

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
METEOROLOGIA**





UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**CICLO DIÁRIO E EVENTOS INTENSOS DE PRECIPITAÇÃO NO  
PLANALTO COSTEIRO DO ESTADO DA BAHIA**

**BIANCCA CORREIA DE MEDEIROS**

**CAMPINA GRANDE – PB**

**MARÇO DE 2017**

BIANCCA CORREIA DE MEDEIROS

**CICLO DIÁRIO E EVENTOS INTENSOS DE PRECIPITAÇÃO NO  
PLANALTO COSTEIRO DO ESTADO DA BAHIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

Área de concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escala

Sub-área: Climatologia

Orientadora: Profa. Dra. Maria Regina da Silva Aragão

CAMPINA GRANDE – PB

MARÇO DE 2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

M488c      Medeiros, Biancca Correia de.  
Ciclo diário e eventos intensos de precipitação no planalto costeiro do estado da Bahia / Biancca Correia de Medeiros. – Campina Grande, 2017.  
89 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2017.  
"Orientação: Profa. Dra. Maria Regina da Silva Aragão".  
Referências.

1. Chuva. 2. Frequência Horária. 3. Percentil. 4. Aglomerado Convectivo. 5. Nordeste do Brasil. I. Aragão, Maria Regina da Silva. II. Título.

CDU 551.578.1(043)

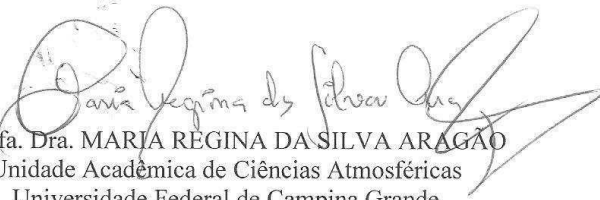
**CICLO DIÁRIO E EVENTOS INTENSOS DE PRECIPITAÇÃO NO  
PLANALTO COSTEIRO DO ESTADO DA BAHIA**

BIANCCA CORREIA DE MEDEIROS

CICLO DIÁRIO E EVENTOS INTENSOS DE PRECIPITAÇÃO NO PLANALTO  
COSTEIRO DO ESTADO DA BAHIA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 03/03/2017

BANCA EXAMINADORA

  
Profa. Dra. MARIA REGINA DA SILVA ARAGÃO  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande

  
Profa. Dra. CELIA CAMPOS BRAGA  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande

  
Profa. Dra. ALDINETE BEZERRA BARRETO  
Unidade Acadêmica de Tecnologia do Desenvolvimento  
Universidade Federal de Campina Grande

## DEDICATÓRIA

*A minha mãe Carla Roberta por ser o  
presente mais lindo que Deus  
poderia ter me dado. A sua dedicação foi  
parte decisiva neste trabalho.*

*Ao meu pai Fernando Sergio por ser a  
essência do meu existir, por ser a minha  
estrela guia, por ter por mim o maior  
amor do mundo.*

*Pelo grande amor que tenho por eles:*

*Ao meu irmão Kássio Henrique.*

*Aos meus avôs Magdala e Adson.*

*As minhas tias Fernanda e Bruna.*

*A minha afilhada Vivian Maria.*

## AGRADECIMENTOS

A DEUS, que todos os dias da minha vida me deu forças para nunca desistir.

A minha família, que foi minha base durante esses anos e estiveram comigo em todos os momentos, sem eles eu não seria quem sou.

Ao meu namorado Carlos Diego, pelo amor, compreensão e incentivo.

À professora Dra. Maria Regina da Silva Aragão pelos sábios ensinamentos, pelo tempo dedicado e pela orientação deste trabalho mediante paciência, compreensão e estímulo.

Ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela concessão da bolsa de estudos.

A meus tios Bruna e Emerson que me acolheram durante esses anos, me dando apoio e incentivo.

Aos membros da Banca Examinadora pelas sugestões recebidas.

Aos professores e funcionários da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande (DCA-UFCG), fundamental na construção do aprendizado. Em especial a Arilene e Danilo, pela atenção e assistência em diversos momentos.

À servidora aposentada da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Eyres Diana Ventura Silva, pelo inestimável trabalho voluntário no processamento e controle de qualidade dos dados utilizados nesta pesquisa.

Aos meus amigos que ganhei no mestrado e quero levar para toda vida, Gabrielle e Fellipe.

Aos amigos, pessoas raras com as quais compartilhei todas as minhas dificuldades e vitórias em especial Patrícia, José, Pedro, Thaila, Natalie.

Por fim, agradeço a todos que torceram por meu sucesso e estiveram do meu lado durante toda essa caminhada. Muito obrigada!



*“É preciso força para sonhar e perceber  
que a estrada vai além do que se vê”.*

(Los Hermanos)

## RESUMO

O objetivo deste estudo é analisar a variabilidade da precipitação em quatro municípios do planalto costeiro do Estado da Bahia: Salvador, Ilhéus, Eunápolis e Teixeira de Freitas. As séries horárias de precipitação obtidas do processamento dos dados brutos de estações automáticas de coleta de dados operadas pelo Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA) formam a principal base de dados desta pesquisa. O período de estudo é de abril de 2000 a fevereiro de 2009. O ciclo diário da precipitação foi analisado através do total precipitado e da frequência de chuva (em dias) considerando os 24 intervalos de uma hora que constituem um dia. A técnica do percentil aplicada às séries temporais dos totais diários de precipitação possibilitou identificar eventos intensos. Chove durante todo o ano nos quatro municípios. De maneira geral, o número de eventos intensos e de dias com chuva é maior em anos com totais pluviométricos mais elevados. O ciclo diário da frequência de chuva tem aspectos semelhantes para Salvador e Ilhéus, como o mínimo vespertino e o máximo na madrugada (Ilhéus) e manhã (Ilhéus e Salvador). O ciclo diário de Eunápolis e Teixeira de Freitas apresenta dois períodos de máximo (início da manhã e início da tarde), e dois de mínimo, um breve, no meio da manhã, e outro prolongado, no período da noite. Num estudo de caso selecionado foi analisado um aglomerado convectivo que se desenvolveu na área de um cavado no escoamento de leste sobre o Estado da Bahia, na noite do dia 14 e madrugada do dia 15 de outubro de 2006.

**Palavras-chave:** Chuva. Frequência Horária. Percentil. Aglomerado Convectivo. Nordeste do Brasil.

## ABSTRACT

The objective in this study is to analyze the precipitation variability in four municipalities of the coastal high plains of Bahia State: Salvador, Ilhéus, Eunapólis e Teixeira de Freitas. Hourly precipitation time series obtained by processing the raw data of automatic weather stations operated by the Institute for Environment and Water Resources (INEMA) is the main dataset used in the research. The period of study is from April 2000 to February 2009. The diurnal precipitation cycle was analyzed by means of the rainfall totals and frequencies (in days) considering the 24 one-hour intervals that constitute one day. Intense rainfall events were identified by applying the percentile technique to the daily 24-hour precipitation totals time series. It rains all year long in the four municipalities. In general, the number of intense events and raindays is higher in years with larger precipitation totals. The diurnal cycle of rainfall frequency for Salvador and Ilhéus has similar characteristics: an afternoon minimum and a maximum at dawn (Ilhéus) and morning (Ilhéus and Salvador). The daily cycle for Eunapólis and Teixeira de Freitas show two periods of maximum (early morning and early afternoon), and two minima, one short, in mid-morning, and a long-lasting one, in nighttime. A selected case study was performed focusing on a cloud cluster that developed in a trough area in the easterlies over Bahia State in October 2006, in the night of the 14<sup>th</sup> and dawn of the 15<sup>th</sup>.

**Keywords:** Rainfall. Hourly Frequency. Percentile. Cloud Cluster. Northeast Brazil.

## SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

<b>I. LISTA DE FIGURAS</b> .....	11
<b>II. LISTA DE TABELAS</b> .....	16
<b>III. LISTA DE QUADROS</b> .....	17
<b>IV. LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS</b> .....	18
<b>CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO</b> .....	19
<b>CAPÍTULO 2- OBJETIVOS</b> .....	21
2.1-OBJETIVO GERAL.....	21
2.2-OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
<b>CAPÍTULO 3- REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	22
3.1- CARACTERÍSTICAS DO CICLO DIÁRIO DE PRECIPITAÇÃO.....	22
3.2- EVENTOS EXTREMOS DE CHUVA.....	25
3.3- SISTEMAS ATMOSFÉRICOS COM INFLUÊNCIA NA BAHIA.....	27
3.3.1- Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).....	27
3.3.2- Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN).....	28
3.3.3- Sistemas Frontais (SF).....	29
3.3.4- Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM).....	29
3.3.5- Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).....	30
3.3.6- Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL).....	30
<b>CAPÍTULO 4- MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	32
4.1- ÁREA E PERÍODO DE ESTUDO .....	32
4.2- DADOS .....	33
4.3- MÉTODOS .....	35
4.3.1- Técnica do Percentil.....	37
4.3.2- Estudo de Caso.....	37
<b>CAPÍTULO 5- RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	38
5.1- PRECIPITAÇÃO NA ESTAÇÃO AUTOMÁTICA DE SALVADOR.....	38
5.1.1- Variabilidade Mensal e Anual.....	38
5.1.2- Ciclo Diário e sua Variabilidade.....	40
5.1.3- Eventos Intensos.....	48
5.2- PRECIPITAÇÃO NA ESTAÇÃO AUTOMÁTICA DE ILHÉUS.....	51

5.2.1- Variabilidade Mensal e Anual.....	51
5.2.2- Ciclo Diário e sua Variabilidade.....	52
5.2.3- Eventos Intensos.....	56
5.3- PRECIPITAÇÃO NA ESTAÇÃO AUTOMÁTICA DE EUNÁPOLIS .....	59
5.3.1- Variabilidade Mensal e Anual.....	59
5.3.2- Ciclo Diário e sua Variabilidade.....	60
5.3.3- Eventos Intensos.....	64
5.4- PRECIPITAÇÃO NA ESTAÇÃO AUTOMÁTICA DE TEIXEIRA DE FREITAS.....	67
5.4.1- Variabilidade Mensal e Anual.....	67
5.4.2- Ciclo Diário e sua Variabilidade.....	68
5.4.3- Eventos Intensos.....	73
5.5 - Estudo de caso: o evento de outubro de 2006.....	76
<b>CAPÍTULO 6- CONCLUSÕES .....</b>	<b>83</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>84</b>

## I. LISTA DE FIGURAS

**Figura 4.1** – Localização geográfica de Plataformas Automáticas de Coleta de Dados (PCD's) operadas pelo Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA) no planalto costeiro do Estado da Bahia.....32

**Figura 4.2** – Mapa do relevo do Estado da Bahia, com o planalto costeiro representado pela cor verde escuro. A localização das PCD's está indicada no mapa. (Fonte: IBGE).....34

**Figura 5.1** - Distribuição mensal para Salvador da normal climatológica (1961-1990) (verde), da média do período de estudo (vermelha), da média dos quatro anos com séries horárias completas (azul), e do desvio padrão do período de estudo. Os números representam o total de meses usados nos cálculos do período de estudo. (Fonte dos dados: INEMA e INMET).....39

**Figura 5.2** – Série temporal dos totais mensais de precipitação de Salvador nos anos com séries horárias completas. (Fonte dos dados: INEMA).....40

**Figura 5.3** – Série temporal da frequência horária da chuva (número de dias) de Salvador no período de estudo (abril de 2000-fevereiro de 2009) e no conjunto dos quatro anos com séries horárias completas. Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).....41

**Figura 5.4** – Série temporal dos totais horários de precipitação de Salvador no período de estudo (abril de 2000-fevereiro de 2009) e no conjunto dos quatro anos com séries horárias completas. Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).....42

**Figura 5.5** – Série temporal da frequência horária da chuva (número de dias) de Salvador, no período de estudo (abril de 2000-fevereiro de 2009) e no conjunto dos quatro anos com séries horárias completas, para o quadrimestre: (a) abril-maio-junho-julho (AMJJ), e (b) agosto-setembro-outubro-novembro (ASON). Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).....43

**Figura 5.6** – Série temporal dos totais horários de precipitação de Salvador nos quadrimestres: (a) abril-maio-junho-julho (AMJJ) (b) agosto-setembro-outubro-novembro (ASON) do período de estudo (azul) e no conjunto dos quatro anos com séries horárias completas (vermelho). Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).....44

**Figura 5.7** – Série temporal da frequência horária da chuva (número de dias) de Salvador nos quatro anos com séries horárias completas. Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).....45

**Figura 5.8** – Série temporal dos totais horários de precipitação de Salvador nos quatro anos com séries horárias completas. Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).....46

**Figura 5.9** – Frequência horária da chuva (dias) de Salvador no período de abril de 2000-fevereiro de 2009 para o intervalo de classe de precipitação: (a) 1 ( $0,25\text{mm} \leq \text{chuva} < 7,5 \text{ mm}$ ), (d) 4 ( $7,5 \text{ mm} \leq \text{chuva} < 21,5\text{mm}$ ), (e) 5 ( $21,5 \text{ mm} \leq \text{chuva}$ ). Observe que HL é a hora local e que a escala do eixo das ordenadas difere entre os gráficos. (Fonte dos dados: INEMA).....47

**Figura 5.10** - Frequência mensal (número de dias) de eventos intensos de precipitação de Salvador no período de estudo (abril de 2000-fevereiro de 2009) e no conjunto dos anos com séries horárias completas. O valor do percentil 97 do período de estudo (46,6 mm) foi o limiar inferior na seleção dos eventos intensos.....48

**Figura 5.11** - Distribuição mensal para Ilhéus da normal climatológica (1961-1990) (verde), da média do período de estudo (vermelha), dos totais da média do ano com série horária completa (azul), e do desvio padrão do período de estudo. Os números representam o total de meses usados nos cálculos do período de estudo. (Fonte dos dados: INEMA e INMET).....51

**Figura 5.12** – Série temporal do total mensal de precipitação de Ilhéus no ano com série horária completa (2003). (Fonte dos dados: INEMA).....52

**Figura 5.13**– Série temporal da frequência horária da chuva (número de dias) de Ilhéus no período de estudo (abril de 2000-fevereiro de 2009) e no ano com série horária completa. Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).....53

**Figura 5.14** – Série temporal dos totais horários de precipitação de Ilhéus no período de estudo (abril de 2000-fevereiro de 2009) e no ano com série horária completa. Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).....54

**Figura 5.15** – Série temporal da frequência horária da chuva (número de dias) de Ilhéus para o ano com série horária completa. Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).....54

**Figura 5.16** – Série temporal dos totais horários de precipitação de Ilhéus para o ano com série horária completa. Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).....55

**Figura 5.17** – Frequência horária da chuva (dias) de Ilhéus no período de abril de 2000-fevereiro de 2009 para o intervalo de classe de precipitação: (a) 1 ( $0,25\text{mm} \leq \text{chuva} < 7,5 \text{ mm}$ ), (d) 4 ( $7,5 \text{ mm} \leq \text{chuva} < 17,25\text{mm}$ ), (e) 5 ( $17,25 \text{ mm} \leq \text{chuva}$ ). Observe que HL é a hora local e que a escala do eixo das ordenadas difere entre os gráficos. (Fonte dos dados: INEMA).....56

**Figura 5.18** - Frequência mensal (número de dias) de eventos intensos de precipitação de Ilhéus no período de estudo (abril de 2000-fevereiro de 2009) e no ano com série horária completa. O valor do percentil 97 do período de estudo (34,75 mm) foi o limiar inferior na seleção dos eventos intensos.....57

**Figura 5.19** - Distribuição mensal para Eunápolis da média do período de estudo (abril de 2000-agosto 2008), da média dos cinco anos com séries horárias completas, e do

desvio padrão do período de estudo. Os números representam o total de meses usados nos cálculos do período de estudo. (Fonte dos dados: INEMA).....59

**Figura 5.20** – Série temporal dos totais mensais de precipitação de Eunápolis nos anos com séries horárias completas. (Fonte dos dados: INEMA).....60

**Figura 5.21** – Série temporal da frequência horária da chuva (número de dias) de Eunápolis no período de estudo (abril de 2000-agosto de 2008) e no conjunto dos cinco anos com séries horárias completas. Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).....61

