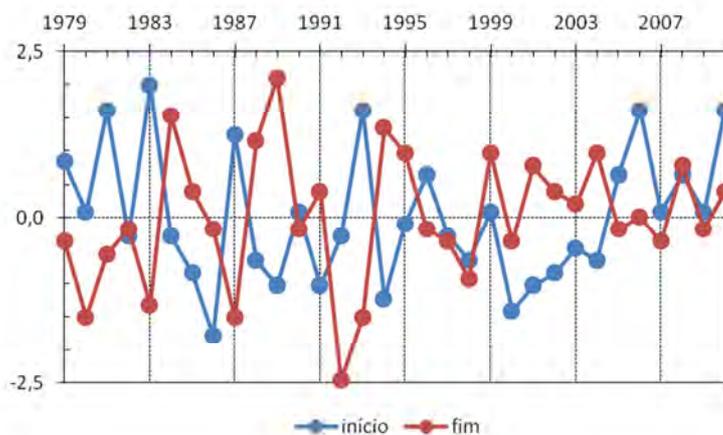


Figura 4.3 – Série temporal das anomalias normalizadas [diferença em relação à climatologia dividida pelo desvio-padrão (27 dias)] das datas de início (azul) e fim (vermelho) da EC. Anomalia normalizada positiva significa atraso; negativa, adiantamento.

4.2. Inter-relação das características da EC

Na seção anterior (4.1), mencionou-se a alta correlação entre duração e total de precipitação da EC, e constatou-se a defasagem de fase de 180° entre início e fim de EC. Assim, a partir da duração da EC, seria possível obter o total de precipitação, e o início e fim da EC.

O diagrama de dispersão entre duração e características da EC (total de precipitação, início e fim) é mostrado na Figura 4.4. No caso do início e fim, o coeficiente de determinação (de cerca de 70%) é moderado, ratificando que, em geral, duração mais curta (longa) está associada à ocorrência conjunta de atraso (adiantamento) do início e adiantamento (atraso) do fim. No caso do total de precipitação, o coeficiente de determinação (próximo de 90%) é alto, como esperado pela pequena variabilidade da intensidade média (seção 4.1). As relações de regressão linear (aproximadas) que foram calculadas e representadas graficamente na Fig. 4.4 são dadas por:

$$P = 11,6 \cdot d \quad (4.1)$$

$$\Delta T_i = -0,5 \cdot d + 70 \quad (4.2)$$

$$\Delta T_f = +0,5 \cdot d - 70 \quad (4.3)$$

onde:

d : duração (dias);

P : total de precipitação (mm);

ΔT_i : anomalia da data de início (dias);

ΔT_f : anomalia da data de fim (dias).

A defasagem de fase de 180° é clara, pois $\Delta T_i = -\Delta T_f$. Para o uso dessas relações, considera-se que a duração média é de 140 dias.

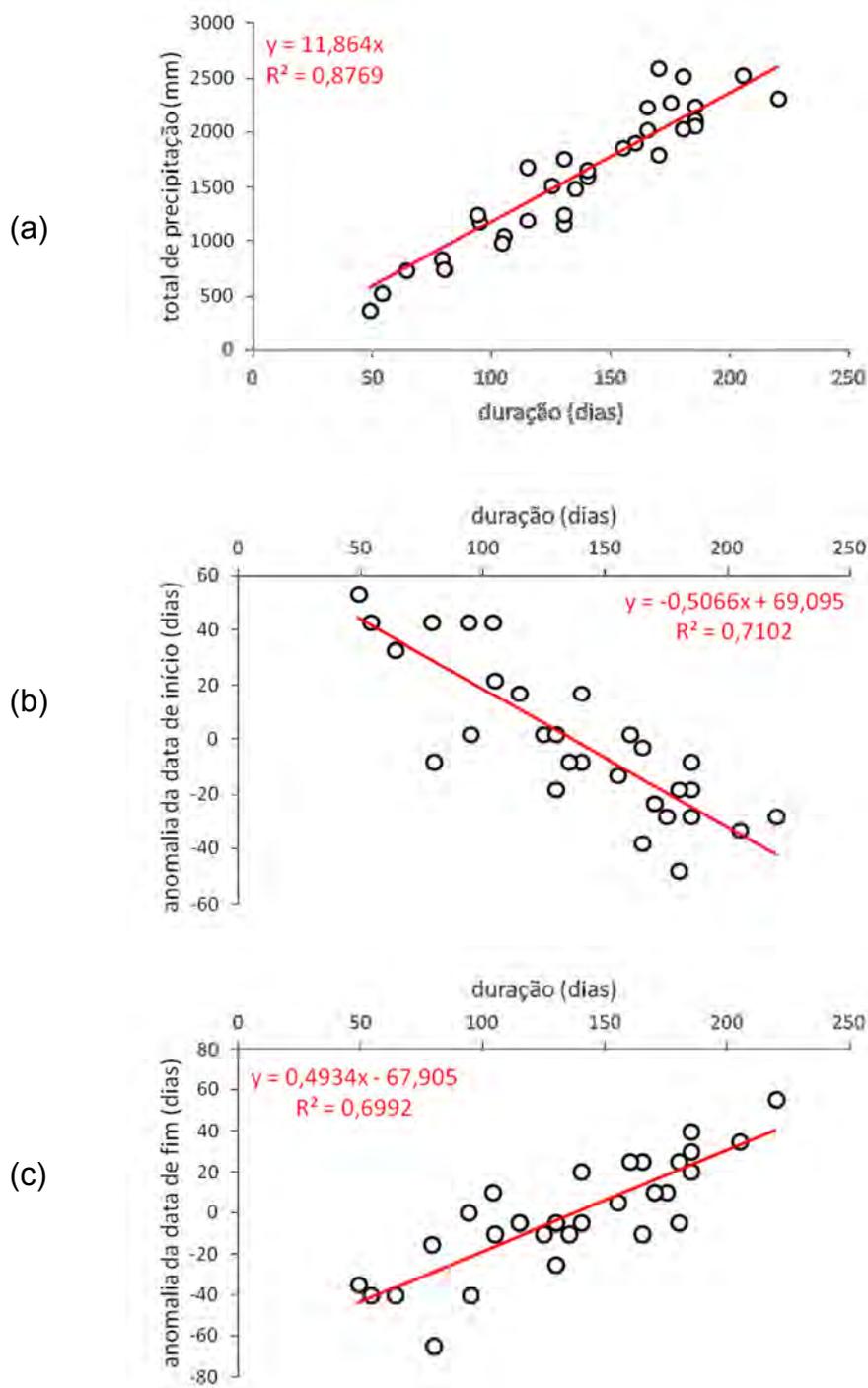


Figura 4.4 –Diagrama de dispersão entre duração e características de EC: total de precipitação (a), data de início (b) e data de fim (c). A linha de tendência, no painel a, foi obtida para coeficiente linear nulo. R^2 é o coeficiente de determinação.

4.3. Total de precipitação da EC e do outono austral

Das estações do ano, o outono austral (março a maio, i.e., MAM) é a mais chuvosa no norte do Nordeste brasileiro e, em particular, na região do CLA. Nesta seção, obtém-se a relação entre o total de precipitação da EC e a do outono austral. Uma motivação é a possibilidade do uso dados de precipitação mensal para inferir as características da EC: a partir do total do outono austral, poder-se-ia obter o total da EC; do total da EC, a duração (Eq. 4.1); e, da duração, o início e fim (Eqs. 4.2 e 4.3). Essa metodologia poderia ser usada, por exemplo, no estudo da variabilidade de baixa frequência da EC a partir de séries longas de precipitação mensal.

Em média, 68% (cerca de 2/3) do total de precipitação da EC correspondem ao do outono austral. As séries de total da EC e do outono austral mostram-se em fase (Figura 4.5). Em alguns anos (1983, 1987 e 1993), o total do outono austral é maior que o da EC; isso ocorre porque, nesses anos, o início (fim) ocorre após 01-mar (antes de 31-mai), ou seja, o outono austral (MAM) abrange um período de tempo maior que a duração da EC. O diagrama de dispersão entre o total da EC e do outono austral mostra moderada relação linear entre as variáveis (coeficiente de determinação de 57%; Figura 4.6). A relação de regressão (aproximada) calculada e graficamente representada na Fig. 4.6 é dada por:

$$P_{MAM} = 0,4 \cdot P + 440 \quad (4.4)$$

onde:

P_{MAM} : total de precipitação do outono austral (mm);

P : total de precipitação da EC (mm).

Considerando o valor médio de total da EC (1600 mm), obtém-se o valor de 1080 mm para o total de precipitação do outono austral. Trata-se do valor climatológico observado para a região do CLA (PEREIRA et al., 2002), ratificando a adequação da Eq. 4.4.

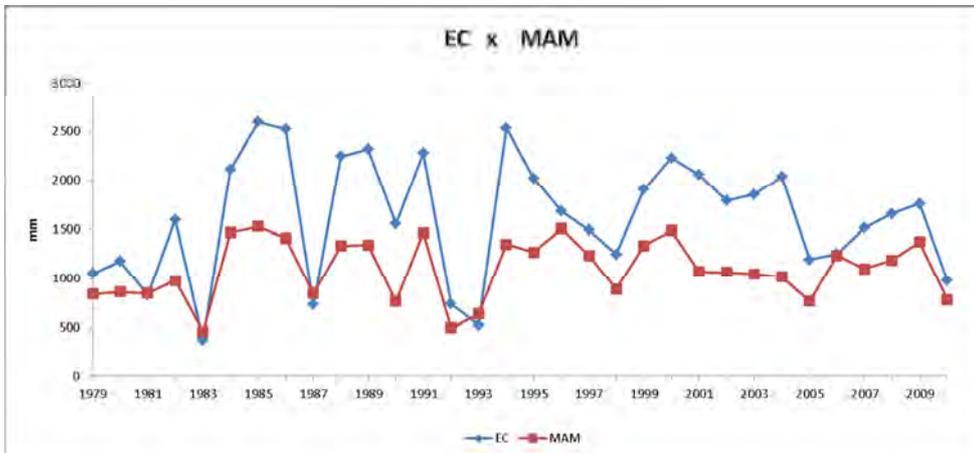


Figura 4.5 – Série temporal do total de precipitação da EC (azul) e do outono austral (vermelho).

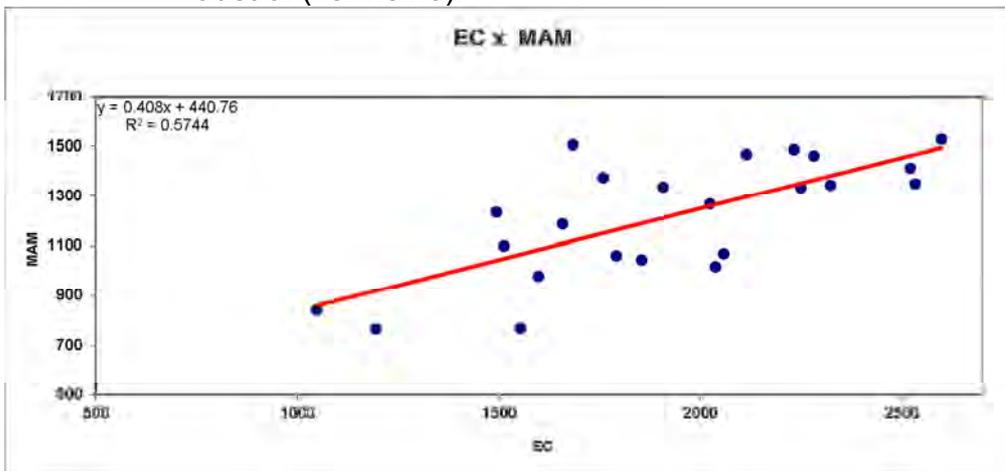


Figura 4.6 – Diagrama de dispersão entre total de precipitação da EC e do outono austral (MAM). A linha vermelha contínua é a reta de regressão. R2 é o coeficiente de determinação.

4.4. Sensibilidade ao uso de diferentes conjuntos de dados

Tendo em vista a existência de vários conjuntos de dados de precipitação, utilizando diferentes métodos (interpolação de precipitação medida em estações pluviométricas, estimativas por satélites), pode haver incerteza quanto às características climatológicas obtidas na seção 4.1. Para estimar o

grau de incerteza, nesta seção, utiliza-se outro conjunto de dados para obter as características da EC, e comparam-se os resultados com os obtidos anteriormente.

Os dados do GPCP (seção 3.2) são usados como o outro conjunto de dados. Diferentemente dos dados do CPC (baseados em estações pluviométricas), os dados do GPCP representam uma combinação de informações (tanto de estações pluviométricas quanto de satélites). Logo, esperam-se diferenças entre esses dois conjuntos de dados.

O início, fim e a duração da EC obtidos com os dados do GPCP e do CPC são comparados para o período de 1997 a 2008. Existe boa concordância entre as séries temporais dos dois conjuntos de dados (Figura 4.7), o que é condizente com o baixo valor do viés (em torno de 1 pântada) (Tabela 4.1). O viés (negativo) decorre do seguinte: entre o verão e o outono austral, a precipitação do GPCP é ligeiramente superior ao CPC (início do GPCP adiantado em relação ao do CPC); e entre o outono e o inverno austral, ligeiramente inferior (fim do GPCP também adiantado) (Figura 4.7). Como o adiantamento do fim é maior que o do início, a duração do GPCP é ligeiramente inferior ao do CPC.

Embora exista concordância na maior parte do período, há grandes diferenças em alguns anos (p.ex., 2006 e 2008 para o início, e 1999-2000 para o fim e a duração; Figura 4.8), o que explica os valores não tão baixos de erro quadrático médio (EQM). Em ordem crescente de incerteza (considerando o EQM), temos o início (3 pântadas), o fim (4 pântadas) e a duração (5 pântadas).

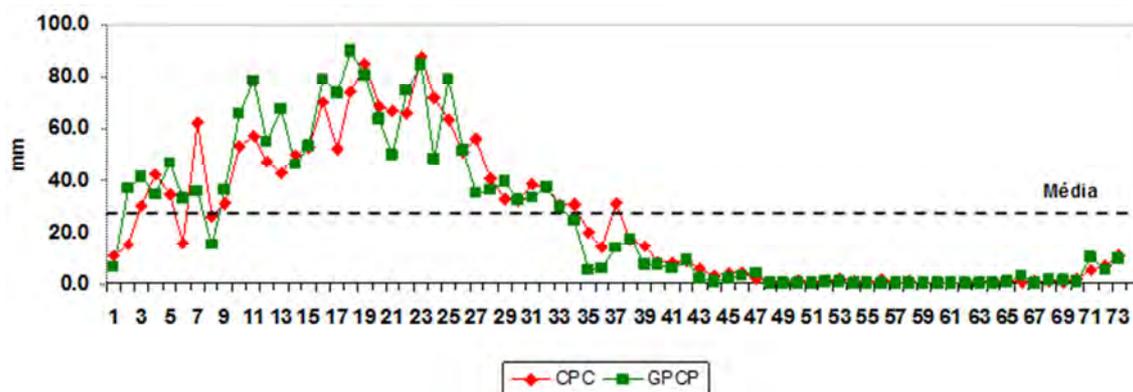


Figura 4.7 – Total pentadal médio de precipitação entre 1997 a 2008, para os dados do CPC e GPCP. A média climatológica de 27.6 mm está representada pela linha pontilhada. O eixo horizontal refere-se a pântadas.

Tabela 4.1 – Diferenças do início, fim e duração da EC obtidas com os dados do GPCP e do CPC. As características do CPC são tomados como base (assim, os valores nas células referem-se a GPCP menos CPC). Unidade: pântadas.

medida	início	fim	duração
viés	-0,75	-1,25	-0,5
erro quadrático médio	2,7	4,2	4,9

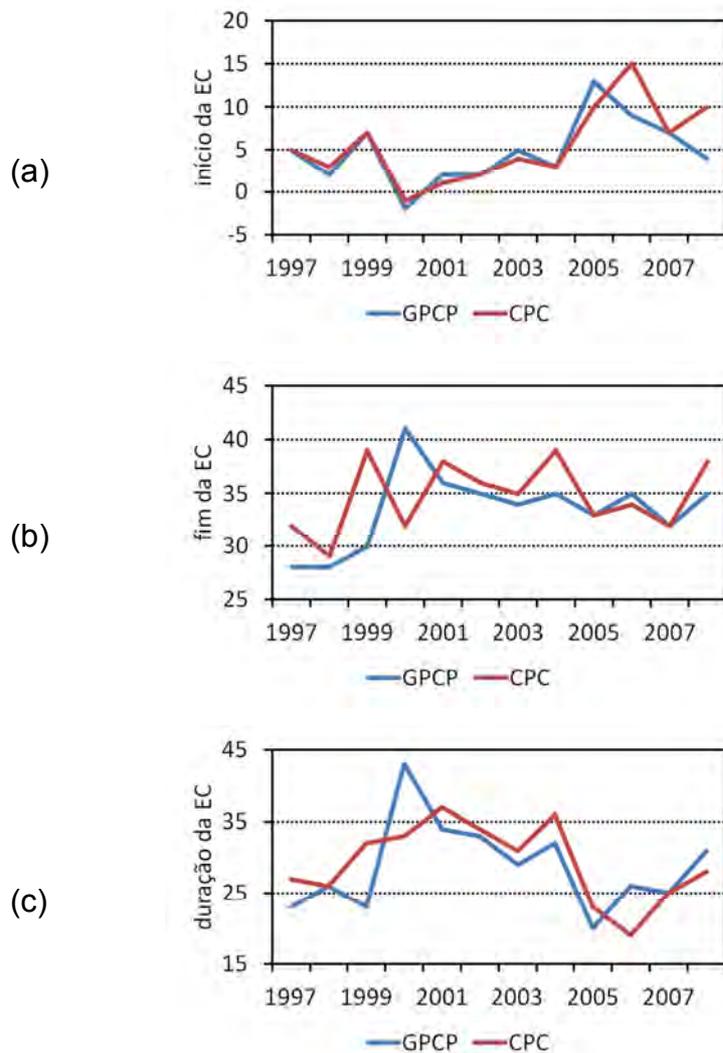


Figura 4.8 – Séries temporais de início (a), fim (b) e duração (c) da EC, em pântadas, a partir dos dados do GPCP (azul) e CPC (vermelho).

4.5. Síntese

Os principais resultados encontrados neste capítulo são:

- Em média, a EC na região do CLA inicia-se no dia 28 de janeiro, termina em 12 de junho e possui uma duração de cerca de 4 meses e meio. Em relação a esses valores, existe incerteza de ~1 pênstada devido à sensibilidade ao conjunto de dados de precipitação.
- O total pluviométrico na EC é de 1621 mm, equivalente a 80% do total precipitado anualmente, e a intensidade média é de 11,6 mm/d.
- Cerca de dois terços da quantidade pluviométrica da EC está concentrada no trimestre MAM.
- Usualmente, maior (menor) duração está associada a adiantamento (atraso) no início da EC, atraso (adiantamento) do fim da EC e maior (menor) total acumulado.
- A variabilidade interanual da EC é relativamente alta; por exemplo, o coeficiente de variação da duração é de 33%.

O intervalo entre 22 de março a 10 de abril, com chuvas acima da média, pertence à EC de todos os anos entre 1979 e 2010.