**Figura 5.22** – Série temporal dos totais horários de precipitação de Eunápolis no período de estudo (abril de 2000-agosto de 2008) e no conjunto dos cinco anos com séries horárias completas. Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).....62

**Figura 5.23** – Série temporal da frequência horária da chuva (número de dias) de Eunápolis nos cinco anos com séries horárias completas. Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).....62

**Figura 5.24**– Série temporal dos totais horários de precipitação de Eunápolis nos cinco anos com séries horárias completas. Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).....63

**Figura 5.25** – Frequência horária da chuva (dias) de Eunápolis no período de abril de 2000-agosto de 2008 para o intervalo de classe de precipitação: (a) 1 ( $0,25\text{mm} \leq \text{chuva} < 6,5 \text{ mm}$ ), (d) 4 ( $6,5 \text{ mm} \leq \text{chuva} < 17,0 \text{ mm}$ ), (e) 5 ( $17,0 \text{ mm} \leq \text{chuva}$ ). Observe que HL é a hora local e que a escala do eixo das ordenadas difere entre os gráficos.. (Fonte dos dados: INEMA).....64

**Figura 5.26**- Frequência mensal (número de dias) de eventos intensos de precipitação de Eunápolis no período de estudo (abril de 2000-agosto de 2008) e no conjunto dos anos com séries horárias completas. O valor do percentil 97 do período de estudo (31,8 mm) foi o limiar inferior na seleção dos eventos intensos.....65

**Figura 5.27** - Distribuição mensal para Teixeira de Freitas da média do período de estudo (abril de 2000-fevereiro de 2009), da média do conjunto dos quatro anos com séries horárias completas, e do desvio padrão do período de estudo. Os números representam o total de meses usados nos cálculos do período de estudo. (Fonte dos dados: INEMA).....67

**Figura 5.28** – Série temporal dos totais mensais de precipitação de Teixeira de Freitas nos anos com séries horárias completas. (Fonte dos dados: INEMA).....68

**Figura 5.29** – Série temporal da frequência horária da chuva (número de dias) de Teixeira de Freitas no período de estudo (abril de 2000-fevereiro de 2009) e no conjunto dos quatro anos com séries horárias completas. Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).....69



- Figura 5.30** – Série temporal dos totais horários de precipitação de Teixeira de Freitas no período de estudo (abril de 2000-fevereiro de 2009) e no conjunto dos quatro anos com séries horárias completas. Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).....70
- Figura 5.31** – Série temporal da frequência horária da chuva (número de dias) de Teixeira de Freitas nos quatro anos com séries horárias completas. Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).....71
- Figura 5.32** – Série temporal dos totais horários de precipitação de Teixeira de Freitas nos quatro anos com séries horárias completas. Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).....72
- Figura 5.33** – Frequência horária da chuva (dias) de Teixeira de Freitas no período de abril de 2000 a fevereiro de 2009 para o intervalo de classe de precipitação: (a) 1 ( $0,25\text{mm} \leq \text{chuva} < 1,5 \text{ mm}$ ), (b) 2 ( $1,5 \text{ mm} \leq \text{chuva} < 3,0 \text{ mm}$ ), (c) 3 ( $3,0 \text{ mm} \leq \text{chuva} < 7,0 \text{ mm}$ ), (d) 4 ( $7,0\text{mm} \leq \text{chuva} < 21,0\text{mm}$ ), (e) 5 ( $21,0 \text{ mm} \leq \text{chuva}$ ). Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).....73
- Figura 5.34**- Frequência mensal (número de dias) de eventos intensos de precipitação de Teixeira de Freitas no período de estudo (abril de 2000-fevereiro de 2009) e no conjunto dos anos com séries horárias completas. O valor do percentil 97 do período de estudo (38,12 mm) foi o limiar inferior na seleção dos eventos intensos.....74
- Figura 5.35**-Totais diários de precipitação (mm) para o mês de outubro de 2006 nas estações automáticas de coleta de dados (PCD) de Ilhéus, Eunápolis e Teixeira de Freitas. (Fonte dos dados: INEMA).....76
- Figura 5.36**- Precipitação acumulada (mm) registrada pela estação automática do INEMA no período de 9 HL do dia 14 às 9 HL do dia 15 de outubro de 2006 para a estação automática de: (a) Teixeira de Freitas (b) Eunápolis e (c) Ilhéus. (Fonte dos dados: INEMA).....78
- Figura 5.37** – Imagem realçada do satélite meteorológico GOES-12 da área do Nordeste do Brasil e adjacências para o dia 14 às (a) 18 HL, (b) 19 HL, (c) 21 HL e para o dia 15 de outubro de 2006 às: (d) 00 HL, (e) 05 HL, (f) 07 HL,. A escala de cores da temperatura de brilho é vista na parte inferior da figura. A localização da capital de cada estado está indicada nas imagens. (Fonte das imagens: Adaptado de [http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes\\_anteriores.jsp](http://satelite.cptec.inpe.br/acervo/goes_anteriores.jsp)).....79
- Figura 5.38** – Imagem do satélite meteorológico GOES-12 na banda do infravermelho térmico para o dia 14 às (a) 18 (b) 21 HL, e o dia 15 de outubro de 2006 às: (c) 00 HL, (d) 03 HL (e) 06 HL (f) 09 HL. A circunferência preta assinala parte da área costeira da Bahia. (Fonte das imagens: Adaptado de <http://www.sat.dundee.ac.uk>).....80
- Figura 5.39** – Pressão reduzida ao nível médio do mar (hPa) para as 21 HL do dia 14 de outubro de 2006. O intervalo de análise é de 2 hPa. (Fonte dos dados: NCEP/NCAR).....81

**Figura 5.40** – Análise de linhas de corrente e velocidade do vento para as 00 UTC do dia 15 de outubro de 2006 nos níveis de: (a) 200 hPa, (b) 500 hPa e (c) 850 hPa. (Fonte dos dados: *NCEP/NCAR*).....82

## II. LISTA DE TABELAS

**Tabela 5.1-** Características dos eventos intensos de precipitação identificados nos totais diários de Salvador para os meses disponíveis no período de abril de 2000 - fevereiro de 2009. O percentil 97 (46,6 mm) foi usado como critério de seleção dos eventos. O negrito destaca os eventos dos anos com séries horárias completas.....50

**Tabela 5.2-** Características dos eventos intensos de precipitação identificados nos totais diários de Ilhéus para os meses disponíveis no período de abril de 2000-fevereiro de 2009. O percentil 97 (34,75mm) foi usado como critério de seleção dos eventos. O negrito destaca os eventos do ano com séries horárias completas.....58

**Tabela 5.3-** Características dos eventos intensos de precipitação identificados nos totais diários de Eunápolis para os meses disponíveis no período de abril de 2000–agosto de 2008. O percentil 97 (31,8 mm) foi usado como critério de seleção dos eventos. O negrito destaca os eventos dos anos com séries horárias completas.....66

**Tabela 5.4-** Características dos eventos intensos de precipitação identificados nos totais diários de Teixeira de Freitas para os meses disponíveis no período de abril de 2000-fevereiro de 2009. O percentil 97 (38,12 mm) foi usado como critério de seleção dos eventos. O negrito destaca os eventos dos anos com séries horárias completas.....75

### III. LISTA DE QUADROS

**Quadro 4.1** – Nome das estações e mesorregiões, área e população dos municípios. (Fonte: IBGE, 2010).....33

**Quadro 4.2** – Nome e coordenadas geográficas das Plataformas Automáticas de Coleta de Dados (PCD's) localizadas no planalto costeiro do Estado da Bahia.....34

**Quadro 4.3** – Inventário de dados de chuva das estações automáticas de coleta de dados no período de abril de 2000-fevereiro de 2009. O (x) indica mês com séries completas. O (-) indica mês não utilizado por ausência total ou parcial de dados horários.....36

#### **IV. LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

AB - Alta da Bolívia

ASAS - Alta Subtropical do Atlântico Sul

AMJJ - Abril-Maio-Junho-Julho

ASON - Agosto-Setembro-Outubro-Dezembro

BA - Bahia

C - Chuvoso

CCM - Complexo Convectivo de Mesoescala

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

DOL - Distúrbios Ondulatórios de Leste

ENOS - El Niño-Oscilação Sul

GRADS - Grid Analysis and Display System

HL - Hora Local

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INEMA - Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

LI - Linha de Instabilidade

MC - Muito Chuvoso

MS - Muito Seco

N - Normal

NC - Normal Climatológica

NCAR - National Center for Atmospheric Research

PCD - Plataforma Automática de Coleta de Dados

S - Seco

SF - Sistema Frontal

SCM - Sistema Convectivo de Mesoescala

TSM - Temperatura da Superfície do Mar

u - Componente zonal do vento

UTC - Universal Time Coordinated

v - Componente meridional do vento

VCAN - Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis

ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul

ZCIT - Zona de Convergência Intertropical

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

A quase homogeneidade térmica da faixa tropical do globo contrasta com a grande variabilidade espacial e temporal da precipitação. Diversos fatores contribuem para essa variabilidade, desde a circulação atmosférica de grande escala até circulações locais diretamente relacionadas com características da superfície terrestre como altitude e orientação das encostas, distância em relação a corpos d'água, tipo e cobertura do solo, etc.

De maneira geral, ciclos anuais e diários bem definidos são encontrados nos diversos regimes pluviométricos da área tropical do planeta. Na escala diária (ciclo diário) a chuva é modulada por circulações locais como a brisa marítima/terrestre, vento de vale/montanha e circulações não-convencionais, o que resulta em horários preferenciais de ocorrência da chuva, com reflexo em vários ramos de atividade (defesa civil, transporte, turismo, etc.).

A interação entre circulações locais e sistemas de tempo de escala maior (mesoescala e escala sinótica) pode alterar características do ciclo diário tais como a frequência da chuva e, em particular, a magnitude dos totais precipitados, incluindo eventos de chuva forte (eventos intensos). Evidências dessa interação são encontradas em estudos para a região de Salvador, capital do Estado da Bahia (SILVA ARAGÃO et al., 2008; SANTOS, 2008; SANTOS et al., 2012).

Na cidade de Salvador a associação entre eventos intensos de chuva e o enorme contingente populacional que vive em áreas de risco geralmente resulta em desastres naturais como alagamentos, deslizamentos de encostas e/ou desabamentos de moradias, a despeito das medidas preventivas adotadas pela defesa civil local. A importância sócio-econômica de Salvador lhe confere lugar de destaque no planalto costeiro do Estado da Bahia, área em que a pluviosidade é uma das maiores do estado, onde também está localizada Ilhéus, uma das sete cidades mais populosas da Bahia. Considerada a capital do cacau, sua economia se baseia na agricultura, turismo e indústria. Duas cidades de menor porte situadas no planalto costeiro também são consideradas neste estudo: Eunápolis e Teixeira de Freitas.

O aumento do conhecimento sobre a variabilidade da precipitação, em escala diária e horária, e sua relação com o ciclo diário dessa variável é fundamental para os órgãos de previsão de tempo e clima, além de auxiliar a ação da defesa civil e fornecer elementos para o planejamento de infraestrutura adequada para minimizar as perdas ante esses eventos.

Nesse contexto, nesta pesquisa é investigada a variabilidade da precipitação no planalto costeiro do Estado da Bahia, com foco principal no ciclo diário dessa variável e identificação de eventos intensos. Os dados coletados em quatro estações automáticas de coleta de dados (PCD's) operadas nessa área do estado pelo Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA) constituem a base desta pesquisa.

## **CAPÍTULO 2**

### **OBJETIVOS**

#### **2.1 Objetivo Geral**

Investigar a variabilidade da precipitação em várias escalas de tempo em quatro localidades do planalto costeiro do Estado da Bahia, com foco principal no ciclo diário e eventos intensos.

#### **2.2 Objetivos Específicos**

Os objetivos específicos necessários à investigação são:

(a) Realizar o processamento e controle de qualidade dos dados de precipitação registrados por estações automáticas operadas pelo Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA);

(b) Determinar totais de precipitação com resolução temporal horária, diária, mensal e anual;

(c) Determinar a frequência horária da precipitação em escala mensal e anual;

(d) Investigar a existência de eventos intensos de precipitação com base em totais diários através da técnica do percentil;

(e) Determinar características em grande escala e mesoescala de evento intenso selecionado (estudo de caso).



## CAPÍTULO 3

### REVISÃO DE LITERATURA

A precipitação é o elemento meteorológico cuja variabilidade tem maior impacto sobre os ecossistemas e as atividades humanas, notadamente em áreas tropicais que dependem fortemente das águas da estação chuvosa. Isso é particularmente verdadeiro para regiões semiáridas como a área central do Nordeste do Brasil, foco de muitos estudos sobre secas e, em menor grau, sobre inundações.

Três parâmetros principais são utilizados para caracterizar a precipitação, independentemente da região considerada: o total acumulado (mm), a intensidade (mm/minuto, mm/hora ou mm/dia) e a duração ou frequência (horas ou dias/ano). A intensidade da chuva, em particular, determina a eficácia da chuva em relação a aspectos hidrológicos, erosivos e biológicos que ocorrem na superfície da Terra em várias escalas sendo, portanto, um agente importante sobre o meio ambiente. Tendo em vista os objetivos desta pesquisa, a seguir são discutidos trabalhos que investigam a variabilidade horária, diária, mensal e anual da precipitação com foco no ciclo diário, nos eventos intensos e/ou nos sistemas atmosféricos atuantes na região de estudo.

#### **3.1 Características do Ciclo Diário de Precipitação**

Poveda et al. (2005), usando dados horários de 51 pluviômetros, com período de registro entre 22 e 28 anos, estudaram o ciclo diurno da precipitação sobre os Andes tropicais da Colômbia. Para analisar a variabilidade interanual da precipitação eles quantificaram o ciclo diário durante as duas fases do ENOS e a variabilidade intra-anual foi investigada considerando as fases da Oscilação de Madden-Julian. Eles observaram que o mínimo de precipitação diária é encontrado durante as horas da manhã, independentemente da época do ano. Um pico predominante é encontrado à tarde ao longo do nordeste e oeste da Colômbia e do flanco ocidental dos Andes centrais. A precipitação máxima ocorre em torno da meia-noite, ou durante a tarde, ou ambos.

Alves e Galvani (2012) estudaram a precipitação horária no período de 2001 a 2011 para o município de São Paulo e observaram uma maior ocorrência das chuvas no final da tarde no verão e outono, com volumes de chuva bem maiores no verão. Também

observaram que no período de primavera-verão (outono-inverno) ocorrem 74% (26%) do total anual de precipitação.

Santos e Galvani (2014) estudaram a distribuição mensal e horária da precipitação para a região de Caraguatatuba, litoral norte de São Paulo, no período de 2007 a 2011, considerando como eventos extremos os totais diários acima de 40 mm. Sobre o ciclo diário, foi possível verificar que as chuvas no período de verão concentram-se no final da tarde e início da noite. No outono, as chuvas estão distribuídas ao longo das vinte e quatro horas do dia. No período analisado ocorreram 9 eventos extremos, sendo seis no verão e três no outono.

Dereczynski et al. (2009) produziram uma climatologia de precipitação para o município do Rio de Janeiro no período de 1997 a 2006. Eles observaram que os eventos de chuva se concentram no verão no período da tarde/noite e no inverno de noite/madrugada. Na análise dos eventos intensos de chuva eles consideraram aqueles com valores superiores a 30 mm/dia e observaram que 77% dos casos foram provocados por sistemas frontais.

Santos Neto et al. (2014) analisaram a variabilidade diária média das precipitações em Porto Velho – RO para o período de 1998 a 2013. Utilizando dados de precipitação horária de duas estações meteorológicas, observaram que as maiores frequências de precipitação ocorrem no período da tarde, mais precisamente às 15:00 horas locais e também no final da madrugada, com pico máximo às 05:00 horas locais.

Mapes et al. (2003) estudaram o ciclo diário da precipitação para o período de agosto de 1998 a julho de 2000 na Amazônia. Eles determinaram que no interior da bacia hidrográfica a convecção ocorre na forma de pequenos aglomerados convectivos, e que linhas de instabilidade formadas ao longo da costa, com propagação para oeste por 2 a 3 dias são responsáveis pela modulação do ciclo diário.