5. RELAÇÃO ENTRE SISTEMAS METEOROLÓGICOS E AS CARACTERÍSTICAS DA ESTAÇÃO CHUVOSA

Durante a estação chuvosa, fatores dinâmicos e físicos se retroalimentam para gerar condições favoráveis à ocorrência de precipitação. No norte do Nordeste brasileiro, onde se encontra a região do CLA, a migração da ZCIT para posições mais austrais é o fator dinâmico mais importante no estabelecimento do quadrimestre chuvoso de fevereiro a maio (FMAM) (MOLION; BERNARDO, 2002). No entanto, as anomalias de características da ZCIT (especificamente, da ZCIT na porção central do Atlântico equatorial, ZCITA) explicam somente metade da variabilidade de precipitação no CLA no quadrimestre chuvoso (OYAMA; CARVALHO, 2012). A outra metade seria explicada por outros fatores, como o efeito coletivo dos transientes que atuam na região. (CAVALCANTI; KOUSKY, 1982); (PEZZI; CAVALCANTI, 2001)

Em princípio, eventos fora da faixa de normalidade (não-normais; incluem extremos) não decorrem de um único fator, mas são o resultado da interferência construtiva de diversos fatores. Assim, espera-se que os fatores não-associados diretamente à ZCITA apareçam de forma mais clara nos eventos de EC não-normais (p.ex., com duração bem diferente da climatologia, ou seja, muito curta ou muito longa). A fim de testar essa hipótese, neste capítulo, o objetivo é realizar um levantamento de eventos de EC não-normais e dos fatores associados a esses eventos. Por simplicidade, analisa-se a influência de somente 3 fatores – características da ZCITA, ocorrência de linhas de instabilidade (LI) e ação de vórtices ciclônicos de altos níveis (VCAN) – no início da EC em eventos de duração e início não-normais. Trata-se de um esforço inicial, particularmente útil como teste de metodologia; assim, a influência de outros fatores e a análise do fim da EC são deixados para futuros trabalhos.

5.1. Resultados

5.1.1 Seleção dos anos

No período estudado (1979-2011), obtêm-se inicialmente os anos de EC com duração não-normal, ou seja, com maior ou menor duração. Ordenando as EC pela duração, em ordem crescente, consideram-se neste trabalho como **curtas** as EC com duração abaixo do primeiro quartil (Tabela 5.3); e **longas**, acima do terceiro quartil (Tabela 5.4). Das EC curtas (longas), selecionam-se os anos com início **muito atrasado (muito adiantado)**, i.e., com atraso (adiantamento) maior que o desvio-padrão. EC curtas com início muito atrasado ocorreram em 1981, 1983, 1987, 1993, 2006 e 2010; EC longas com início muito adiantado, em 1986, 1989, 1991, 1994 e 2001.

Tabela 5.1—Relação entre o sinal (positivo ou negativo) das anomalias normalizadas e o favorecimento ou inibição da precipitação. Favorecimento (inibição) da precipitação pode, por exemplo, significar uma EC com maior (menor) duração.

fator	sinal que favorece a precipitação (EC)	sinal que inibe a precipitação (EC)
posição da ZCITA	– (posições mais austrais)	+ (posições mais boreais)
intensidade da ZCITA (ROLE)	– (mais convecção)	+ (menos convecção)
frequência de LI	+ (mais LI)	– (menos LI)
ação de VCAN	– (menos VCAN)	+ (mais VCAN)

Tabela 5.2 – Anos com EC curtas. Os anos com * correspondem aos de EC curta com início muito atrasado, i.e., atraso superior ao desvio-padrão (27 dias).

ano	início da EC	fim da EC	duração da EC (dias)	total na EC (mm)	atraso (dias)
1983*	24/mar	08/mai	50	377,3	52
1993*	14/mar	03/mai	55	528,8	42
1987*	04/mar	03/mai	65	732,7	32
1992	23/jan	08/abr	80	739,6	-8
1981*	14/mar	28/mai	80	832,1	42
2006*	14/mar	12/jun	95	1253,2	42
1980	02/fev	03/mai	95	1178,8	2
2010*	14/mar	22/jun	105	978,3	42

Tabela 5.3 – Anos com EC longas. Os anos com * correspondem aos de EC longa com início muito adiantado, i.e., adiantamento superior ao desvio-padrão (27 dias).

ano	início da EC	fim da EC	duração da EC (dias)	total na EC (mm)	adiantamento (dias)
1989*	03/jan	06/ago	220	2322,7	28
1986*	14/dez	07/jun	210	2521,7	48
1994*	29/dez	17/jul	205	2532,5	33
1984	23/jan	22/jul	185	2114,3	8
1988	13/jan	12/jul	185	2249	18
2001*	03/jan	02/jul	185	2057,8	28
2004	13/jan	07/jul	180	2037,7	18
1991*	03/jan	22/jun	175	2281,1	28

5.1.2 Fatores associados ao adiantamento

A ocorrência de adiantamento do início da EC significa que, entre a data de início (d_{ini}) e a climatológica (31 jan), chamada de **período de adiantamento** (Δ), deve ter havido fatores favoráveis à ocorrência de precipitação. Para esse período, dado um ano selecionado (seção 5.4.1), a anomalia de cada fator (a) é igual a:

$$a = a_{JAN}, \Delta \leq 30$$

$$= \frac{a_{JAN} + w \cdot a_{DEZ}}{1 + w}, w = \frac{d_{31} - d_{ini}}{31}, \Delta > 30 \quad (5.1)$$

onde:

a_{JAN} : anomalia de janeiro;

a_{DEZ} : anomalia de dezembro do ano anterior;

d_{31} : data de 31 de dezembro do ano anterior.

O efeito das anomalias normalizadas de todos os fatores está mostrado na Tabela 5.4.

Em geral, os fatores são favoráveis à ocorrência de precipitação quando ocorre adiantamento da EC. Embora a posição da ZCITA seja mais austral para todos os anos, o adiantamento está também fortemente relacionado à maior intensidade da ZCITA. Para anos específicos, como 1989, a maior frequência de LI pode ser importante. A frequência de VCAN não se mostra importante para o adiantamento.

Tabela 5.4 – Efeito das anomalias normalizadas (valor entre parênteses) na precipitação durante o período de adiantamento para os anos com EC longa e início muito adiantado. POS: posição da ZCITA; INT: intensidade da ZCITA. 0: valor absoluto das anomalias normalizadas menor que 0,5; + e – : maior ou igual a 0,5 e menor que 1; ++ e – –: maior ou igual a 1. + e – referem-se a favorecimento (células sombreadas em azul) e inibição (vermelho) de precipitação, respectivamente. X (células cinzas): dados não disponíveis.

ano	POS		INT		LI		VCAN	
1989	+	(-0,6)	0	(0,1)	++	(3,2)	0	(0,3)
1986	+	(-0,6)	0	(-0,3)	X		0	(-0,3)
1994	++	(-1,3)	+	(-0,7)	X		0	(0,1)
2001	+	(-0,9)	++	(-1,0)	0	(0,0)	–	(0,5)
1991	+	(-0,7)	++	(-2,3)	X		0	(-0,4)

5.1.3 Fatores associados ao atraso

A ocorrência de atraso do início da EC significa que, entre a data de início (d_{ini}) e a climatológica (31 jan), chamada de **período de atraso** (D), deve ter havido fatores inibidores à ocorrência de precipitação. Para esse período, dado um ano selecionado (seção 5.4.1), a anomalia de cada fator (a) é igual a:

$$a = a_{FEV}, \Delta \leq 28$$

$$= \frac{a_{FEV} + w \cdot a_{MAR}}{1 + w}, w = \frac{d_{ini} - d_1}{31}, \Delta > 28 \quad (5.2)$$

onde:

a_{FEV} : anomalia de fevereiro;

a_{MAR} : anomalia de março;

d_1 : data de 01 de março.

O efeito das anomalias normalizadas de todos os fatores está mostrado na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Efeito das anomalias normalizadas (valor entre parênteses) na precipitação durante o período de atraso para os anos com EC curta e início muito atrasado. Símbolos definidos na Tabela 5.4.

ano	POS		INT		LI		VCAN	
1983	0	(0,4)	--	(2,0)	X		0	(-0,1)
1993	-	(0,6)	++	(-1,1)	X		-	(0,9)
1987	+	(-0,7)	--	(1,0)	-	(-0,5)	0	(-0,4)
1981	0	(0,1)	0	(0,2)	X		+	(-0,5)
2006	0	(0,3)	-	(0,6)	0	(0,1)	0	(0,4)
2010	-	(0,8)	--	(1,8)	+	(0,6)	--	(1,5)

A maioria dos fatores é desfavorável à ocorrência de precipitação quando ocorre atraso da EC, mas alguns fatores são (muito) favoráveis (por exemplo, INT em 1993). Com exceção de um único ano (1993), o atraso está fortemente associado à menor intensidade da ZCITA. Em nenhum ano, a posição da ZCITA teve forte influência. Outros fatores, como frequência de LI e atuação de VCAN, são importantes em anos específicos (LI em 1987; VCAN em 2010). Os fatores considerados não são capazes de explicar o atraso ocorrido em 1981.

5.2 Discussão e síntese

Os fatores considerados neste trabalho – posição e intensidade da ZCITA, frequência de LI e ocorrência de VCAN – são capazes de explicar o atraso ou adiantamento do início da EC nos anos selecionados, com exceção de um único ano (1981). Para o adiantamento, com exceção de 2001, todos os fatores com influência moderada e forte (valor absoluto das anomalias normalizadas maior que 0,5) favorecem a ocorrência de precipitação. Para o atraso, os fatores com influência moderada e forte apontam para sentidos diferentes, mas há maior quantidade de fatores que inibem a precipitação (para um dado ano selecionado). Portanto, a relação entre fatores e adiantamento é mais clara que a relação entre fatores e atraso.

Dos fatores, as características da ZCITA – posição e intensidade – seriam as que melhor explicariam tanto o atraso (posição mais boreal e menor intensidade) quanto o adiantamento (posição mais austral e maior intensidade). A ocorrência de LI e/ou VCAN seria importante em anos específicos, mas não como fator principal. Isso vai ao encontro da reconhecida importância da ZCITA no quadrimestre chuvoso do norte do Nordeste brasileiro (MOLION; BERNARDO, 2002; REBOITA et al., 2010). Ressalta-se que a influência da ZCITA aparece de forma mais clara **quando não somente a posição, mas também a intensidade** são levadas em conta.

6. DIAS SECOS E VERANICOS DURANTE A ESTAÇÃO CHUVOSA DA REGIÃO DO CLA

Na EC chuvosa, em princípio, como o ambiente atmosférico é propício para a ocorrência de precipitação, não é comum que haja vários dias consecutivos com pouca ou nenhuma precipitação. Quão frequentes seriam esses períodos secos durante a EC da região do CLA? Para responder a essa questão, inicialmente, adota-se o seguinte critério. Seja N o número de dias consecutivos com precipitação diária menor que 1 mm; se $N < 3$, o período é chamado de **dias secos**; se $N \geq 3$, de **veranico** (WMO, 1989). Assim, neste capítulo, a ocorrência de dias secos e veranicos durante a EC da região do CLA é caracterizada estatisticamente utilizando os totais diários do CPC de 1979 a 2010 (seção 3.1).

6.1 Climatologia

Em média, em 10% dos dias da EC da região do CLA (10% da duração, corresponde a cerca de 14 dias), a precipitação é menor que 1 mm, ou seja, pode ser classificada em dias secos ou veranicos. Em 7 %, ocorrem dias secos; em 3 %, veranicos (Figura 6.1). A frequência diminui com o aumento do número de dias consecutivos (Figura 6.2). Quase a metade dos dias com precipitação menor que 1 mm ocorre de forma isolada, ou seja, são dias secos isolados (barra 1d da Figura 6.2). O número de eventos de veranicos é menor que 1 evento por ano (26 eventos em 32 anos), mostrando como é rara a ocorrência de vários dias consecutivos com pouca chuva na EC da região do CLA.

O número de veranicos esperados em um dado mês, para um certo intervalo de anos, pode ser calculada a partir das frequências contidas na Tabela 6.1. Por exemplo, para o mês de maio, quantos veranicos de 4 dias consecutivos são esperados em 30 anos? Pela Tabela 6.1, a frequência anual de veranicos de 4 dias para maio é 0,06. Multiplicando a frequência pelo intervalo de anos

(30 anos), o resultado é 1,8, ou seja, esperam-se aproximadamente duas ocorrências, o que ratifica a conclusão de que a ocorrência de veranicos é rara durante a EC da região do CLA.

Tabela 6.1 – Frequência anual de veranicos em função do mês (de fevereiro a maio) e do número de dias consecutivos com precipitação < 1 mm.

	fev	mar	abr	mai
3d	0,09	0	0,06	0,09
4d	0	0,03	0	0,06
5d	0,03	0,03	0	0
6d	0,03	0	0	0,09
7d	0,03	0	0	0,03

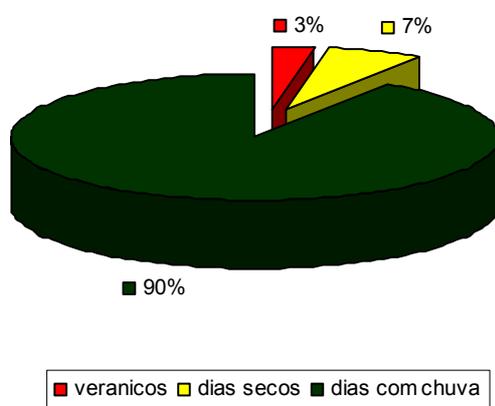


Figura. 6.1 – Fração de dias secos e veranicos durante a EC da região do CLA. O percentual é calculado em relação à duração da EC.

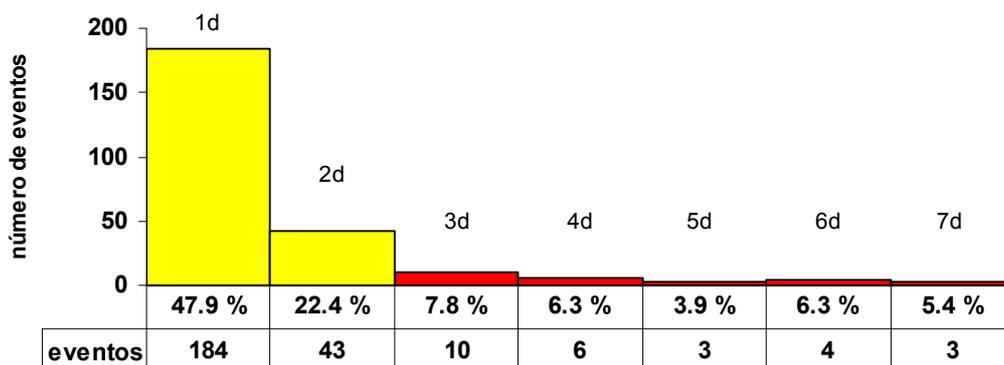


Figura. 6.2 – Número de eventos de dias secos (1d e 2d) e veranicos (3d a 7d) em função do número de dias consecutivos com precipitação diária < 1 mm. Os percentuais são calculados em relação à totalidade de dias com precipitação diária < 1 mm.

6.2 Comparação entre EC de maior e menor duração

Nas EC de maior (menor) duração, o número de eventos de dias secos e veranicos é maior (menor) (Figura 6.3). No entanto, quanto à fração dos dias classificados como dias secos ou veranicos em relação ao total de dias da EC (duração), a fração é maior (menor) para as EC de menor (maior) duração (Figura 6.4). A fração apresenta desvio-padrão considerável, e a média fica abaixo (acima) de 10% para as EC com maior (menor) duração (Figura 6.5).

6.3 Veranicos extremos

Os três maiores veranicos observados tiveram a duração de 7 dias consecutivos: 24/fev a 2/mar (1997); 20 a 26/jun (1999) e 31/mai a 6/jun (2006). O veranico de 1997 ocorreu um mês após o início da EC; nessa ocasião, houve ação de VCANs, que podem ter afetado o CLA com subsidência e levado à ocorrência do veranico. Em 1999 e 2006, os veranicos ocorreram próximos ao final da EC.

Nessas duas ocasiões, a ZCITA oscilou para posições mais boreais. Assim, flutuações da ZCITA e a ação de VCAN podem ser os fatores desencadeadores dos veranicos mais extremos.

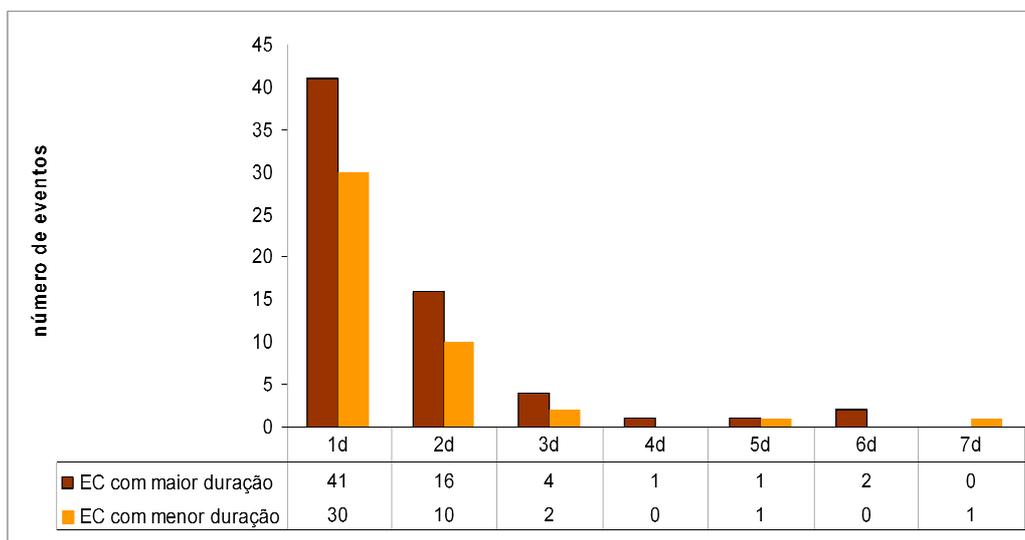


Figura. 6.3 – Número de eventos de dias secos (1d e 2d) e veranicos (3d a 7d) para os anos com EC de maior e menor duração.

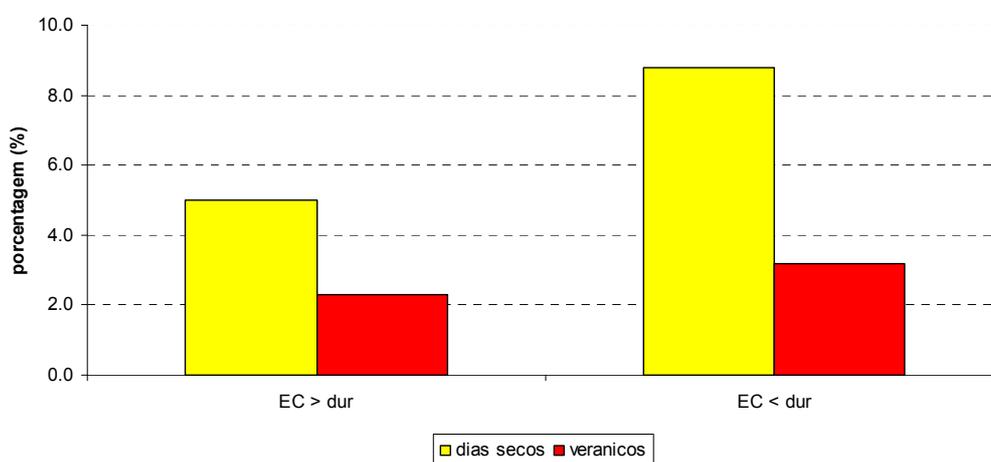


Figura. 6.4 – Percentual de dias de dias secos e veranicos em relação ao total de dias da EC (duração) para EC com maior (EC>dur) e menor (EC<dur) duração.