Angelis et al. (2014), através de dados do período de janeiro de 1998 a dezembro de 2000 de 24 estações instaladas na bacia amazônica, observaram que na parte norte da Amazônia a precipitação ocorre no período noturno. No oeste e no sul os máximos de precipitação ocorrem no período da tarde, e o sentido da propagação das chuvas é para leste, em geral.

Lopo et al. (2010) analisaram o ciclo diário de precipitação da cidade de Natal-RN para o período de abril de 2008 a março de 2010. Eles observaram que o regime diário de precipitação tem características típicas de áreas oceânicas e costeiras, ou seja, a precipitação máxima ocorre à noite. De acordo com os dados analisados, a estação

chuvosa é de abril a agosto e a estação seca é de setembro a fevereiro. Os eventos intensos foram observados durante todo o ano, porém com maior frequência na estação chuvosa.

Silva Aragão et al. (2008) analisaram a variação sazonal e horária da chuva em Salvador para o período de abril de 2000 a junho de 2008. Na análise da frequência das chuvas nos 24 intervalos de uma hora que constituem um dia, foi observado que a frequência é mínima no período da tarde e máxima no período da madrugada-início da manhã, com chuvas mais intensas no início da manhã. Os autores creditam o período de frequência máxima à convergência entre a brisa terrestre e os ventos alísios da alta subtropical do Atlântico Sul (ASAS). Numa extensão desse estudo, Silva Aragão et al. (2010) utilizaram dados de precipitação da cidade de Salvador para o período de abril de 2000 a fevereiro de 2009 para determinar os máximos mensais dos totais horários de chuva e suas horas de ocorrência. Os autores observaram que dentre os 98 meses analisados, 14 tem valor acima de 30 mm, dos quais 4 estão no quadrimestre chuvoso. A contagem dos máximos em quatro períodos de seis horas mostra valores mais elevados no período 6-12 UTC (3-9 horário local), nos três quadrimestres do ano.

Kousky (1980) estudou a variabilidade do ciclo diário da precipitação na Região Nordeste no período 1961-1970 utilizando dados de estações, e mostrou que a taxa de precipitação pode ser diferente dependendo da distância em relação ao litoral e do horário do dia. Ele encontrou um máximo de precipitação na maior parte da área costeira no período noturno-início da manhã (21 – 09 HL), e outro máximo no final da tarde-início da noite (15 – 21 HL) em áreas situadas a uma distância de 100 a 300 km do litoral. O máximo noturno próximo à costa estaria associado à brisa terrestre, enquanto que os máximos no interior do continente, principalmente à tarde, estariam associados à convecção local e à propagação de linhas de instabilidade (LI), essas últimas na área costeira norte da região.

A discussão dos trabalhos acima evidencia a importância do estudo do ciclo diário através da análise da variação horária da frequência e dos totais precipitados já que possibilita identificar horários preferenciais de ocorrência da chuva e sua magnitude com resolução temporal maior.

### 3.2 Eventos Extremos de Chuva

Higgins et al. (2000), utilizando a precipitação acumulada de três dias em áreas da costa oeste dos Estados Unidos, classificaram como evento de precipitação extrema aqueles acima do percentil 90. Eles observaram que os eventos extremos de precipitação ocorrem em todas as fases do ciclo do El Niño-Oscilação Sul (ENOS), mas que a maior fração desses eventos, para a costa oeste como um todo, ocorre durante o inverno, antes do início do El Niño.

Francis e Gadgil (2006) estudaram eventos intensos de precipitação na costa oeste da Índia durante a monção de verão (junho a setembro) para o período de 1951 a 1987. Eles observaram que a ocorrência desses eventos é maior nos meses de junho a agosto e que os eventos são mais intensos no início de julho.

Teixeira e Satyamurty (2007) adotaram como critério de seleção de casos de chuvas intensas na Região Sul do Brasil, eventos nos quais a isoietas de 50 mm em 24 h cobrisse uma área de, no mínimo, 10.000 km<sup>2</sup>. Já para a área da Serra do Mar, Teixeira e Satyamurty (2006), utilizando a técnica dos quantis, assumiram ter caráter extremo todo e qualquer evento de precipitação com chuva acumulada em um dia igual ou superior a 50 mm.

Anjos et al. (2006), utilizando dados diários de precipitação de janeiro de 1961 a dezembro de 2005 para a cidade de João Pessoa-PB, observaram que as chuvas diárias iguais ou maiores do que 20mm ocorrem a partir do mês de março, estendendo-se até setembro. As chuvas iguais ou maiores do que 20mm e menores do que 50mm ocorrem principalmente nos meses de abril, maio, junho e julho; chuvas acima de 100mm ocorrem apenas no mês de junho.

Medeiros et al. (2015) utilizaram dados de precipitação diária do período de 1961 a 2012 e dados horários do período de 2007 a 2011 para estudar a variabilidade da chuva em várias escalas de tempo na cidade de João Pessoa-PB. Para identificar os eventos extremos eles utilizaram a técnica do percentil (P97=60mm). Foram identificados 247 eventos, dos quais 176 nos meses de abril a julho. A análise do ciclo diário da precipitação evidenciou que os eventos são menos frequentes no período da tarde. A partir do início da noite a frequência aumenta, até atingir o máximo às 6 HL.

Barreto et al. (2008) utilizaram dados de precipitação diária e mensal do período de 1964 a 2007 para estudar a variabilidade da chuva na cidade de Salvador e identificar os eventos extremos através da técnica do percentil. As autoras definiram como evento extremo todo total diário igual ou maior do que o percentil P97 = 50 mm, encontrando

um total de 235 eventos intensos de precipitação, dos quais 128 (55%) ocorreram em abril (49), maio (47) e junho (32), meses do quadrimestre chuvoso da cidade. Vale observar que esses valores são aproximadamente o triplo do número de eventos intensos observados nos outros meses.

Barreto et al. (2012) utilizaram dados de precipitação diária e mensal do período de 1964 a 2009 da cidade de Salvador-BA para diagnosticar características de seu regime pluviométrico em várias escalas de tempo. Também investigaram os eventos extremos de precipitação (total diário igual ou superior a 50 mm) e através de dados de reanálise (pressão reduzida ao nível médio do mar e componentes zonal e meridional do vento no nível de 200 e 850 hPa) identificaram padrões da circulação atmosférica de grande escala relacionados a tais eventos.

Barreto et al. (2014) estudaram a variabilidade da chuva na cidade de Caravelas-BA usando a técnica do percentil (P98=50mm) para identificar eventos extremos de chuva no período de 1961 a 2006. Elas observaram dois picos distintos nas médias mensais de precipitação: o primeiro, de março a abril, e o segundo, de outubro a janeiro. O maior número de eventos intensos foi encontrado no quadrimestre chuvoso (outubro a janeiro). Houve um total de 134 eventos intensos de precipitação, dos quais 66 (49%) ocorreram nos meses de outubro a dezembro.

Santos (2008) analisou os eventos intensos de chuva e seus impactos na cidade de Salvador nos dias 21 de abril e 12 de junho de 2006. Ela observou que no evento intenso do dia 21 de abril, 55 mm de chuva foram registrados entre 5 e 7 horas da manhã, provocando deslizamentos de terra, desabamento de imóveis e alagamentos, e que no dia 12 de junho foram registrados 51 mm de chuva entre a meia noite e as 3 horas da madrugada.

Santos et al. (2016) e Santos (2013) empregaram a técnica do percentil (quantis) para estudar a precipitação da cidade de Salvador considerando classes de precipitação na escala anual, quadrimestral e mensal. Os resultados da análise anual evidenciaram que 1964 (1961) é o ano mais extremo “muito chuvoso” (“muito seco”). O maior número desses eventos está nas décadas de 1960 e 1980. Na análise do quadrimestre mais chuvoso abril, maio, junho e julho (AMJJ), o de 1971 (1980) é o mais extremo “muito chuvoso” (“muito seco”). Os eventos “muito chuvosos” estão concentrados nas décadas de 1970 e 1980.

A discussão dos trabalhos acima mostra a importância da técnica do percentil na identificação de eventos intensos cujo estudo tem potencial de impactos positivos sobre

o planejamento e execução de serviços em diversos ramos de atividade (defesa civil, engenharia civil, engenharia de transportes, etc.).

### **3.3 Sistemas atmosféricos com influência na Bahia**

O território baiano é caracterizado por grande diversidade climática, com destaque para a alta variabilidade pluviométrica decorrente da atuação de diversos sistemas meteorológicos de grande escala e mesoescala: Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), vórtices ciclônicos de altos níveis (VCAN), sistemas frontais (SF) e sistemas convectivos de mesoescala (SCM) (KOUSKY, 1979; MOLION e BERNARDO, 2002; SANTOS, 2008; CAVALCANTI et al., 2009; BARBOSA SILVA et al., 2013; BARBOSA SILVA, 2014). No extremo norte do interior do estado a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) atua eventualmente, enquanto que os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) influenciam a parte norte da área costeira até a Região Metropolitana de Salvador (MOLION e BERNARDO, 2002; CAVALCANTI et al., 2009; SANTOS et al., 2012; BARBOSA SILVA, 2014). A variabilidade da precipitação no Estado da Bahia também envolve a contribuição de circulações atmosféricas geradas por contrastes térmicos em um mesmo nível da atmosfera, as circulações locais, notadamente as brisas marítima/terrestre, os ventos anabático/catabático, e os ventos de vale/montanha. Elas tem impacto direto sobre o ciclo diário da chuva em áreas costeiras e áreas de relevo acidentado, inclusive interagindo com sistemas de escala maior. Além delas há circulações não-convencionais a exemplo das brisas terrestre/lacustre da região do Lago de Sobradinho. A seguir é apresentada uma breve discussão sobre sistemas atmosféricos de grande escala e mesoescala que influenciam a distribuição de chuva no Nordeste do Brasil.

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

A ZCAS é um fenômeno atmosférico de escala sinótica com atuação bem caracterizada nos meses de verão (dezembro a março). A ZCAS é identificada como uma zona de convergência na baixa troposfera e sua principal característica é uma banda persistente de precipitação e nebulosidade configurada na direção noroeste-sudeste, desde o sul da região amazônica até o sudoeste do Atlântico Sul, atuando também no Centro-oeste e Sudeste do Brasil. (QUADRO, 1994; FERREIRA et al., 2004).

Alves et al. (2006) estudaram o volume intenso de precipitação registrado em grande parte da Região Nordeste durante o mês de janeiro de 2004, bem como os mecanismos associados. A precipitação muito acima da média foi associada à interação das seguintes circulações atmosféricas: ZCIT, VCAN, frentes frias no centro-sul da região, e Oscilação de 30-60 dias. Essa interação associou-se ao posicionamento da ZCAS ao norte de sua posição climatológica, o que potencializou a persistência das chuvas no centro-norte da região no mês de janeiro de 2004.

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

Os VCAN são centros de baixa pressão em grande escala formados na alta troposfera (GAN e KOUSKY, 1982). Eles se caracterizam por apresentar temperaturas mais baixas (altas) no centro (periferia), onde há movimento descendente (ascendente) de ar frio e seco (quente e úmido) (VAREJÃO-SILVA, 2001).

Os VCAN são conhecidos como sistemas ambíguos, já que podem inibir drasticamente a formação de nuvens no seu centro, onde há movimento descendente de ar frio e seco, ao mesmo tempo em que podem favorecer a formação de nuvens na sua periferia, onde há movimento ascendente de ar quente e úmido (COSTA, 2009). Essas características dos VCAN podem influenciar consideravelmente a precipitação, inibindo ou favorecendo a chuva em um determinado local, dependendo de sua posição em relação ao mesmo.

Bandeira e Melo (2006) utilizaram dados diários de precipitação, imagens de satélite e análises de linhas de corrente em 200 hPa de dois meses de janeiro contrastantes, 2004 (chuvoso) e 2006 (seco), com o objetivo de avaliar a contribuição de VCAN no regime pluviométrico do Nordeste do Brasil nesses meses. Eles observaram que no ano de 2004 a posição da Alta da Bolívia favoreceu o posicionamento do centro dos VCAN mais para norte, contribuindo para que sua borda convectiva permanecesse sobre o Nordeste do Brasil, o que resultou em chuvas acima da média em toda a região. Por outro lado, o posicionamento da Alta da Bolívia (AB) no ano de 2006, deslocada para oeste, contribuiu para que o centro dos VCAN permanecesse sobre o Nordeste do Brasil, o que resultou em chuvas abaixo da média.

Menezes e Fedorova (2004) analisaram a influência de um VCAN na precipitação registrada em janeiro de 2002 na cidade de Maceió. Eles observaram através de imagens de satélite e dados de reanálise do NCEP/NCAR que a gênese do VCAN ocorreu na presença dos seguintes sistemas: ZCAS, AB, ASAS e Alta subtropical do Atlântico

Norte. Os sistemas que mais contribuíram para o surgimento foram a AB, a ASAS e a ZCAS.

### **3.3.3 Sistemas Frontais (SF)**

Os sistemas frontais (frentes) são estruturas atmosféricas de mesoescala que se deslocam associados a ciclones e anticiclones de escala sinótica que alteram os campos da pressão, da temperatura, do vento e de outras variáveis atmosféricas, ao longo de sua trajetória.

Os sistemas frontais são um importante mecanismo causador de chuvas no leste do Nordeste do Brasil (KOUSKY, 1979; CHAVES, 1999). No inverno os sistemas frontais tendem a provocar chuvas apenas nas áreas litorâneas, enquanto que no verão eles têm papel fundamental na formação da convecção tropical no interior da região, onde está localizada a maior parte do semiárido nordestino (CHAVES, 1999).

Através de um estudo climatológico dos sistemas frontais que passaram por Caravelas-BA no período de 1961 a 1970, Kousky (1979) mostrou que eles penetram no setor sul da Região Nordeste durante todo o ano e causam aumento da precipitação ao longo da área costeira leste nos meses de outono e inverno. O autor também destaca sua importância na formação de sistemas convectivos no trimestre novembro, dezembro e janeiro (NDJ), o que também ocorre ocasionalmente no norte da região. Num estudo sobre eventos intensos de chuva em Salvador, Santos (2008) apontou que a atuação de um sistema frontal austral foi um fator determinante para o evento registrado no dia 21 de abril de 2006.

### **3.3.4 Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM)**

Sob a denominação geral de SCM estão sistemas que causam chuvas intensas tanto no interior quanto no litoral do Nordeste (SOUSA et al., 1998): frentes frias, aglomerados convectivos, linhas de instabilidade, complexos convectivos de mesoescala (CCM), entre outros.

Alves et al. (2001) diagnosticaram o ciclo de vida e as características termodinâmicas de um SCM que atuou na costa leste do Nordeste nos dias 20 e 21 de maio de 1999. Esse sistema causou fortes chuvas no litoral e proximidades nos estados da Paraíba e Pernambuco, ocasionando alguns desastres naturais no período de maior intensidade da chuva. Os autores observaram que a formação do SCM teve influência direta da instabilidade associada à presença de uma frente fria estacionária sobre o



centro-sul do Estado do Bahia, e à presença de uma onda curta que se deslocou de leste para oeste abaixo do equador, atingindo a costa leste do Nordeste, evoluindo para um ciclone fechado no nível de 700 hPa quando da maturação do SCM.

Barbosa e Correia (2004) investigaram a natureza e distribuição dos SCM responsáveis por altos índices pluviométricos e inundações no Submédio do Rio São Francisco em abril de 1985. As autoras observaram que a presença de cisalhamento vertical do vento em ambientes convectivamente instáveis é responsável por sistemas convectivos multicelulares com maior extensão horizontal e maior duração, e que o aquecimento radiativo representa um fator importante no processo de formação e distribuição das células analisadas. Barbosa e Correia destacam que os mecanismos dinâmicos parecem ser responsáveis pela manutenção dos sistemas.

### **3.3.5 Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)**

A ZCIT é um dos mais importantes sistemas atmosféricos que atuam nos trópicos. Ela é parte integrante da circulação geral da atmosfera e está inserida numa região onde ocorre a interação de características marcantes atmosféricas e oceânicas: Zona de Confluência dos Alísios, Zona do Cavado Equatorial, Zona de Máxima Temperatura da Superfície do Mar, Zona de Máxima Convergência de Massa e Zona da Banda de Máxima Cobertura de Nuvens Convectivas.