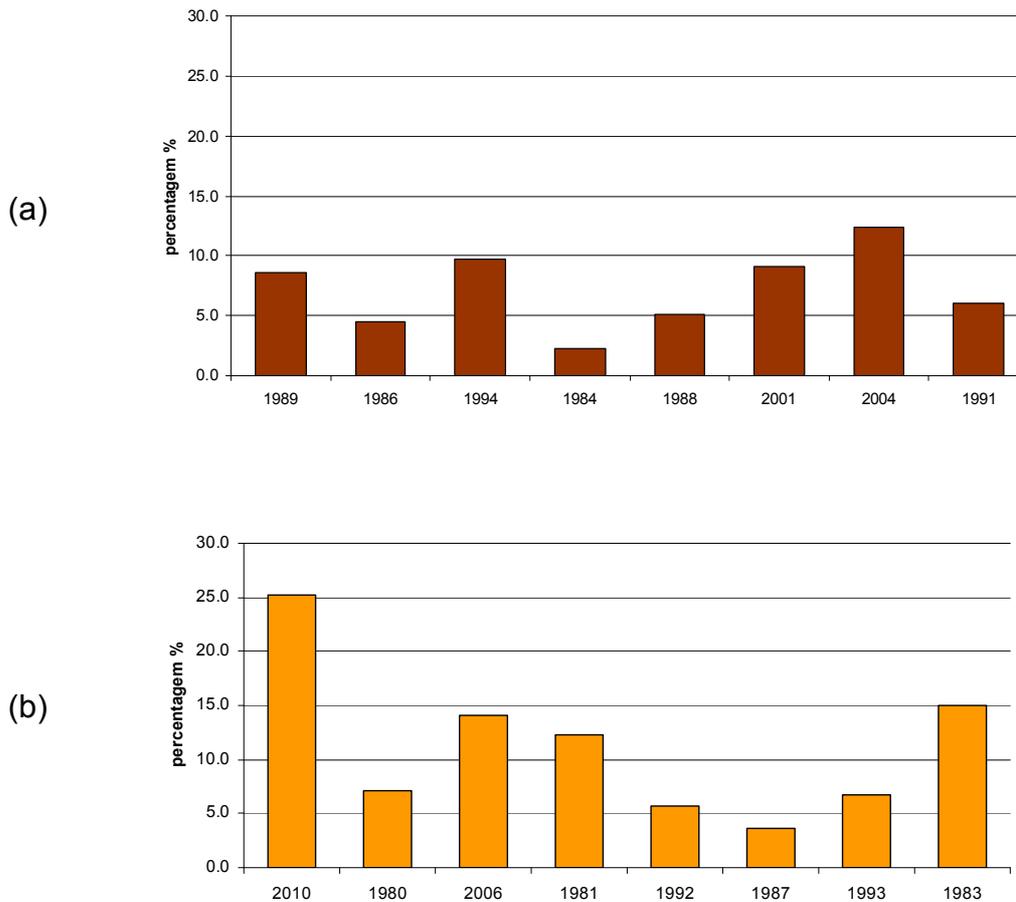


Figura. 6.5 – Fração de dias classificados como dias secos ou veranicos para EC com maior (a) e menor (b) duração.

6.4 Probabilidade de ocorrência: comparação com São Luís-MA

A Figura 6.6 mostra a probabilidade de ocorrência de veranicos para a região do CLA (obtida aqui) e de São Luís (obtida de INMET, 2009), pois a comparação é válida devido à proximidade entre as duas localidades.. Como esperado, existe relativa concordância dos valores: em geral, a probabilidade é inferior a 5%, mostrando que os valores obtidos aqui são compatíveis com a literatura. De forma coerente, a probabilidade diminui com o aumento do número de dias consecutivos (de 5 para 3%), e a probabilidade aumenta no

início e no fim da EC (esse comportamento é mais pronunciado para a região do CLA que para São Luís).

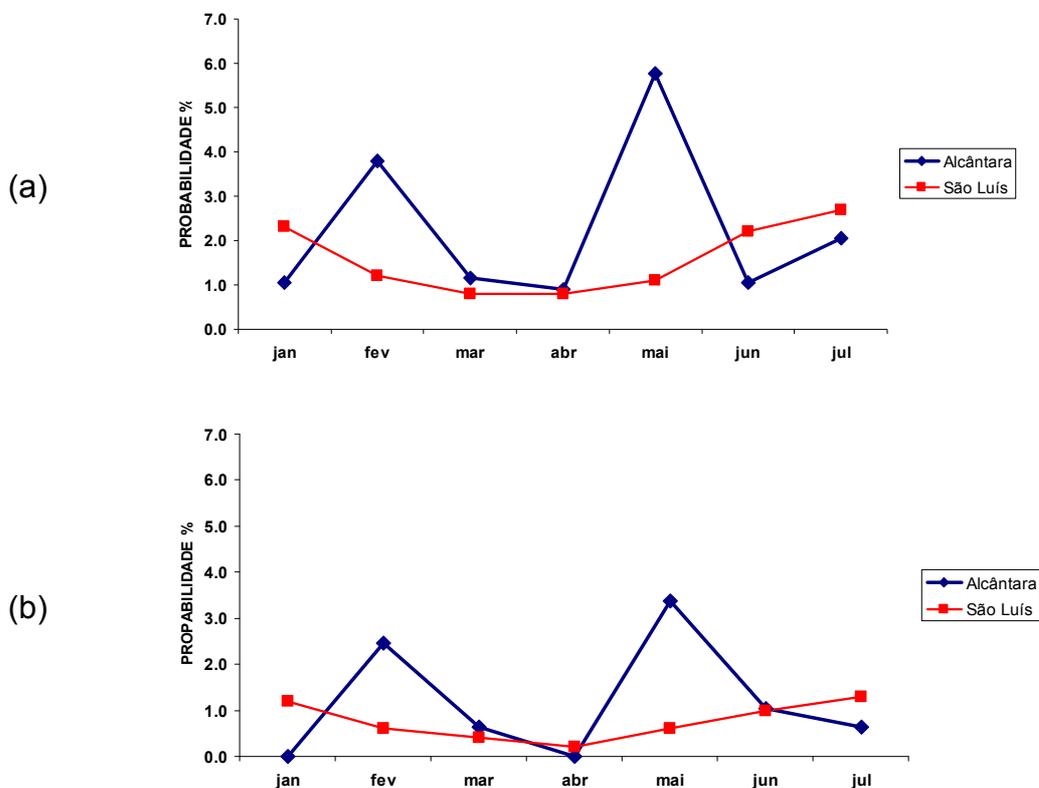


Figura 6.6 – Probabilidade de ocorrência de veranicos em função do mês. (a) Veranicos de 3 dias ou mais; (b) veranicos de 5 dias ou mais.

6.5. Síntese

Na região do CLA, dias secos afetam ~7% do total de dias da EC (duração); veranicos, ~3%. Logo, a ocorrência de veranicos não é comum (RAO; HADA, 1990). Embora o número total de eventos de dias secos/veranicos seja maior nas EC de maior duração, a fração (percentual) de dias classificados como dias secos/veranicos é maior nas EC de menor duração. Três casos de veranicos extremos – 7 dias consecutivos com total diário < 1 mm – foram identificados e poderão ser estudados em trabalhos futuros. Em relação à probabilidade de

ocorrência de veranicos, os valores obtidos aqui para a região do CLA são comparáveis aos encontrados na literatura para São Luís.

7. REPRESENTAÇÃO DA ESTAÇÃO CHUVOSA POR MODELO REGIONAL

Neste capítulo, o objetivo é verificar o desempenho de um modelo regional em representar o início e o fim da EC da região do CLA em um ano específico. O modelo utilizado é o MM5 (seção 3.4). O ano escolhido é 2010, que foi um ano com atraso substancial no início da EC, superior ao desvio-padrão (Figura 4.2). Em relação ao fim da EC, o ano de 2010 pode ser considerado climatológico, pois a diferença em relação à climatologia foi inferior ao desvio-padrão.

Assim, o intuito é verificar se as simulações com o MM5 conseguiriam representar o efeito coletivo dos sistemas que levam ao atraso no início da EC, lembrando que a correta simulação do atraso é crucial para prover informações relevantes do ponto de vista sócio-econômico (Cf. capítulo 1). Em relação ao fim da EC, o intuito é verificar se o modelo consegue representar o efeito do enfraquecimento dos fatores/sistemas favoráveis à ocorrência de precipitação (por exemplo, ação da ZCIT) em um ano normal quanto ao fim da EC.

As simulações são realizadas sob duas configurações: S1 e S2 (seção 3.4). A configuração S1 refere-se à proposta por Pereira Neto e Oyama (2011) para melhorar a representação da precipitação na região do CLA. A configuração S2 corresponde ao controle que leva a uma superestimativa de precipitação muito grande no trimestre MAM para a região do CLA. Assim, em tese, espera-se um melhor desempenho da configuração S1 em relação à S2.

7.1 Resultados

A série temporal dos totais pentadais simulados e a dos observados estão mostradas na Figura 7.1. Para a configuração S1, ocorre superestimativa em praticamente todo o período; em $\sim 3/4$ das pântadas analisadas, o total simulado foi maior que o observado. Para a configuração S2, ocorre superestimativa até cerca da pântada 25 (1-5 mai); após, ocorre subestimativa.