A marcha anual da ZCIT tem, aproximadamente, o período de um ano, alcançando sua posição mais ao norte (8° N) durante o verão do Hemisfério Norte, e sua posição mais ao sul (1° N) durante o mês de abril (HASTENRATH e HELLER, 1977). Além dessa oscilação anual, a ZCIT apresenta oscilações com frequências maiores, com períodos que variam de semanas a dias.

Vários estudos têm mostrado que, em geral, a ZCIT interage com outros sistemas meteorológicos que atuam sobre o Nordeste durante os meses chuvosos como os cavados e vórtices ciclônicos nos altos níveis, os distúrbios ondulatórios de leste, e as linhas de instabilidade que se formam na área costeira norte do Brasil.

### **3.3.6 Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL)**

Os DOL são sistemas atmosféricos que se propagam para oeste na área dos ventos alísios, apresentando configurações ondulatórias nos campos de vento e pressão (BERRY et al., 1945). Os DOL são de extrema importância por provocarem alterações significativas nas condições sinóticas, principalmente na componente meridional do

vento, tendo como consequência uma umidificação da camada, aumento de nebulosidade e precipitação (COUTINHO e FISH, 2007; PAIVA NETO, 2003). Há casos em que aglomerados convectivos ou linhas de instabilidade se desenvolvem quando um DOL atinge a área costeira da Região Nordeste. Nessas ocasiões o volume e a intensidade da chuva podem ter grande impacto em áreas urbanas devido a inundações, deslizamentos de encostas, etc.

Um evento extremo de chuva registrado na cidade de Salvador no dia 12 de junho de 2006 foi investigado por Santos et al. (2012) que o associaram a um DOL. Um grande número de ocorrências foi atendido pela Coordenadoria de Defesa Civil de Salvador nesse dia. Os autores observaram no campo da componente meridional do vento no nível de 700 hPa e em imagens de satélite meteorológico que áreas de convecção profunda organizada em mesoescala caracterizaram esse evento provocado pelo distúrbio que chegou à costa leste do Nordeste do Brasil, após se propagar para oeste sobre o Atlântico Sul com velocidade de fase estimada de  $10 \text{ m s}^{-1}$ .

A relação entre um DOL e a formação de linhas de instabilidade foi analisada por Ribeiro et al. (2013) com foco nas chuvas intensas registradas em cidades do leste do Estado da Paraíba no período de 15 a 17 de julho de 2011. As autoras detectaram a propagação do distúrbio sobre o Atlântico Sul no campo da componente meridional do vento no nível de 600 hPa. O desenvolvimento da convecção profunda organizada em linha que ocasionou as chuvas fortes foi visualizado em imagens realçadas de satélite meteorológico do período noturno dos dias 15 e 16. Nas duas maiores cidades do estado os totais pluviométricos foram elevados: 80 mm em João Pessoa no dia 16, e 110 mm em Campina Grande no dia 17.

## CAPÍTULO 4

### DADOS E METODOLOGIA

#### 4.1 Área e período de estudo

Esta pesquisa está fundamentada na precipitação registrada por quatro estações automáticas de coleta de dados (PCD) operadas pelo Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA) da Bahia (Figura 4.1). Localizado no sul da Região Nordeste, o Estado da Bahia abrange um território de 567.295 km<sup>2</sup>, aproximadamente, que corresponde a 36,41% da área total do Nordeste. As estações constam do Quadro 4.1 que apresenta o nome de cada estação e da respectiva mesorregião do estado, juntamente com a demografia (total e urbana) de cada município. O quadro evidencia que a população do município de Salvador está concentrada na área urbana. Também é evidente que as áreas totais dos demais são bem maiores, enquanto que o oposto é visto em relação à densidade demográfica, um fator que contribui para o grande número de desastres naturais registrados na capital do estado, cuja população supera 2,5 milhões.

**Figura 4.1** – Localização geográfica de Plataformas Automáticas de Coleta de Dados (PCD's) operadas pelo Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA) no planalto costeiro do Estado da Bahia.



**Quadro 4.1** – Nome das estações e mesorregiões, área e população dos municípios.

(Fonte: IBGE, 2010)

ESTAÇÃO	MESORREGIÃO	MUNICÍPIO		
		População Urbana	População Total	Área Total (km <sup>2</sup> )
Salvador	Metropolitana de Salvador	2.674.923	2.676.606	693,3
Ilhéus	Sul Baiano	155.281	184.231	1.751,0
Eunápolis	Sul Baiano	93.413	100.246	1.179,1
Teixeira de Freitas	Sul Baiano	129.263	138.491	1.163,9

**4.2 Dados**

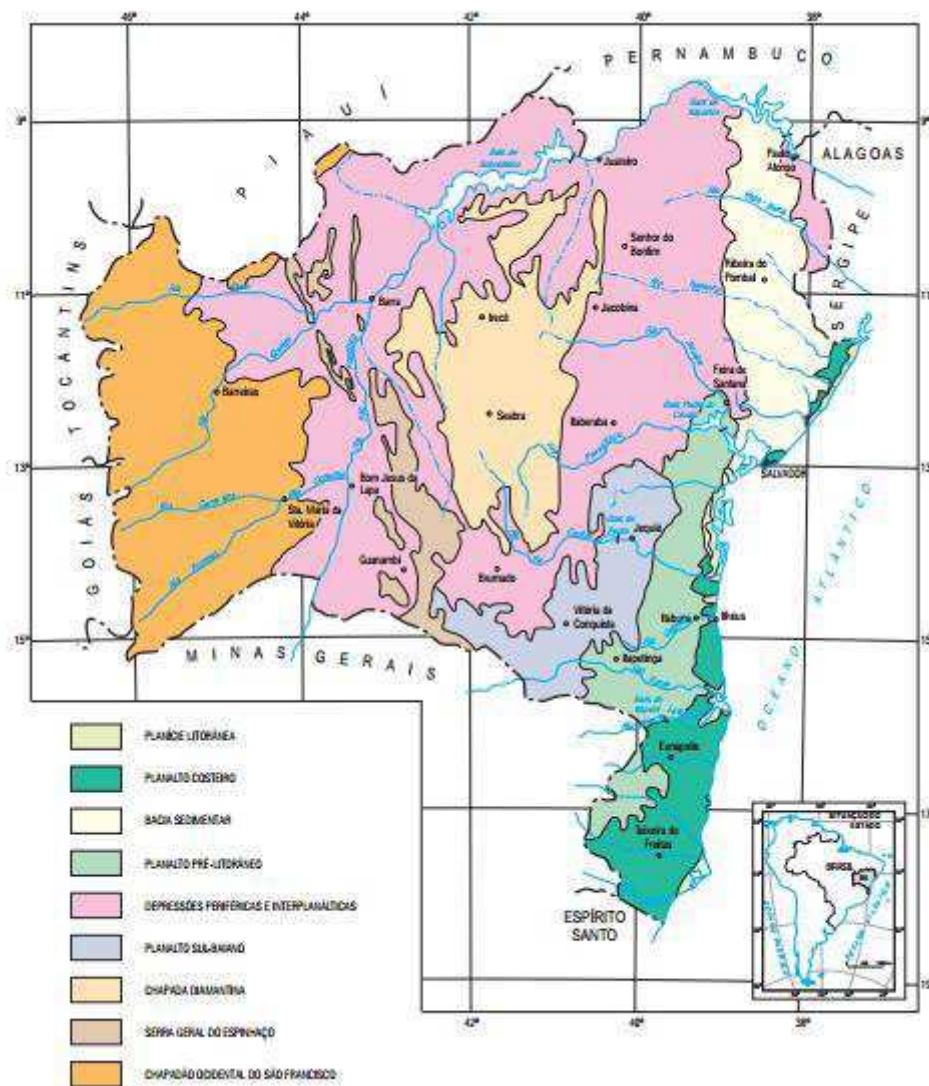
As PCD's, cujas coordenadas geográficas constam do Quadro 4.2, estão situadas no planalto costeiro, representado pelo tom verde escuro na Figura 4.2, onde estão assinaladas as cidades nas quais foram instaladas no final da década de 1990. Elas armazenam, com alta resolução temporal, determinado número de variáveis meteorológicas. No que diz respeito à precipitação, ela é programada para registrar a chuva acumulada a cada 0,25mm precipitados. O intervalo de tempo transcorrido entre registros depende da intensidade da chuva.

Os dados de precipitação utilizados na pesquisa foram obtidos através do processamento dos arquivos originais das PCD's. O período de estudo é de abril de 2000 a fevereiro de 2009, num total de 107 meses, selecionado por coincidir com o período de operação da PCD de Salvador. Entretanto, devido a diversos fatores, há meses com ausência total ou parcial de totais horários de chuva. Esses meses não foram usados e estão assinalados por um traço no Quadro 4.3. Dessa forma, o percentual de meses com dados é de 89,7% para Salvador, 73,8% para Ilhéus, 86,9% para Eunápolis e 96,3% para Teixeira de Freitas. Os dados foram utilizados para identificar variações horárias, diárias, mensais e anuais da chuva através da determinação da frequência de ocorrência e do total precipitado, como também a média e o desvio padrão mensais. Os dados na escala diária foram analisados para identificar eventos de chuva intensa, um dos quais foi analisado para caracterizar a variabilidade da chuva e a circulação atmosférica de grande escala (estudo de caso).

**Quadro 4.2** – Nome e coordenadas geográficas das Plataformas Automáticas de Coleta de Dados (PCD's) localizadas no planalto costeiro do Estado da Bahia.

Localidade	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)
Salvador	12°55'53"	38°21'40"	25
Ilhéus	14°48'00"	39°10'48"	62
Eunápolis	16°17'26"	39°34'47"	179
Teixeira de Freitas	17°31'48"	39°43'12"	195

**Figura 4.2** – Mapa do relevo do Estado da Bahia, com o planalto costeiro representado pela cor verde escuro. A localização das PCD's está indicada no mapa. (Fonte: IBGE)



No contexto do estudo de caso foram utilizados dados em pontos de grade de reanálises dos *National Centers for Environmental Predictions / National Center for Atmospheric Research* (NCEP/NCAR) das seguintes variáveis meteorológicas: componente zonal (u) e meridional (v) do vento (m/s) nos níveis isobáricos de 200, 500 e 850 hPa e pressão reduzida ao nível médio do mar (hPa), com espaçamento de grade de 2,5° x 2,5°, para os horários das 00, 06, 12 e 18 UTC. Também foram usadas imagens dos satélites meteorológicos METEOSAT e GOES-12 disponíveis em intervalos de três horas no canal do infravermelho térmico, na página eletrônica <http://www.sat.dundee.ac.uk/>, e imagens realçadas que possibilitam a fácil visualização de áreas de convecção profunda, organizada ou não, disponibilizadas na página eletrônica <http://www.cptec.inpe.br/> pela Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (DSA) do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC).

#### **4.3 Métodos**

Tendo como objetivo determinar os totais horários de chuva, num total de 24 valores para cada dia, para todo o período de estudo, os arquivos de dados originais foram processados e submetidos a um controle de qualidade segundo a metodologia desenvolvida por Silva Aragão et al. (2008) descrita a seguir.

Na primeira etapa, os dados foram processados através da obtenção do total precipitado em cada um dos 24 intervalos de uma hora que constituem cada dia da série em estudo. O ciclo diário da precipitação foi analisado através da frequência de ocorrência de chuva e do total precipitado, em cada hora, em base mensal e anual, para todo o período. Também foram obtidos totais mensais e suas respectivas médias e desvios padrões.

Na segunda etapa, foi obtido o total precipitado no período de 24 horas compreendido entre as 12 UTC (9 horas, horário local) do dia da observação e as 12 UTC do dia anterior de acordo com a convenção internacional da Organização Meteorológica Mundial (OMM). Esses dados foram usados na obtenção de totais mensais, e também de médias e desvios padrões mensais para o período em estudo.

Na análise da intensidade horária da chuva foram considerados os decis para subsidiar a escolha dos intervalos de classe nos quais os totais foram classificados e contabilizados, para cada intervalo de uma hora. A partir das dez classes encontradas, foram selecionados cinco intervalos para detalhar a intensidade horária da chuva.



Nesta pesquisa cada série de totais diários foi analisada separadamente para identificar eventos intensos de chuva através da técnica do percentil, que se baseia na técnica dos Quantis, cujo espectro de aplicação se ampliou a partir do estudo pioneiro de Pinkayan (1966), que a utilizou para avaliar a ocorrência de anos secos e chuvosos em áreas continentais extensas dos Estados Unidos.

#### 4.3.1 Técnica do Percentil

A técnica dos Quantis requer que a série de dados seja organizada em ordem crescente, após o que ela é dividida em  $n$  partes iguais. Se a série for dividida em três partes, por exemplo, o resultado será de 25%, 50% e 75%. A divisão em 99 partes corresponderá ao percentil, assumindo a probabilidade de 1% para cada ordem. Neste trabalho é considerado o percentil de 0,97 para determinar o índice de precipitação intensa conforme descrito a seguir.

Considere a notação  $P_{[(n)x(p)]+}$ , na qual  $n$  é o total de valores da série,  $p$  o percentil em decimais e  $[(n)x(p)]$  a **posição** daquele valor após os dados terem sido ordenados de **modo crescente**, de forma que  $P_{[(n)x(p)]+}$  é o ponto percentílico do percentil desejado. Se a posição **np** não é um número inteiro, então  $P_{[(n)x(p)]+}$  é o valor da observação que ocupa a posição seguinte, e se **np** é inteiro, então  $P_{[(n)x(p)]+}$  é o valor da média desta e da observação seguinte.

Após a identificação dos eventos intensos de chuva através da técnica do percentil, foi feita uma seleção para a realização de estudo de caso com foco na circulação atmosférica de grande escala e nos sistemas precipitantes em mesoescala. Essa etapa envolveu a análise de imagens de satélites meteorológicos, de campos das variáveis meteorológicas, e da variabilidade da precipitação conforme descrito a seguir.

#### 4.3.2 Estudo de Caso

O evento analisado, escolhido com base na quantidade (e intensidade) da precipitação observada e no número de cidades atingidas (Ilhéus, Eunápolis e Teixeira de Freitas), foi o do dia 15 de outubro de 2006. O diagnóstico da circulação atmosférica foi realizado com base nos campos da pressão ao nível médio do mar, e da intensidade e magnitude do vento nos níveis de 200, 500 e 850 hPa. As imagens de satélites possibilitaram acompanhar visualmente o desenvolvimento dos sistemas meteorológicos e os dados de precipitação possibilitaram analisar a variação diária e horária envolvida.



## CAPÍTULO 5

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 5.1 - Precipitação na Estação Automática de Salvador

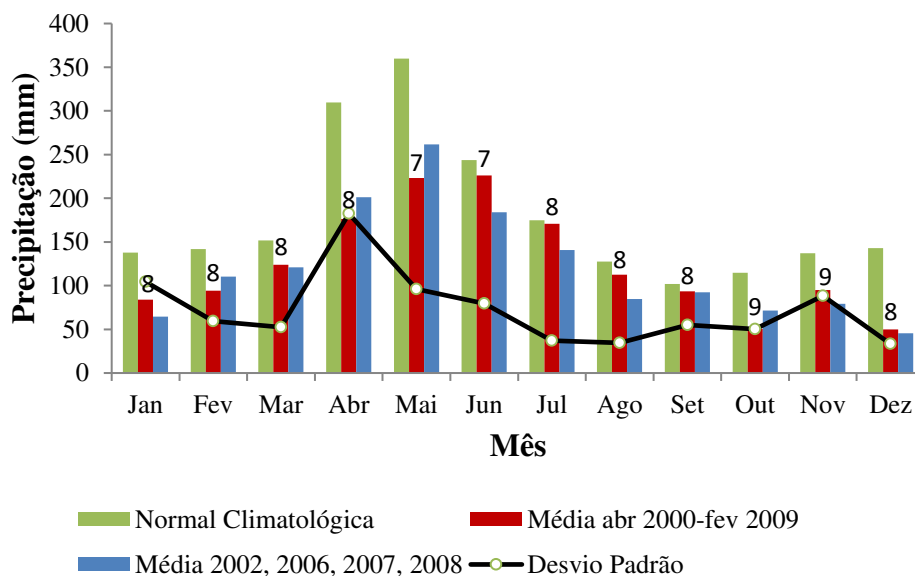
##### 5.1.1 Variabilidade Mensal e Anual

A variabilidade mensal da precipitação em Salvador é ilustrada pelas normais climatológicas (NC) do período 1961-1990 (INMET, 2009), pelas médias mensais e desvios padrões do período de estudo (abril de 2000 a fevereiro de 2009) e pela média do conjunto dos anos com séries horárias completas (2002, 2006, 2007, 2008) (Figura 5.1). No caso do período de estudo é importante observar que o número de meses usados no cálculo das médias e desvios padrões mensais, visto no topo das barras na figura, não é uniforme. Os valores estão entre o máximo de 9, em outubro e novembro, e o mínimo de 7, em maio e junho. Dessa forma, a representatividade das médias e desvios padrões difere, um aspecto importante considerado na discussão a seguir.