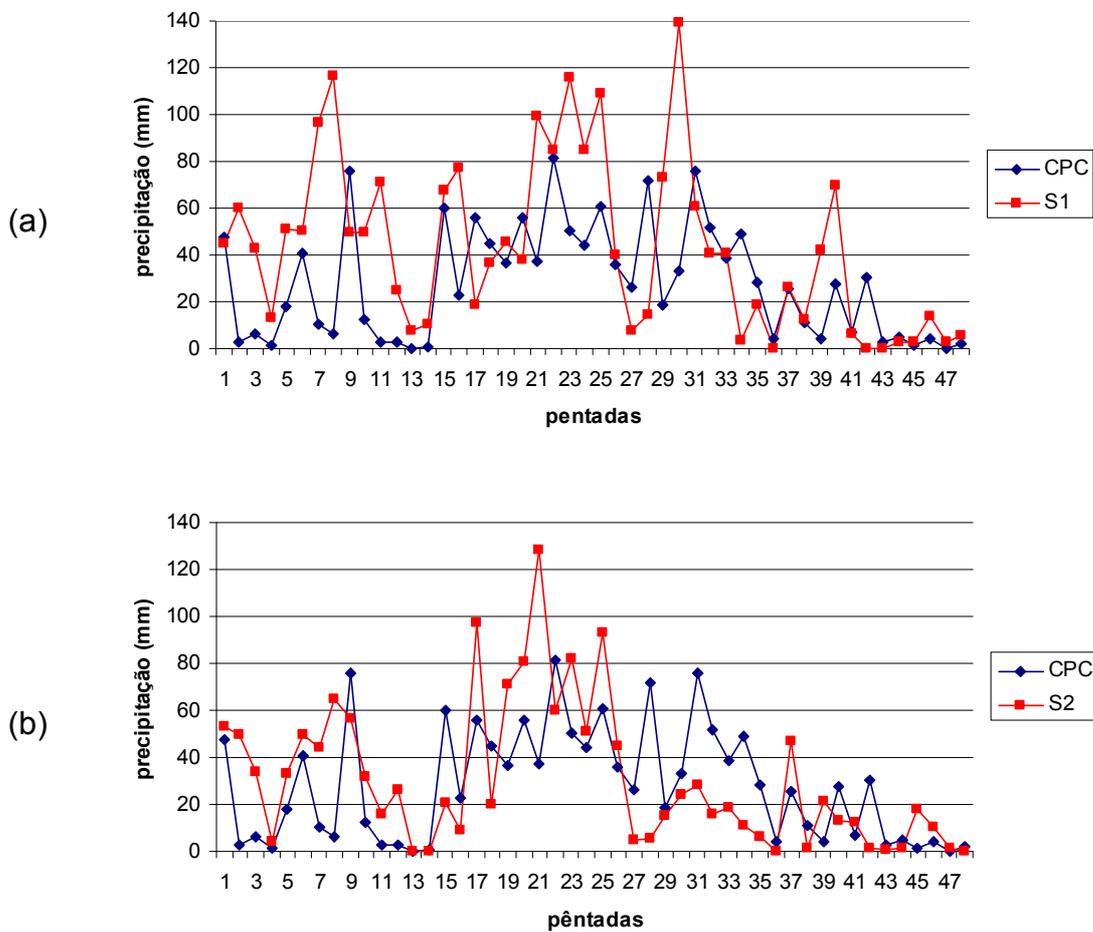


Figura 7.1 – Séries temporais dos totais pentadais simulados e observados. (a) Comparação entre observação (CPC) e simulação com configuração S1 (a) configuração S2 (b).

Na escala diária (i.e., utilizando os dados de precipitação diária), realiza-se a seguir uma comparação entre simulações e observação utilizando índices derivados da tabela de contingência 2×2 . Para o total de 240 dias simulados, a Tabela 7.1 (7.2) é a tabela de contingência referente à configuração S1 (S2).

Tabela 7.1 – Tabela de contingência referente à configuração S1. Chuva (não-chuva) refere-se a precipitação diária $\geq (<)$ 1 mm.

	Chuva (CPC)	Não-chuva (CPC)
Chuva (S1)	a = 131	b = 38
Não-chuva (S1)	c = 39	d = 32

Tabela 7.2 – Tabela de contingência referente à configuração S2. Chuva (não-chuva) refere-se a precipitação diária $\geq (<)$ 1 mm.

	Chuva (CPC)	Não-chuva (CPC)
Chuva (S2)	a = 103	b = 20
Não-chuva (S2)	c = 67	d = 50

Pode-se observar que a simulação S1 tem mais acertos que S2, quando ocorre mais dias com precipitação na EC. A partir das tabelas de contingência, são calculados os seguintes índices (WILKS, 1995): taxa de acerto (H, *hit rate*), definido como $H = (a + d) / N$, onde $N = a + b + c + d$; probabilidade de detecção (POD, *probability of detection*), definido como $POD = a / (a + c)$; e razão de alarme falso (FAR, *false alarm ratio*), definido como $FAR = b / (a + b)$. Os índices estão mostrados na Tabela 7.3.

Tabela 7.3 – Índices de exatidão derivados das tabelas de contingência referentes às configurações S1 e S2.

índice	S1	S2
taxa de acerto	0,68	0,64
probabilidade de detecção	0,77	0,61
razão de alarme falso	0,22	0,16

Como esperado, a taxa de acerto da configuração S1 é maior que a da S2, mas ambos os valores não são altos. Embora S1 tenha uma maior probabilidade de detecção bem maior que S2 (16 p.p. maior), a razão de

alarme falso é também um pouco maior (6 p.p. maior), o que vai ao encontro da superestimativa de totais pentadais em todo o período (Figura 7.1a).

O início, fim e a duração das EC observada e simuladas estão mostradas na Tabela 7.4. Não há muita diferença entre os resultados da configuração S1 e S2 – o início é o mesmo, e o fim tem diferença de somente 5 dias. Ocorre exagerado adiantamento do início da EC nas simulações (~2½ meses). Isso parece estar associada à superestimativa da precipitação simulada, e mostra que o modelo não consegue representar o efeito coletivo dos sistemas que levam ao atraso do início da EC em 2010. O moderado adiantamento do fim (~1½ mês) mostra que as simulações antecipam o enfraquecimento dos sistemas/fatores favoráveis à ocorrência de precipitação. A duração simulada é bem maior que a observada (~1 mês de diferença). Portanto, as simulações com o modelo regional MM5 não são capazes de representar corretamente as características da EC. As melhorias na simulação da precipitação na configuração S1 não levam a melhor representação do início e do fim da EC. Os erros diagnosticados poderão ser investigados em trabalhos futuros.

Tabela 7.4 – Início, fim e duração das EC observada (CPC) e simuladas (configuração S1 e S2). As datas de início e fim correspondem ao centro da pântada.

	início	fim	duração (dias)
CPC	14-mar	22-jun	105
S1	3-jan	8-mai	130
S2	3-jan	3-mai	125

7.2. Síntese

Os principais resultados encontrados neste capítulo são:

- Como esperado, a configuração S1 representa melhor a precipitação diária que a S2. A taxa de acerto de S1 é 6 p.p. maior que a de S2, e a probabilidade de detecção, 16 p.p. maior.
- A precipitação simulada, no entanto, apresenta erros sistemáticos expressivos para ambas as configurações. Considerando as primeiras ~50 pântadas de 2010, em S1, há superestimativa em quase todo período; em S2, na primeira (segunda) metade, há superestimativa (subestimativa).
- Os erros sistemáticos da precipitação simulada levam à identificação errônea do início e do fim da EC em 2010. Para ambas as configurações, ocorre adiantamento tanto do início (~2½ meses) quanto do fim (~1 mês).

Portanto, embora haja melhoria na representação da precipitação diária por parte da configuração S1, os erros sistemáticos para ambas as configurações são muito expressivos e levam à errônea identificação da EC. Ocorre exagerado adiantamento do início (~2½ meses), moderado adiantamento do fim (~1½ mês) e duração maior que o observado (em ~1 mês).

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, estudaram-se as características da estação chuvosa (EC) da região do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA). Totais diários de 1979 a 2010 (32 anos) do CPC/NOAA foram utilizados. Adotou-se o seguinte critério baseado na precipitação pentadal: o início (fim) da EC é a primeira pântada quando a precipitação é maior (menor) que a média anual climatológica, e esse comportamento se mantém em 3 das 4 pântadas posteriores.

Em média (ou seja, climatologicamente), a EC inicia-se em 28 de janeiro, encerra-se em 12 de junho, possui duração de $\sim 4\frac{1}{2}$ meses e total de precipitação de 1621 mm (que corresponde a 80% do total anual). Cerca de 2/3 do total da EC está concentrada no trimestre MAM. As datas de início e fim, a duração e o total de precipitação possuem grande variabilidade interanual e, usualmente, maior (menor) duração está associada a adiantamento (atraso) no início da EC, atraso (adiantamento) do fim da EC e maior (menor) total acumulado.

Em geral, o adiantamento ou o atraso do início da EC depende de anomalias de características da Zona de Convergência Intertropical Atlântica. O atraso estaria associada a posição mais boreal e menor intensidade de convecção; o adiantamento, à posição mais austral e maior intensidade. As anomalias da ocorrência de Linhas de Instabilidade na costa norte do Brasil e/ou de Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis seriam importantes em anos específicos, mas não como fator principal.

A ocorrência de dias secos (1 a 2 dias consecutivos com total diário < 1 mm) e veranicos (3 dias consecutivos ou mais com total diário < 1 mm) afeta cerca de 7% e 3%, respectivamente, dos dias da EC. Logo, a ocorrência de períodos prolongados com nenhuma/pouca chuva não é comum durante a EC.