A variabilidade mensal das médias ilustradas para os três períodos acima é semelhante, em geral, apesar da dissimilaridade entre os meses com totais mais baixos, a exemplo de dezembro. Nos três casos os máximos mensais são observados no quadrimestre abril-maio-junho-julho (AMJJ). Essa época chuvosa também foi encontrada por Barreto et al. (2008) para os dados do período 1964-2007 da série histórica do INMET. No caso da normal as médias variam entre o máximo de 359,9 mm (maio) e 175,0 mm (julho). O total acumulado desse quadrimestre representa 51% (1088,3 mm) do total anual das chuvas na cidade. Outro aspecto a observar são os valores consideravelmente inferiores à normal nos meses de abril, maio e dezembro. Essa característica é coerente com os resultados de Santos et al., (2016) e Santos (2013) que classificaram abril dos quatro anos como muito seco (MS), muito chuvoso (MC), seco (S) e seco (S), e maio como normal (N), chuvoso (C), seco (S) e seco (S), respectivamente.

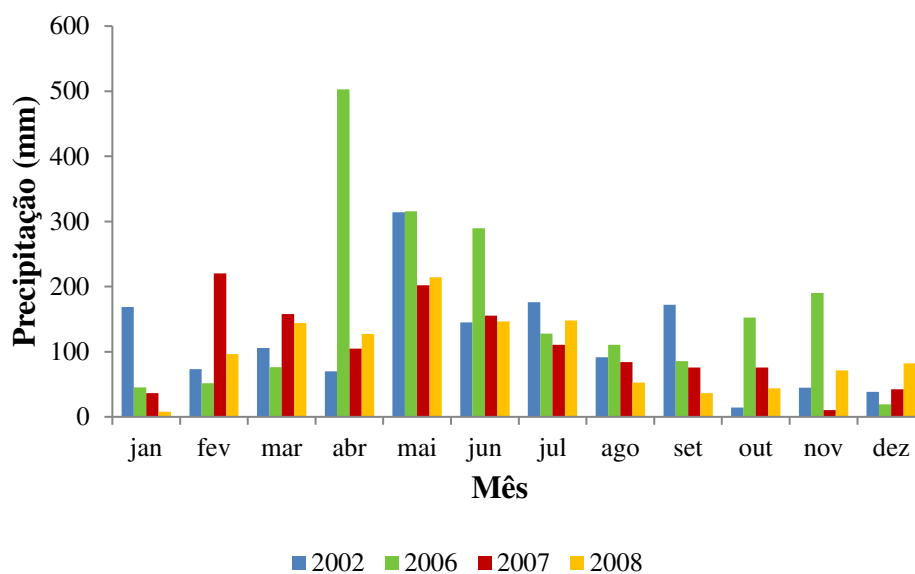
O desvio padrão mostra valores muito próximos da média nos meses de abril, outubro, novembro e dezembro, o que representa uma maior diferença entre os valores mensais da série, indicando a ocorrência de chuvas atípicas nesses meses.

**Figura 5.1** - Distribuição mensal para Salvador da normal climatológica (1961-1990) (verde), da média do período de estudo (vermelha), da média dos quatro anos com séries horárias completas (azul), e do desvio padrão do período de estudo. Os números representam o total de meses usados nos cálculos do período de estudo. (Fonte dos dados: INEMA e INMET).



Uma ilustração da variabilidade dos totais mensais de precipitação para os quatro anos com séries horárias completas é dada na Figura 5.2. A análise da sequência dos quatro meses mais chuvosos de cada ano evidencia que apenas em 2006 ela coincide com três meses do quadrimestre AMJJ. Nos três anos restantes o total de abril foi consideravelmente inferior à normal ilustrada na Figura 5.1. Dessa forma, abril é o mês que mostra maior variabilidade, em valores absolutos, em comparação com a normal do INMET. O ano com total anual mais elevado é 2006 (1966,75 mm), seguido por 2002 (1414,0 mm). Nos anos de 2007 e 2008 os totais anuais são de 1276,0 mm e 1170,75 mm, respectivamente. Segundo Santos et al. (2016) e Santos (2013), esses quatro anos são classificados como: 2002 (Normal), 2006 (Chuvoso), 2007 (Muito Seco) e 2008 (Muito Seco). Na análise por quadrimestre, AMJJ tem a seguinte classificação: 2002 (Seco), 2006 (Muito Chuvoso), 2007 (Muito Seco) e 2008 (Muito Seco).

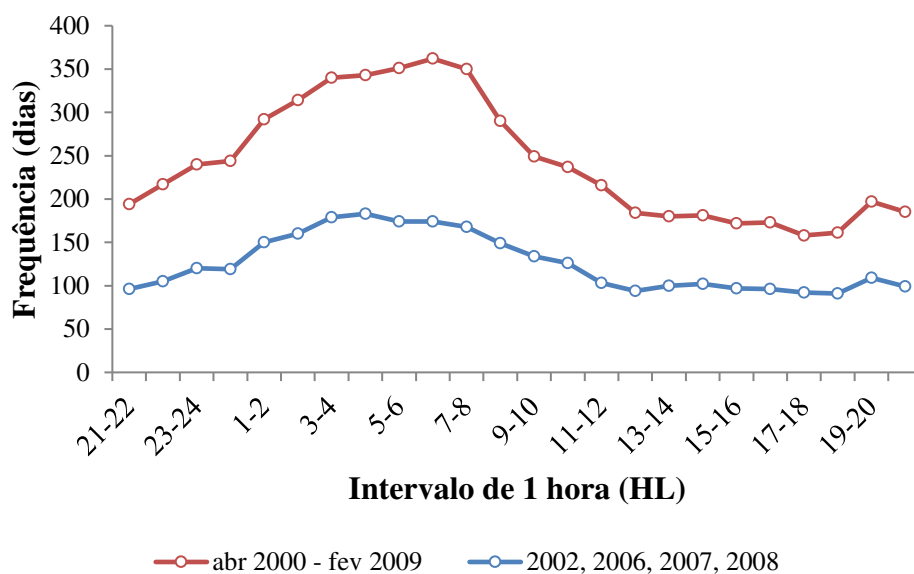
**Figura 5.2** – Série temporal dos totais mensais de precipitação de Salvador nos anos com séries horárias completas. (Fonte dos dados: INEMA).



### 5.1.2 Ciclo Diário e sua Variabilidade

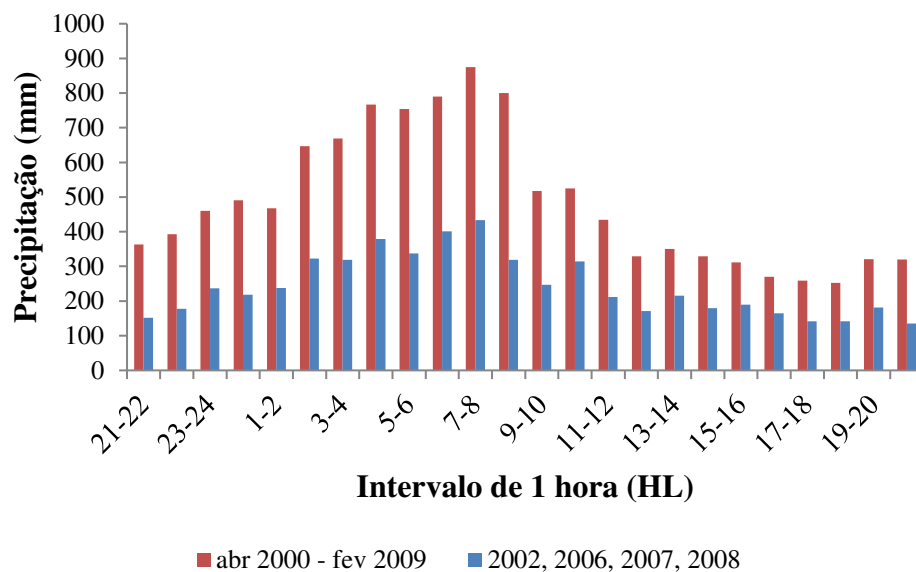
A existência de um ciclo diário na precipitação no período de estudo (abril de 2000-fevereiro de 2009) e no conjunto dos quatro anos com séries horárias completas (2002, 2006, 2007, 2008) é investigada através da frequência horária da chuva ilustrada na Figura 5.3. No período de estudo a frequência é mínima no período da tarde, entre 16-17 e 18-19 HL. Na sequência a frequência aumenta até atingir um máximo às 6-7 HL. Silva Aragão et al. (2008) também encontraram frequências elevadas de madrugada e no início da manhã e frequências mínimas no período da tarde ao analisar esse mesmo conjunto de dados, porém limitado pelo mês de junho de 2008. A curva para o conjunto dos quatro anos também evidencia um ciclo, porém com amplitude consideravelmente menor, ou seja, a frequência da chuva tem variação menor, dificultando a identificação de horários preferenciais para a ocorrência da chuva.

**Figura 5.3** – Série temporal da frequência horária da chuva (número de dias) de Salvador no período de estudo (abril de 2000-fevereiro de 2009) e no conjunto dos quatro anos com séries horárias completas. Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).

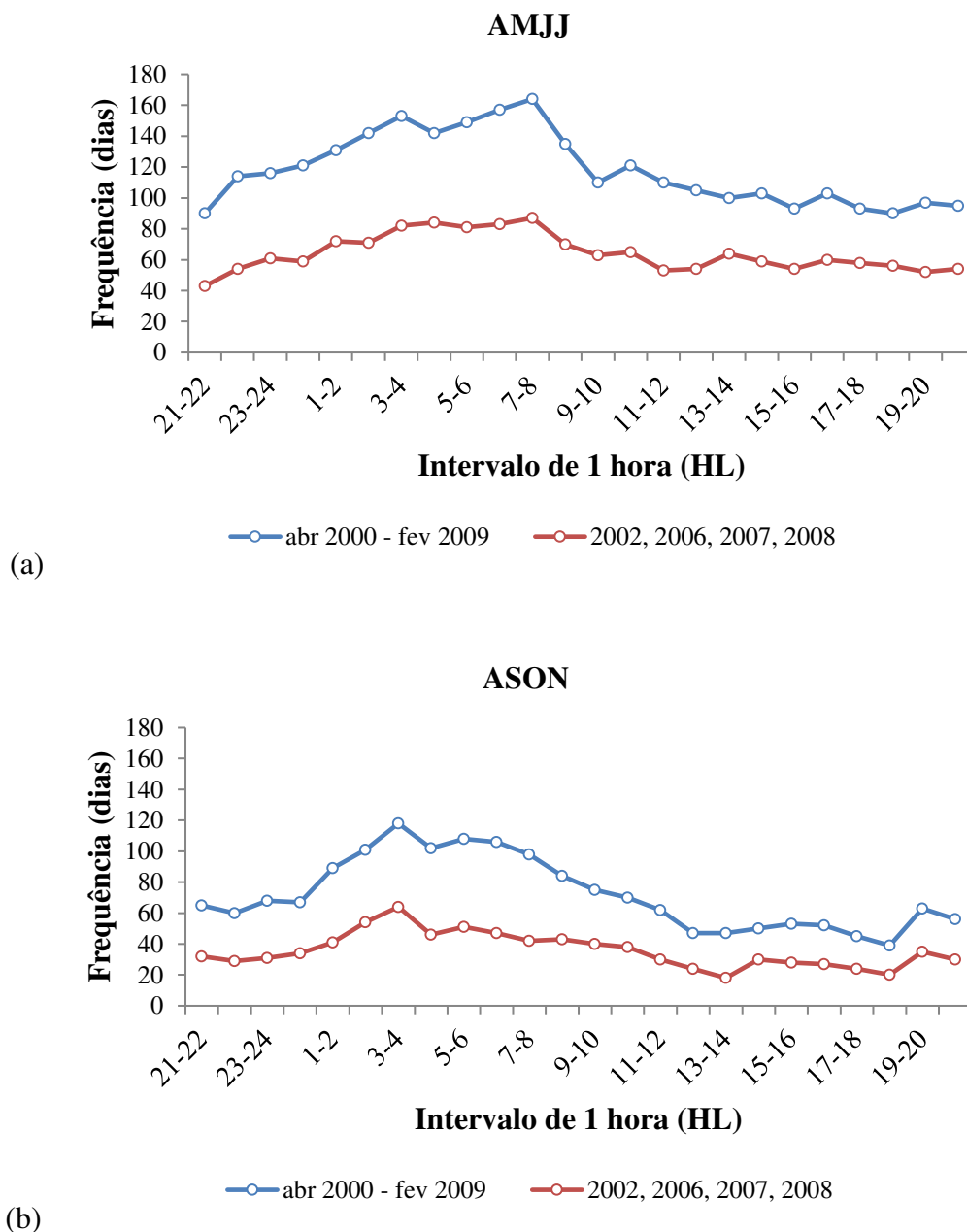


Uma ilustração da variabilidade dos totais horários da precipitação no período de estudo (abril de 2000-fevereiro de 2009) e no conjunto dos quatro anos com séries horárias completas (2002, 2006, 2007, 2008) é dada na Figura 5.4. Os máximos horários são vistos no intervalo 7-8 HL. Na madrugada e início da manhã, entre 2-3 e 8-9 HL, os volumes horários são bem maiores do que no restante do dia. Os valores mais baixos podem ser vistos no final da tarde e início da noite, entre 16-17 HL e 18-19 HL.

**Figura 5.4** – Série temporal dos totais horários de precipitação de Salvador no período de estudo (abril de 2000-fevereiro de 2009) e no conjunto dos quatro anos com séries horárias completas. Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).



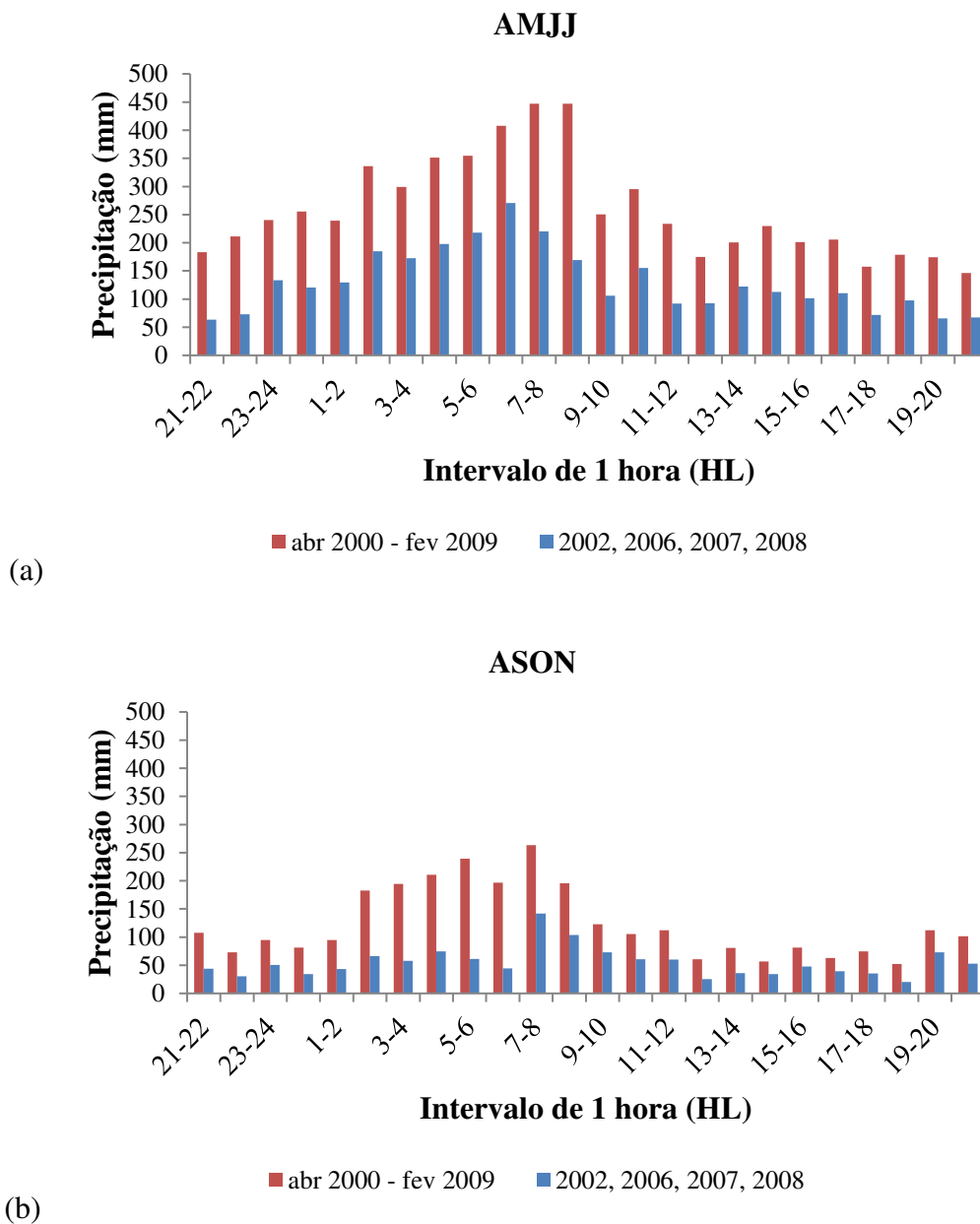
**Figura 5.5** – Série temporal da frequência horária da chuva (número de dias) de Salvador, no período de estudo (abril de 2000-fevereiro de 2009) e no conjunto dos quatro anos com séries horárias completas, para o quadrimestre: (a) abril-maio-junho-julho (AMJJ), e (b) agosto-setembro-outubro-novembro (ASON). Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).



A Figura 5.6 ilustra a variabilidade dos totais horários de precipitação no quadrimestre chuvoso (AMJJ) (Fig. 5.6a) e no quadrimestre menos chuvoso (ASON) (Fig. 5.6b) do período de estudo (abril de 2000-fevereiro de 2009) e no conjunto dos quatro anos com séries horárias completas (2002, 2006, 2007, 2008). O comportamento para os dois quadrimestres são parecidos; os valores mais elevados são vistos no início

da manhã, nos intervalos 7-8 e 8-9 HL, e os mínimos no início-meio da noite, entre 18-19 e 21-22 HL. Os totais horários apresentam um padrão de ciclo diário semelhante ao da Figura 5.5.

**Figura 5.6** – Série temporal dos totais horários de precipitação de Salvador nos quadrimestres: (a) abril-maio-junho-julho (AMJJ) (b) agosto-setembro-outubro-novembro (ASON) do período de estudo (azul) e no conjunto dos quatro anos com séries horárias completas (vermelho). Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).

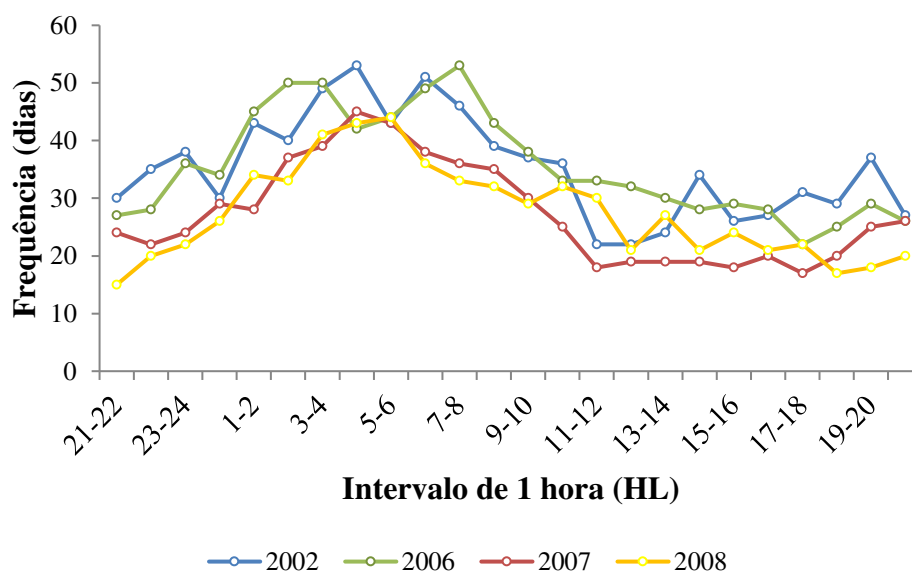


A variabilidade da frequência horária da precipitação ilustrada pelas Figuras 5.3 e 5.5 indica a importância de circulações locais (vento local) e sua interação com a

circulação de grande escala (vento sinótico) no ciclo diário da chuva. Segundo Silva Aragão et al. (2008), no período noturno e início da manhã, a oposição entre a brisa terrestre e os ventos alísios cria uma zona de convergência cuja intensidade é máxima em torno do nascer do Sol, quando o contraste de temperatura entre a terra e a água é máximo. Após esse horário, o aquecimento da superfície continental pela radiação solar provoca o enfraquecimento gradual da brisa terrestre e, como consequência, o enfraquecimento e a eventual dissipação da zona de convergência.

A Figura 5.7 ilustra o ciclo diário para os quatro anos com séries horárias completas (2002, 2006, 2007, 2008). As frequências horárias anuais variam pouco entre os anos. A frequência é mínima no período da tarde, das 11-12 HL às 17-18 HL, e máxima durante a madrugada e início da manhã, entre 23-24 HL e 8-9 HL.

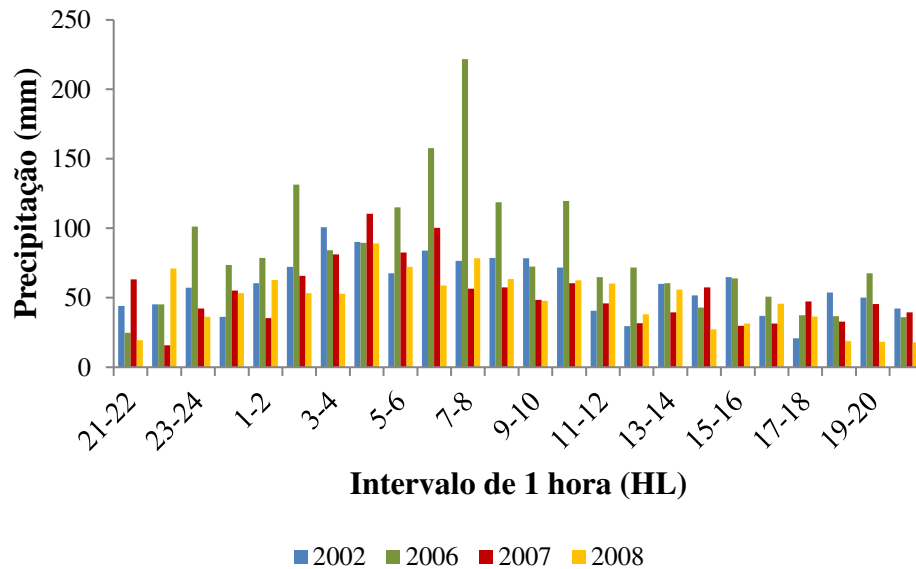
**Figura 5.7** – Série temporal da frequência horária da chuva (número de dias) de Salvador nos quatro anos com séries horárias completas. Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).



Os totais horários de precipitação para os quatro anos com séries horárias completas (2002, 2006, 2007, 2008) são ilustrados na Figura 5.8. O ano de 2006 se destaca em quase todos os horários, seu total anual é o maior dentre os anos. Como mostrado nas Figuras 5.4 e 5.6, os maiores volumes de precipitação podem ser vistos na madrugada e período da manhã, entre 2-3 HL e 10-11 HL, e o mínimo no período da tarde, entre 12-13 HL e 18-19 HL.

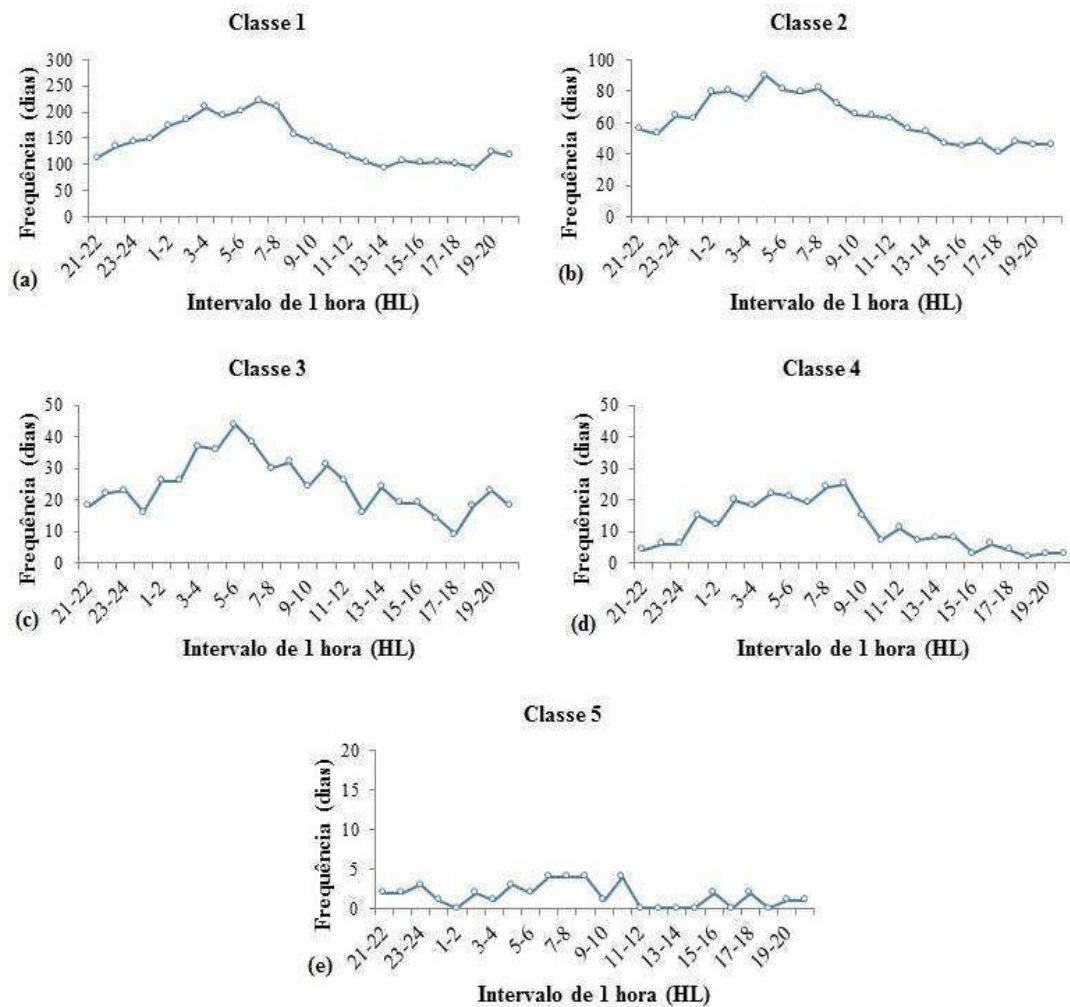


**Figura 5.8** – Série temporal dos totais horários de precipitação de Salvador nos quatro anos com séries horárias completas. Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).



O ciclo diário por intervalos de classe de precipitação é ilustrado na Figura 5.9. A técnica dos decis foi usada para identificar as classes. Cada classe abrange o intervalo de dois decis, de forma que foram consideradas 5 classes. A classe 1 tem frequências mais altas, com máximos no final da madrugada e início da manhã, de 3-4 às 7-8 HL (Fig. 5.9a). Apesar das frequências muito menores da classe 3, seu horário de máximo, 5-6 HL (Fig.5.9c), é semelhante ao da classe 2, 4-5 HL (Fig.5.9b). Na classe 4 o horário de máximo difere: 8-9 HL (Fig.5.9d). Na classe 5, cujas frequências são muito menores, o máximo pode ser visto entre 6-7 HL e 8-9 HL. Considerados em conjunto, os horários de máximo das classes indicam que as chuvas ocorrem preferencialmente na madrugada e início da manhã, entre 4-5 HL e 8-9 HL. Esse resultado indica que a circulação da brisa terrestre tem papel importante na formação e desenvolvimento de sistemas de nuvens com chuva associada.

**Figura 5.9** – Frequência horária da chuva (dias) de Salvador no período de abril de 2000-fevereiro de 2009 para o intervalo de classe de precipitação: (a) 1 ( $0,25\text{mm} \leq \text{chuva} < 1,5 \text{ mm}$ ), (b) 2 ( $1,5 \text{ mm} \leq \text{chuva} < 3,5 \text{ mm}$ ), (c) 3 ( $3,5 \text{ mm} \leq \text{chuva} < 7,5 \text{ mm}$ ), (d) 4 ( $7,5 \text{ mm} \leq \text{chuva} < 21,5\text{mm}$ ), (e) 5 ( $21,5 \text{ mm} \leq \text{chuva}$ ). Observe que HL é a hora local e que a escala do eixo das ordenadas difere entre os gráficos. (Fonte dos dados: INEMA).



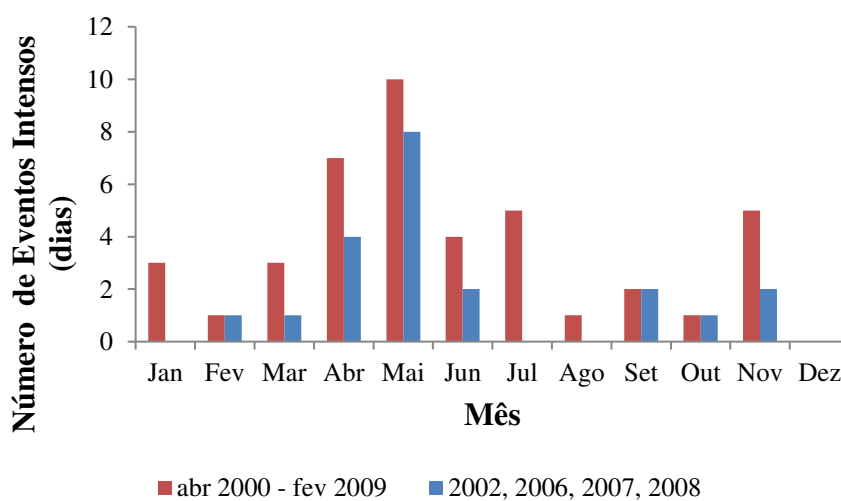
### 5.1.3 Eventos Intensos

A variação mensal do número de eventos intensos de precipitação que ocorreram no período de estudo (abril de 2000-fevereiro de 2009) e no conjunto dos quatro anos com séries horárias completas (2002, 2006, 2007, 2008) é ilustrada na Figura 5.10. Os eventos foram selecionados considerando como limiar inferior o valor de 46,6 mm, o percentil 97 da série dos totais diários do período de estudo.

No período de estudo foram identificados 42 eventos, dos quais 26 (62%) no quadrimestre chuvoso (Tabela 5.1). Nos quatro anos com séries horárias completas houve 21 eventos, sendo 14 no quadrimestre chuvoso. A figura evidencia que o número de casos é maior no quadrimestre chuvoso, particularmente nos meses de abril e maio, com um total de 7 e 10 eventos, respectivamente. O mês de novembro também se destaca por apresentar número relativamente elevado de eventos (5).

Resultados semelhantes destacando a importância do quadrimestre chuvoso também foram encontrados por Barreto et al. (2008) que estudaram os eventos intensos da cidade de Salvador no período de 1964-2007 usando dados da estação climatológica principal do INMET. Eles identificaram 235 eventos de chuva intensa tendo por base a técnica do percentil, definindo como evento de precipitação intensa todo aquele cujo total diário fosse igual ou maior do que 50 mm, o percentil 97 da série de dados.