Simulações com o modelo regional MM5 para 2010 ano em que houve grande atraso no início da EC, foram realizadas. Mesmo sob uma configuração ajustada para a região do CLA (Pereira Neto e Oyama, 2011), as simulações, abrangendo o período de 1 de janeiro a 28 de agosto, apresentaram erros expressivos no total diário de precipitação que levaram a uma identificação errônea da EC: exagerado adiantamento do início ($\sim 2\frac{1}{2}$ meses), moderado adiantamento do fim ($\sim 1\frac{1}{2}$ mês) e duração maior que o observado (em ~ 1 mês).

Para trabalhos futuros, sugerem-se:

- Estender a obtenção da EC para outras localidades da costa norte do Brasil, para delimitar uma região homogênea em relação às características da EC.
- Verificar por que houve atraso no início da EC em 1981. Esse ano foi o único em que os sistemas/fatores considerados (ZCITA, LI e VCAN) não conseguiram explicar o atraso do início.
- Realizar estudo dos casos de veranicos extremos – 3 casos de veranicos de 7 dias (7 dias consecutivos com total diário < 1 mm), a fim de verificar se existe alguma condição/fator meteorológica(o) que explique a sua ocorrência.

Ajustar as parametrizações do modelo MM5 para melhorar a representação da precipitação de verão. O ano de 2010 poderia ser tomado como base, pois houve superestimativa expressiva da precipitação em janeiro e fevereiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADLER, R.F.; HUFFMAN, G.J.; CHANG, A.; FERRARO, R.; XIE, P.P.; JANOWIAK, J.; RUDOLF, B.; SCHNEIDER, U.; CURTIS, S.; BOLVIN, D.; GRUBER, A.; SUSSKIND, J.; ARKIN, P.; NELKIN, E. The Version-2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Monthly Precipitation Analysis (1979–Present). **Journal of Hydrometeorology**, v. 4, p. 1147-1167, 2003.

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA. **Programa Nacional de Atividades Espaciais, 2005-2014**. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2005. 114 p.

ALVES, L. M.; MARENGO, J. A.; CASTRO, C. A. C. Início das chuvas na Região Sudeste do Brasil: Análise Climatológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** 2002. p. 1403-1410. CD-ROM. (INPE-9443-PRE/5099).

ASSAD, E.D.; SANO, E.E.; MASUTOMO, R.; CASTRO, L.H.R. ; SILVA, F.A.M. Veranicos na região dos cerrados brasileiros frequência e probabilidade de ocorrência. **Pesq. Agropec. Bras.**, n. 28, p. 993-1003, 1993.

BARBIERI, P. R. B. **Caracterização da estação chuvosa nas regiões sul e sudeste do Brasil associado com a circulação atmosférica**. 2005. 116 p. (INPE-14220-TDI/1121). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2005/06.01.19.48>>. Acesso em: 21 maio 2013.

BARROS, S. S. **Precipitação no Centro de Lançamento de Alcântara: aspectos observacionais e de modelagem**. 2008. 112 p. (INPE-15319-TDI/1362). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP8W/33END9S>>. Acesso em: 21 maio 2013.

BARROS, S. S.; OYAMA, M. D. Sistemas meteorológicos associados à ocorrência de precipitação no Centro de Lançamento de Alcântara. **Rev. bras. meteorol.**, São Paulo, v. 25, n. 3, Set. 2010.

CARVALHO, M. Â. V. **Variabilidade da largura e intensidade da Zona de Convergência Intertropical Atlântica: aspectos observacionais e de modelagem**. 2011. 135 p. (sid.inpe.br/mtc-m18/2011/02.23.23.13-TDI). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP8W/398CUDH>>. Acesso em: 21 maio 2013..

CAVALCANTI, I.F.A., KOUSKY, V.E. Influências da circulação de escala sinótica na circulação de brisa marítima na costa N-NE da América do Sul. São José dos Campos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 1982, 2., Pelotas-RS. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMET, 1982, p. 844-848.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C. Parte I - Sistemas meteorológicos que afetam o tempo na América do Sul: Zona de Convergência do Atlântico Sul. In: CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque; FERREIRA, Nelson Jesus; SILVA, Maria Gertrudes Alvarez Justi da; SILVA DIAS, Maria Assunção Faus da (Ed.). **Para entender tempo e clima**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 95-109. ISBN 978-85-86238-92-5. (INPE--/).

CLIMANÁLISE - Boletim de Monitoramento e Análise Climática. Cachoeira Paulista, SP: INPE, 1999 a 2008. Mensal. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise>, acesso em: 12 de maio de 2011.

COHEN, J. C. P.; SILVA DIAS, M. A. F.; NOBRE, C. A. Aspectos climatológicos das linhas de instabilidade na Amazônia. **CLIMANÁLISE - Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. 4, p. 34-40, 1989.

COHEN, J. C. P.; SILVA DIAS M. A.; NOBRE C. Environmental conditions associated with Amazonian squall lines: a case study. **Monthly Weather Review**., v.123, n.11, p. 3163-3174, 1995.

COUTINHO, M. D. L. **Método objetivo de identificação dos vórtices ciclônicos de altos níveis na região tropical sul: validação e climatologia**. 2008. 119 p. (INPE-15460-TDI/1422). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2008. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP8W/348MD2H>>. Acesso em: 21 maio 2013.

DEE, D. P. ; UPPALA, S. M., SIMMONS, A. J., BERRISFORD, P., POLI, P., KOBAYASHI, S., ANDRAE, U., BALMASEDA, M. A.; BALSAMO, G., BAUER., P.; BECHTOLD, P. ; BELJAARS, A. C. M.; VAN DE BERG, L.; BIDLOT, J. ; BORMANN, N.; DELSOL, C.; DRAGANI, R.; FUENTES, M.; GEER, A. J.; HAIMBERGER, L.; HEALY, S. B.; HERSBACH, H.; H'OLM, E. V.; ISAKSEN, L.; KALLBERG', P.; KOHLER, M. ; MATRICARDI, M.; MCNALLY, A. P.; MONGE-SANZF, B. M.; MORCLETTE, J.J.; PARK, B.-K.; PEUBEY, C.; ROSNAY, P.; TAVOLATO, C.; THEPAUT, J.-N.; VITART, F. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system, **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 137, 553-597, 2011.

FERRO, M. A. S.; SABA, M. M. F.; NACCARATO, K. P.; YAMASAKI, J.; PIMENTEL, D. R. M. Cloud-to-ground lightning warnings based on electric field-mill measurements in Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON LIGHTNING PROTECTION, 30., 2010, Cagliari. **Proceedings...** Cagliari: INLP, 2010.

FRANCHITO, S. H; RAO, V. B; BARIBIERI, P.R.B; SANTO, C. M. E. Rainy Season Duration Estimated from OLR versus Rain Gauge Data and the 2001 Drought in Southeast Brazil. **Journal of applied Meteorology and Climatology**. v.47, p. 1493-1499, 2008

GAN, M. A. **Um estudo observacional sobre as baixas frias da alta troposfera, nas latitudes subtropicais do Atlântico Sul e leste do Brasil**. 1982. 80 p. (INPE-2685-TDL/126). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - 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: 14 abr. 2013.

GAN, M. A.; KOUSKY, V. E. Vórtices ciclônicos da alta troposfera no oceano Atlântico Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, n.1, p. 19–28, 1986.

GAN, M.A.; KOUSKY, V.E.; ROPELEWSKI, C. The South America Monsoon Circulation and its relationship to rainfall over West-Central Brazil. **Journal of Climate**, v. 17, n,1, p. 47–66, 2004.

GAN, M. A.; MOSCATI, M. C. L. Estacao chuvosa de 2001/02 na região centro-oeste do Brasil. / 2001/02 rainy season over west-central Brazil region. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 18, n. 2, p. 181-194, 2003. (INPE-10652-PRE/6114)

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.

GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E. T; GOMES, J.: Precipitation anomalies in Southern Brazil Associated with El Niño and La Niña Events. **Journal of Climate**, 1998.

HASTENRATH, S. **Climate dynamics of tropics**. Dordrecht: Kluwer, 1991. 488 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Normais climatológicas do Brasil 1961-1990. Brasília, DF, 2009.

JORNAL NACIONAL, Agricultores do NE têm perdas com seca. Edição do dia 18/03/2010. Disponível em <http://jornalnacional.globo.com/Telejornais/JN>. Acessado em: 20.03.2013

KOUSKY, E. V. Diurnal rainfall variation in northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 108, p.488-498, 1980.

KOUSKY, V. E.; GAN, M. A. Upper tropospheric cyclonic vortices the tropical South Atlantic. **Tellus**, v. 33, n. 6, p. 538-551, Nov. 1981. (INPE-1946-RPE/263).

LACERDA, F.F.; SILVA, A.A.G; BARROS, A.H.C. et al. Estudo climatológico da ocorrência de veranicos no sertão do Araripe-PE. IN: REUNION ARGENTINA DE IV LATINO AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 10., 2004, Mar del Plata. **Anais...** Mar del Plata, Associação Argentina de Agrometeorologia, 2004.

LIEBMANN, B; MARENGO, J. The Seasonality and interannual variability of rainfall in the Brazilian Amazon Basin. **Journal of Climate**, v.14, n.10, p.4308-4318, 2001.

LIEBMANN, B.; CAMARGO, S. J.; SETH, A.; MARENGO, J. A.; CARVALHO, L. M. V.; ALLURED, D.; FU, R.; VERA, C. S. Onset and end of the rainy season in South America in observations and the ECHAM 4.5 atmospheric general circulation model. **Journal of Climate**, v. 20, n. 10, p. 2037-2050, may 2007. (INPE-14963-PRE/9875)..

MARENGO, J.A.; HASTENRATH, S. Case Studies of Climatic Events in Amazon Basin. **Journal of Climate**, v. 6, n. 4, p. 617-627, Apr. 1993

MARENGO, J.A.; LIEBMANN, B.; KOUSKY, V.; FILIZOLA, N.; WAINER, I. Onset and End of the Rainy Season in the Brazilian Amazon Basin. **Journal of Climate**, v. 14, n.5, p. 833- 852, 2001b.