**Figura 5.10** - Frequência mensal (número de dias) de eventos intensos de precipitação de Salvador no período de estudo (abril de 2000-fevereiro de 2009) e no conjunto dos anos com séries horárias completas. O valor do percentil 97 do período de estudo (46,6 mm) foi o limiar inferior na seleção dos eventos intensos.



Um detalhamento de características dos eventos intensos é encontrado na Tabela 5.1. O ano de 2006 se destacou pelo número mais elevado de eventos intensos (11), um resultado coerente com o fato de que esse ano foi o de maior volume de precipitação da série estudada. No quadrimestre AMJJ foram registrados 8 dos 11 eventos: 4 em abril, 2 em maio e 2 em junho. Barreto et al. (2008) encontraram 5 eventos em abril. Santos (2008) destaca que 44% das solicitações de auxílio registradas pela Defesa Civil de Salvador no ano de 2006 ocorreram no quadrimestre AMJJ, sendo a maior parte relacionada com deslizamentos de terra, desabamento de imóveis e alagamentos. Ela assinala ainda que abril foi o mês mais chuvoso daquele ano e que o destaque entre as chuvas intensas foi o dia 21, visto na Tabela 5.1 com total diário de 117,25 mm. Santos (2008) e Santos et al. (2012) também analisaram o evento do dia 12 de junho, o terceiro maior total diário de 2006 (89,00 mm).

O maior total diário do período de estudo ocorreu em maio de 2005 (119,25 mm), seguido por abril de 2006 (117,25 mm). Analisando os totais horários, os mais elevados são, em ordem decrescente: janeiro de 2004 (47,50 mm), novembro de 2006 (44,25 mm), e julho de 2000 (42,5 mm).

**Tabela 5.1-** Características dos eventos intensos de precipitação identificados nos totais diários de Salvador para os meses disponíveis no período de abril de 2000 - fevereiro de 2009. O percentil 97 (46,6 mm) foi usado como critério de seleção dos eventos. O negrito destaca os eventos dos anos com séries horárias completas.

DATA DO EVENTO			TOTAL DIÁRIO (mm)	MÁXIMO HORÁRIO DO EVENTO		
ANO	MÊS	DIA		DIA	INTERVALO DE 1 HORA (hora local)	TOTAL (mm)
2000	06	12	47,75	12	4-5	12,25
2000	07	18	78,25	18	8-9	42,5
2000	07	19	60,0	19	8-9	14,0
2000	08	07	51,5	07	4-5	18,75
2001	03	17	51,25	17	8-9	31,25
2001	05	03	57,5	02	16-17	17,75
<b>2002</b>	<b>02</b>	<b>10</b>	<b>53,0</b>	<b>10</b>	<b>3-4</b>	<b>19,25</b>
<b>2002</b>	<b>05</b>	<b>06</b>	<b>72,5</b>	<b>06</b>	<b>6-7</b>	<b>15,5</b>
<b>2002</b>	<b>05</b>	<b>07</b>	<b>55,25</b>	<b>06</b>	<b>9-10</b>	<b>15,25</b>
<b>2002</b>	<b>05</b>	<b>26</b>	<b>47,5</b>	<b>25</b>	<b>9-10</b>	<b>7,25</b>
<b>2002</b>	<b>09</b>	<b>27</b>	<b>59,0</b>	<b>26</b>	<b>9-10</b>	<b>16</b>
<b>2002</b>	<b>09</b>	<b>28</b>	<b>48,75</b>	<b>28</b>	<b>8-9</b>	<b>15,25</b>
2004	01	15	53,0	14	9-10	16,75
2004	01	16	70,25	15	20-21	47,5
2004	01	19	53,0	18	9-10	22,5
2004	06	08	101,0	08	0-1	19,75
2004	07	24	50,0	23	23-24	24,75
2004	11	23	106,25	23	5-6	40,5
2004	11	24	90,0	24	5-6	22,0
2005	03	30	77,5	30	6-7	32,25
2005	04	02	80,5	02	4-5	23,75
2005	04	03	94,0	03	2-3	15,75
2005	04	28	59,25	28	2-3	18,75
2005	05	02	119,25	01	21-22	29,75
2005	07	09	47,75	08	9-10	18,25
2005	07	20	48,5	20	5-6	11,5
2005	11	15	114,25	15	3-4	38,75
<b>2006</b>	<b>04</b>	<b>19</b>	<b>49,00</b>	<b>18</b>	<b>12-13</b>	<b>17,0</b>
<b>2006</b>	<b>04</b>	<b>21</b>	<b>117,25</b>	<b>21</b>	<b>6-7</b>	<b>35,5</b>
<b>2006</b>	<b>04</b>	<b>22</b>	<b>89,25</b>	<b>22</b>	<b>8-9</b>	<b>29,75</b>
<b>2006</b>	<b>04</b>	<b>25</b>	<b>73,00</b>	<b>25</b>	<b>2-3</b>	<b>21,5</b>
<b>2006</b>	<b>05</b>	<b>07</b>	<b>57,25</b>	<b>06</b>	<b>23-24</b>	<b>32,0</b>
<b>2006</b>	<b>05</b>	<b>15</b>	<b>66,0</b>	<b>14</b>	<b>15-16</b>	<b>22,25</b>
<b>2006</b>	<b>06</b>	<b>12</b>	<b>89,0</b>	<b>12</b>	<b>6-7</b>	<b>23,5</b>
<b>2006</b>	<b>06</b>	<b>24</b>	<b>50,0</b>	<b>23</b>	<b>23-24</b>	<b>11,0</b>
<b>2006</b>	<b>10</b>	<b>21</b>	<b>69,0</b>	<b>21</b>	<b>7-8</b>	<b>42,0</b>
<b>2006</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>50,0</b>	<b>11</b>	<b>19-20</b>	<b>21,5</b>
<b>2006</b>	<b>11</b>	<b>13</b>	<b>87,5</b>	<b>13</b>	<b>7-8</b>	<b>44,25</b>
<b>2007</b>	<b>05</b>	<b>02</b>	<b>67,5</b>	<b>02</b>	<b>4-5</b>	<b>38,25</b>
<b>2008</b>	<b>03</b>	<b>31</b>	<b>49,25</b>	<b>31</b>	<b>0-1</b>	<b>14,0</b>
<b>2008</b>	<b>05</b>	<b>08</b>	<b>52,25</b>	<b>08</b>	<b>8-9</b>	<b>18,5</b>
<b>2008</b>	<b>05</b>	<b>09</b>	<b>50,75</b>	<b>08</b>	<b>10-11</b>	<b>23,0</b>

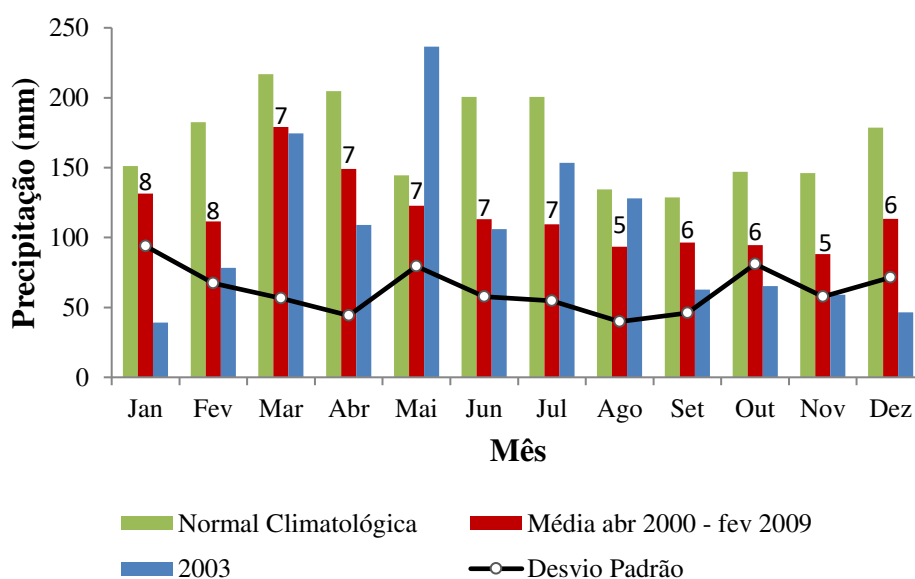
## 5.2 Precipitação na Estação Automática de Ilhéus

### 5.2.1 Variabilidade Mensal e Anual

A variabilidade mensal da precipitação em Ilhéus é ilustrada pelas normais climatológicas (NC) do período 1961-1990, pelas médias mensais e desvios padrões do período de estudo (abril de 2000 - fevereiro de 2009) e pela média do ano com série horária completa (2003) (Figura 5.11). No caso do período de estudo é importante observar que o número de meses usados no cálculo das médias e desvios padrões mensais, visto no topo das barras na figura, não é uniforme. Os valores estão entre o máximo de 8, em janeiro e fevereiro, e o mínimo de 5, em agosto e novembro. Comparando a média de precipitação dos anos em estudo com a normal climatológica (NC), verifica-se que as normais são mais elevadas em todos os meses.

O gráfico evidencia que chove o ano todo. Nota-se que os menores valores de desvio padrão do período em estudo ocorreram nos meses menos chuvosos, constituídos pelos meses de agosto e setembro. Isto significa que houve menos variação nos volumes de precipitação nos meses em que esta variável se apresenta em menor quantidade.

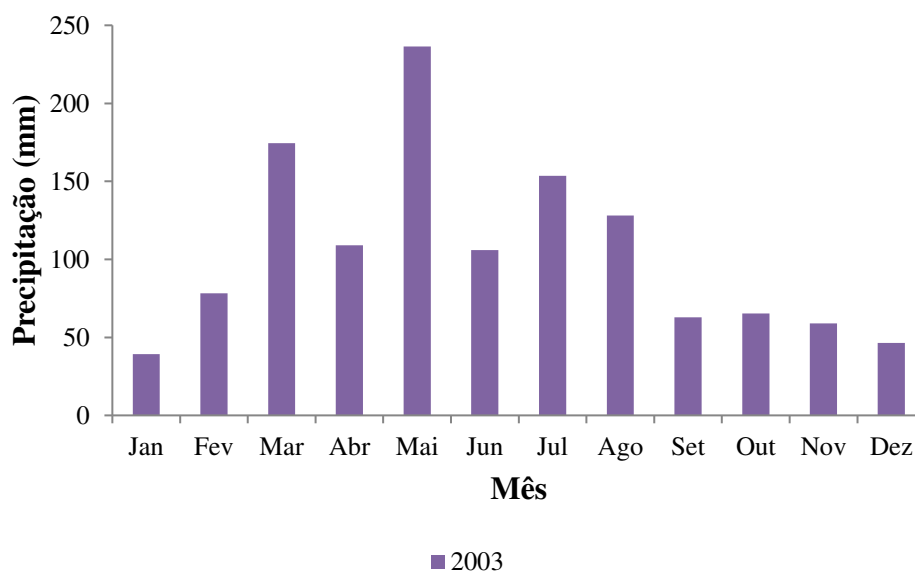
**Figura 5.11** - Distribuição mensal para Ilhéus da normal climatológica (1961-1990) (verde), da média do período de estudo (vermelha), dos totais do ano com série horária completa (azul), e do desvio padrão do período de estudo. Os números representam o total de meses usados nos cálculos do período de estudo. (Fonte dos dados: INEMA e INMET).



Os meses de março e abril se destacam como os mais chuvosos, com um volume de precipitação de 178,96 mm e 149,0 mm no período de estudo, respectivamente. Já os meses de agosto e setembro, os mais secos do ano, tem precipitação de 93,46 mm e 96,39 mm, respectivamente, o que implica em uma diferença de 85,5 mm entre o mês mais chuvoso e o mais mês mais seco.

A Figura 5.12 ilustra a variabilidade dos totais mensais de precipitação para o ano com série horária completa. No ano de 2003 o mês de maio se destacou com o maior total mensal do ano (236,5 mm), quase o dobro da média esperada segundo os dados da normal climatológica (144,5 mm). O mês menos chuvoso foi janeiro (39,25 mm), seguido por dezembro (46,5 mm).

**Figura 5.12** – Série temporal do total mensal de precipitação de Ilhéus no ano com série horária completa. (Fonte dos dados: INEMA).

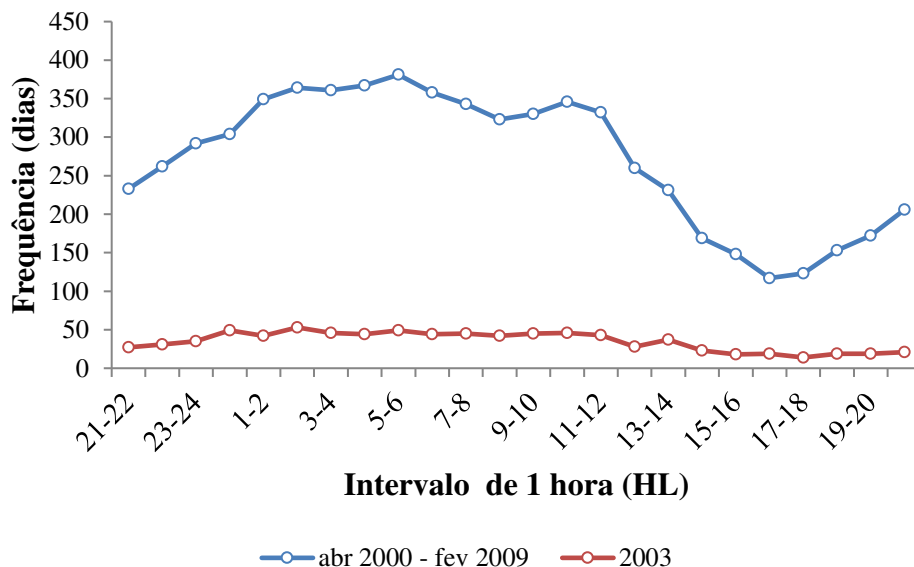


### 5.2.2 Ciclo Diário e sua Variabilidade

A Figura 5.13 ilustra o ciclo diário de precipitação de todo o período de estudo e do ano com série horária completa (2003). A frequência decresce no período da tarde, a partir das 11-12 HL, e é mínima no final da tarde, às 16-17 HL. Após esse último horário a frequência aumenta até atingir o máximo às 5-6 HL. É possível distinguir ainda um mínimo e um máximo secundários, às 8-9 HL e 10-11 HL, respectivamente. De maneira geral, essas variações também são vistas no ano de 2003, conforme fica melhor evidenciado posteriormente no texto. A variabilidade horária detectada em

Ilhéus e sua relação com circulações locais são, em linhas gerais, semelhantes àquela diagnosticada para Salvador, particularmente no que diz respeito aos máximos matutinos e mínimos vespertinos.

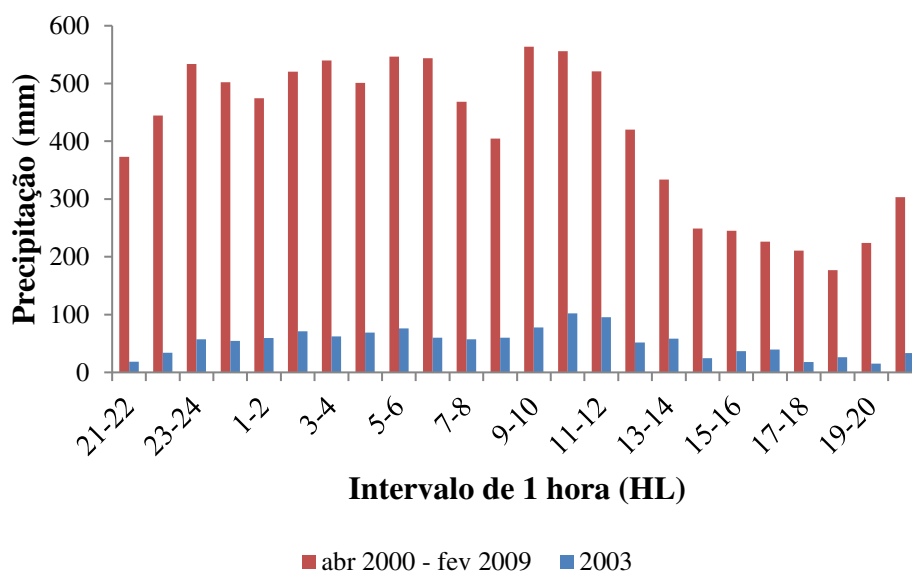
**Figura 5.13**– Série temporal da frequência horária da chuva (número de dias) de Ilhéus no período de estudo (abril de 2000-fevereiro de 2009) e no ano com série horária completa. Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).