MARINHO, L.P.B; AVELAR, A.C.; FISCH, G.; ROBALLO, S.T.; SOUZA, L.F.; GIELOW, R.; GIRARDI, R. M.; Studies using wind tunnel to simulate the atmospheric boundary layer at the Alcântara Space Center. **Journal of Aerospace Technology and Management**. v. 1, n. 1, 2009.

MARQUES, R. F. C.; BAUNGARTNER, C. Estudo das variáveis meteorológicas associadas a posição da ZCIT do Atlântico durante a Estação Chuvosa no Centro de Lançamento de Alcântara (CLA). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 15., 2008, São Paulo. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 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.

MARINHO, L. P. B.; AVELAR, A. C.; FISCH, G.; ROBALLO, S. T.; SOUZA, L. F.; GIELOW, R.; GIRARDI, R. M. Studies using wind tunnel to simulate the Atmospheric Boundary Layer at the Alcântara Space Center. **Journal of Aerospace Technology and Management**, v. 1, n. 1, p. 91-98, 2009.

MENEZES, H.E.A.; BRITO, J.I.B; SANTOS, C.A.C. e SILVA, L.L. A relação entre a temperatura da superfície dos oceanos tropicais e a duração dos veranicos no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.2, 152-161, 2008.

MISHRA S. K.; RAO, V. B.; FRANCHITO, S. H. Genesis of the Northeast Brazil upper-tropospheric cyclonic vortex: a primitive equation barotropic instability study. **American Meteorological Society**, p. 1-14, Jan. 2007

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

MOSCATI, M.C. L; TAVARES, P.S.; MARQUES, R.F.C. **ocorrência de chuva intensa no Centro de Lançamento de Alcântara (CLA)**. São José dos Campos: Instituto de Aeronáutica e Espaço, Centro Técnico Aeroespacial, 2005.

OYAMA, M.D. **Instalação do modelo de mesoescala MM5 na ACA/IAE/CTA. São José dos Campos**: Divisão de Ciências Atmosféricas. São José dos Campos: Instituto de Aeronáutica e Espaço, Centro Técnico Aeroespacial, 2003. Publicação interna, PI-002.

OYAMA, M.D. **Sistema de previsão de tempo para o Centro de Lançamento de Alcântara utilizando o Modelo Regional MM5**: Versão 1.0. São José dos Campos: Instituto de Aeronáutica e Espaço, Centro Técnico Aeroespacial, 2007.

OYAMA, M. D. ; CARVALHO, M. A. V. . Influência da Zona de Convergência Intertropical Atlântica na Precipitação da região do Centro de Lançamento de Alcântara: estudo preliminar. In: In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 17., 2012, Gramado-RS. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 2012.

PEREIRA, E. I.; MIRANDA, I.; FISCH, G.; ALVES, M .A. S. Atlas climatológico do Centro de Lançamento de Alcântara-MA. In: CONGRESSO BRASILEIRO

DE METEOROLOGIA, 12., 2002, Foz de Iguaçu-PR. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, 2002.

PEREIRA NETO, A. V. **Avaliação e ajustes da parametrização de Kain-Fritsch sobre a região do Centro de Lançamento de Alcântara**. 2010. 117 p. (sid.inpe.br/mtc-m18@80/2009/11.18.13.31-TDI). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP8W/36E87U8>>. Acesso em: 22 maio 2013.

PEREIRA NETO, A. V.; OYAMA, M.D. Mudanças do esquema de convecção profunda Kain-Fritsch para a região do CLA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.26, n.4, 579-590, 2011.

PEZZI, L.P.; CAVALCANTI, I.F.A. The relative importance of ENSO and tropical Atlantic sea surface temperature anomalies for seasonal precipitation over South America: a numerical study. **Climate Dynamics**, n17, p 205-212, 2001.

PIRES, L.B.M. **Estudo da camada limite interna desenvolvida em falésias com aplicação para o Centro de Lançamento de Alcântara**. 2009. 165 p. (INPE-16566-TDI/1562). Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP8W/35H3442>>. Acesso em: 22 maio 2013.

RAO, V. B.; HADA, K. Characteristics of rainfall over Brazil: Annual variations and connections with the Southern Oscillation. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 42, n. 2, p. 81-91, 1990.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P. ; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: Uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, p 185 - 204, 2010.

SANSIGOLO, C. A Variabilidade interanual da estação chuvosa no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n.1, p.101-105, 1996.

SILVA, L. A. **A influência do vórtice ciclônico de altos níveis (VCAN) sobre a precipitação do nordeste do Brasil (NEB) e as características associadas**. 2005. 134 p. (INPE-14488-TDI/1169). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - 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: 22 maio 2013.

SUGAHARA, S. **Flutuações interanuais, sazonais e intrasazonais de precipitação no estado de São Paulo**. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

VAUGHAN, W.W; JOHNSON, D. L. Aerospace Meteorology: An Overview of Some Key Environmental Elements, **Journal of Aerospace Technology and Management**, V. 5, n 1, Jan/Mar 2013.

VEIGA, J. A., J. A. MARENGO, e V. B. RAO. A influência das anomalias de TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico nas chuvas de monção da América do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.17, 181–194, 2002.

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

WMO. **Calculation of monthly and annual 30-year standard normal**. Geneva, 1989. (WMO. Technical document, n. 341, WCDP, n.10)

APÊNDICE A- Calendário relativo ao número de pântadas e suas respectivas datas.

Pântadas	Datas	Pântadas	Datas
1	1-5 janeiro	38	5-9
2	6 -10	39	10-14
3	11-15	40	15-19
4	16-20	41	20-24
5	21-25	42	25-29
6	26-30	43	30 jul.-3 ago
7	31 jan.-4 fev	44	4-8
8	5-9	45	9-13
9	10-14	46	14-18
10	15-19	47	19-23
11	20-24	48	24-28
12	25 fev.-1mar	49	29 ago. –2 set.
13	2-6	50	3-7
14	7-11	51	8-12
15	12-16	52	13-17
16	17-21	53	18-22
17	22-26	54	23-27
18	27-31	55	28 set. –2 out.
19	1-5 abr.	56	3-7
20	6-10	57	8-12
21	11-15	58	13-17
22	16-20	59	18-22
23	21-25	60	23-27
24	26-30	61	28 out. –1 nov.
25	1-5 maio	62	2-6
26	6-10	63	7-11
27	11-15	64	12-16
28	16-20	65	17-21
29	21-25	66	22-26
30	26-30	67	27nov. –1dez.
31	31 maio –4 jun.	68	2-6
32	5-9	69	7-11
33	10-14	70	12-16
34	15-19	71	17-21
35	20-24	72	22-26
36	25-29	73	27-31
37	30 jun.-4 jul.		

Fonte: VEIGA, 2002.

APÊNDICE B - Critérios de Precipitação, em ordem cronológica

	ANO	AUTOR	LOCAL	CRITÉRIO DE INÍCIO (FIM)
1	1991	Sugahara	Região Sudeste	<p>Após a pântada 37, a 1ª pântada com precipitação \geq 10 mm, não sendo seguida por 3 pântadas com precipitação acumulada $<$ 15 mm.</p> <p>(após o início da precipitação, uma sequência de 3 pântadas com precipitação \leq 15 mm, não seguida por precipitação $>$ 10 mm.</p>
2	1996	Sansigolo	Região Sudeste	<p>O 1º dia com precipitação igual ou maior que (menor que) 20 mm, por 1 ou 2 dias consecutivos, após 1-set (após 30-jan), condicionados a não ocorrência de 10 dias sem (com) chuva nos 30 dias seguintes.</p>
3	1998	Grimm et al.	Paraná	<p>A 1ª pântada \geq percentil 5 e a média de 3 pântadas consecutivas $>$ percentil 15.</p> <p>(A média de 3 pântadas consecutivas $<$ percentil 15 e a 1ª pântada $<$ percentil</p>

(CONTINUA)

APÊNDICE B - (CONCLUSÃO)

4	2001	Marengo et al	Região Amazônica	A 1ª pântada > (<) 4 mm, precedida e seguida por 8 pântadas, com pelo menos 6 pântadas anteriores < (>) 3,5 mm (4,5 mm) e 6 pântadas posteriores > (<) 4,5 mm (3,5 mm).
5	2002	Marengo	Região Sudeste	Idem a Sugahara. Testou também os limiares de 3, 4 e 5 mm.
6	2004	Gan et al.	Região Centro Oeste	A 1ª pântada > (<) que 4 mm em, ao menos, 6 de 8 pântadas posteriores.
7	2005	Barbieri	Região Sudeste	A pântada diária é dividida pela pântada média (climatológica); se o resultado for maior (menor) que a unidade e, pelo menos, a metade de 2 (4) pântadas consecutivas esteja acima (abaixo) da unidade.
8	2007	Liebmann et al	Região Amazônica	A precipitação diária subtraída da precipitação média diária (climatológica); se o resultado é positivo (negativo), é o início (final) da estação chuvosa.

APÊNDICE C - Critérios de veranicos, em ordem cronológica

	ANO	AUTOR (ES)	LOCAL	CRITÉRIO
1	1993	Assad et al	Planalto Central	Calculou o histograma de veranicos de 5, 10, 15 e 20 dias, com uma série histórica de 20 anos.
2	2004	Lacerda et al	Sertão de Pernambuco	Foi pré-estabelecido como não-chuva todos os valores da série ≤ 1 mm. Foram classificados os veranicos de, no mínimo, 5 dias consecutivos sem chuva, no período de janeiro a abril de cada ano, utilizando uma série histórica com mais de 25 anos de registros.
3	2008	Menezes et al	Sertão da Paraíba	Considerou veranico a seqüência de 4 ou mais dias, com precipitação $\leq 2,0$ mm. Depois, calcularam também para precipitação ≤ 4 mm.