A Figura 5.14 ilustra a variabilidade dos totais horários da precipitação no período de estudo (abril de 2000-fevereiro de 2009) e no ano com série horária completa (2003). De maneira geral, o período com totais de chuva maiores (menores) coincide com o período de frequências mais altas (mais baixas) visto na Figura 5.13. É evidente que nos horários noturnos (com exceção do início da noite) e nos horários matutinos, entre 22-23 HL e 11-12 HL, os volumes são bem maiores em comparação com o restante do dia. Os valores mais baixos podem ser vistos no final da tarde e início da noite, entre 16-17 HL e 19-20 HL.

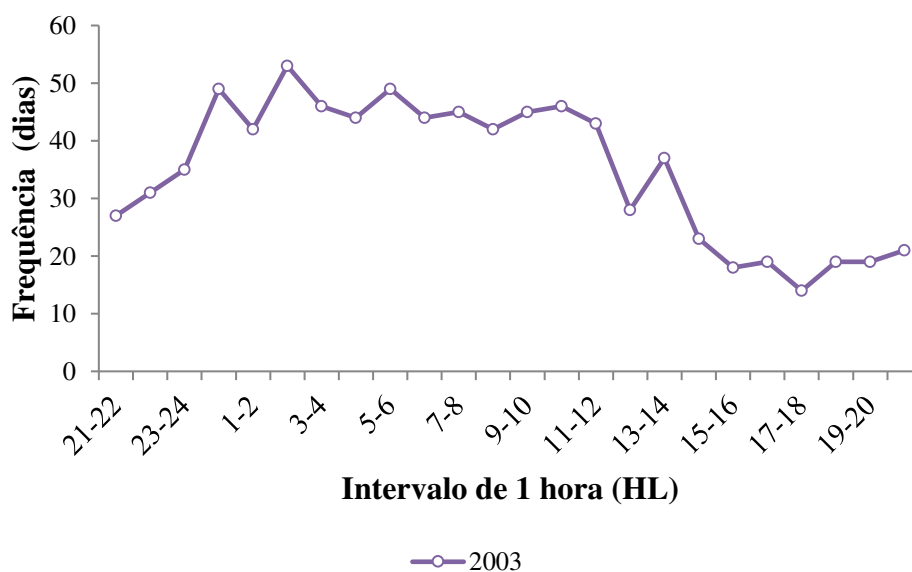


**Figura 5.14** – Série temporal dos totais horários de precipitação de Ilhéus no período de estudo (abril de 2000-fevereiro de 2009) e no ano com série horária completa. Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).



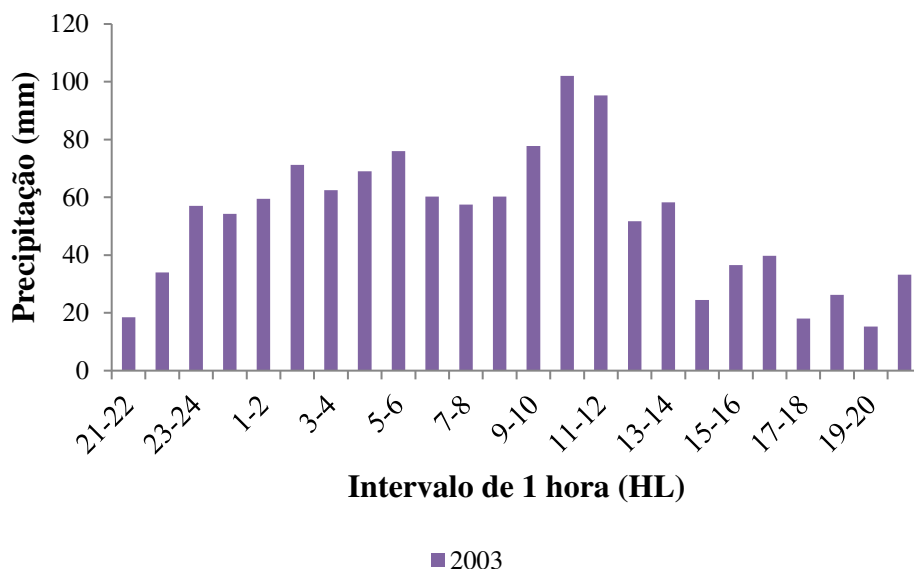
O ciclo diário para o ano com série horária completa (2003) é ilustrado na Figura 5.15. Semelhantemente ao que foi visto para o período de estudo, as frequências são mais baixas no período da tarde-início da noite, com mínimo às 17-18 HL, e mais altas durante a madrugada e manhã, com máximo às 2-3 HL.

**Figura 5.15** – Série temporal da frequência horária da chuva (número de dias) de Ilhéus para o ano com série horária completa. Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).



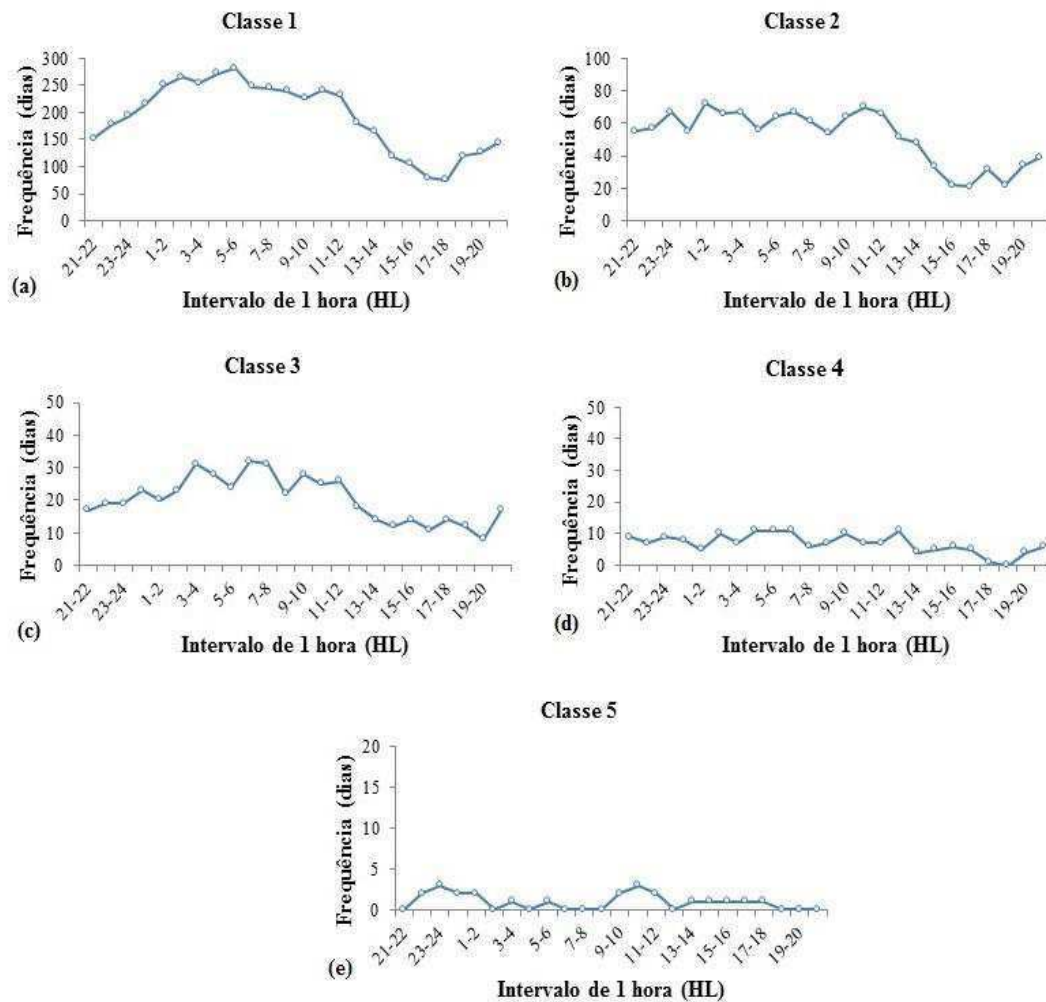
Os totais horários do ano com série horária completa (2003) são ilustrados na Figura 5.16. De maneira geral, os maiores (menores) volumes de precipitação coincidem com os períodos de frequências mais altas (mais baixas) ilustrados na Figura 5.15. Os volumes máximos, às 10-11 HL e 11-12 HL, se destacam na figura.

**Figura 5.16** – Série temporal dos totais horários de precipitação de Ilhéus para o ano com série horária completa. Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).



A Figura 5.17 ilustra o ciclo diário de precipitação por intervalos de classe da frequência de chuva. A classe 1 tem os valores mais altos, com máximos na madrugada e na manhã, entre 1-2 HL e 10-11 HL (Fig. 5.17a). Na classe 2 os valores são consideravelmente menores, e o período de máximo é mais prolongado, se estendendo por grande parte da noite e na manhã, entre 21-22 HL e 11-12 HL (Fig.5.17b). Na classe 3, cujos valores são aproximadamente a metade dos da classe 2, o período de máximo é semelhante ao da classe 1, entre 3-4 HL e 11-12 HL (Fig. 5.17c). Na classe 4 os valores mais altos ocorrem num período semelhante ao da classe 2, entre 21-22 HL e 12-13 HL (Fig.5.17d). Na classe 5 os valores maiores estão à noite, entre 22-23 HL e 1-2 HL, e de manhã, entre 9-10 HL e 11-12 HL (Fig. 5.17e). Considerados em conjunto, os horários de máximo das classes indicam que em Ilhéus as chuvas são mais frequentes no período da madrugada e da manhã.

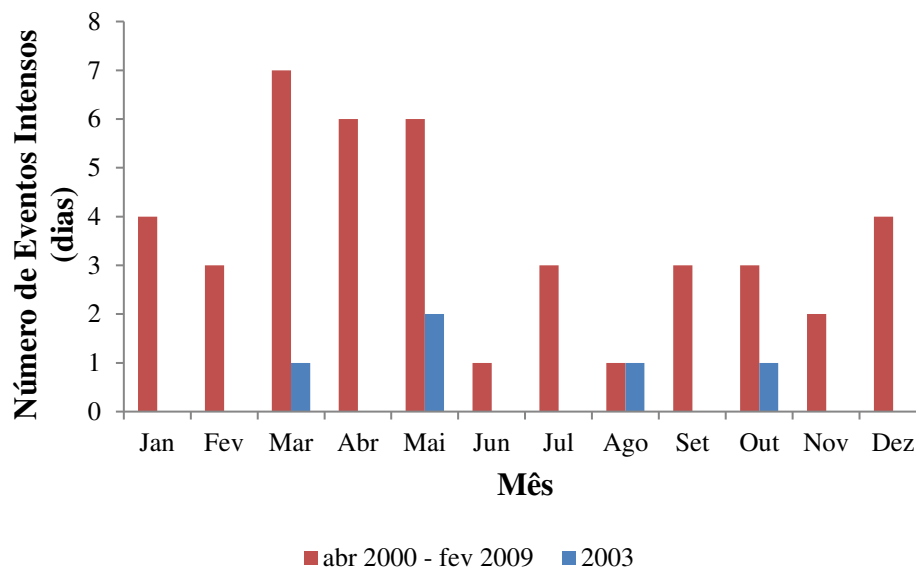
**Figura 5.17** – Frequência horária da chuva (dias) de Ilhéus no período de abril de 2000- fevereiro de 2009 para o intervalo de classe de precipitação: (a) 1 ( $0,25\text{mm} \leq \text{chuva} < 1,5$  mm), (b) 2 ( $1,5 \text{ mm} \leq \text{chuva} < 3,75$  mm), (c) 3 ( $3,75 \text{ mm} \leq \text{chuva} < 7,5$  mm), (d) 4 ( $7,5 \text{ mm} \leq \text{chuva} < 17,25\text{mm}$ ), (e) 5 ( $17,25 \text{ mm} \leq \text{chuva}$ ). Observe que HL é a hora local e que a escala do eixo das ordenadas difere entre os gráficos. (Fonte dos dados: INEMA).



### 5.2.3 Eventos Intensos

A partir dos dados de frequência do número de dias com chuva, foi construída uma nova série com dados diários de precipitação dos dias efetivamente com chuva. A esses dados foi aplicada a técnica do percentil (97), que permitiu identificar um total de 43 eventos intensos de precipitação (total diário igual ou maior do que 34,75 mm). A Figura 5.18 mostra o número de eventos intensos de chuva no período de estudo (abril de 2000-fevereiro de 2009) e no ano com série horária completa (2003). O trimestre de março a maio se destaca por apresentar maior número de casos (7, 6 e 6, respectivamente), enquanto que os meses de junho e agosto tem somente um caso.

**Figura 5.18**-Frequência mensal (número de dias) de eventos intensos de precipitação de Ilhéus no período de estudo (abril de 2000-fevereiro de 2009) e no ano com série horária completa. O valor do percentil 97 do período de estudo (34,75 mm) foi o limiar inferior na seleção dos eventos intensos.



A Tabela 5.2 mostra um detalhamento das características dos eventos intensos. O ano de 2002 se destacou pelo número mais elevado de eventos intensos (11), seguido pelo ano de 2007 (7), um resultado coerente com o fato de que esses dois anos foram os de maior volume de precipitação da série estudada. O maior total diário do período de estudo ocorreu em fevereiro de 2002 (98,0 mm), seguido por maio de 2003 (73,75 mm). Analisando os totais horários, os mais elevados são, em ordem decrescente: novembro de 2002 (43,75 mm), outubro de 2003 (32,75 mm), e fevereiro de 2002 (30,25 mm).

**Tabela 5.2-** Características dos eventos intensos de precipitação identificados nos totais diários de Ilhéus para os meses disponíveis no período de abril de 2000-fevereiro de 2009. O percentil 97 (34,75mm) foi usado como critério de seleção dos eventos. O negrito destaca os eventos do ano com séries horárias completas.

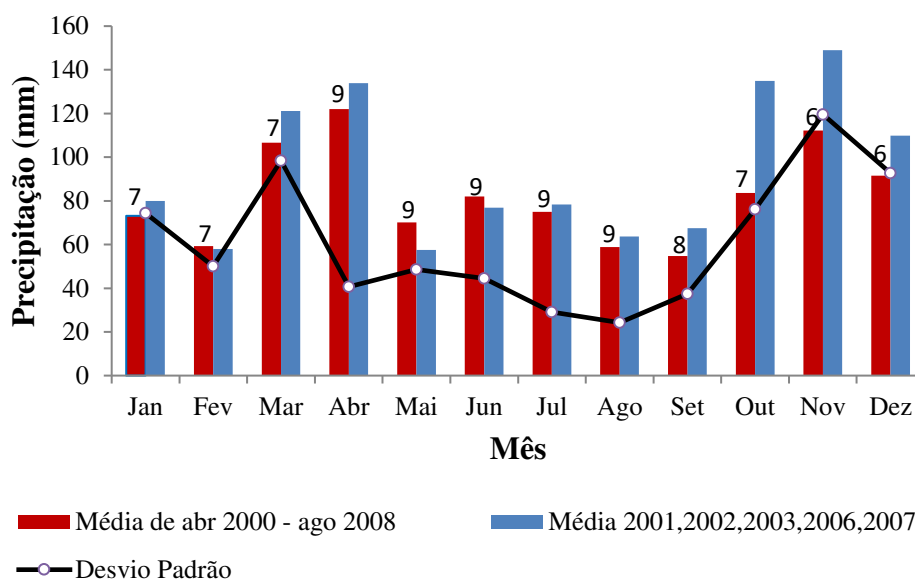
DATA DO EVENTO			TOTAL DIÁRIO (mm)	MÁXIMO HORÁRIO DO EVENTO		
ANO	MÊS	DIA		DIA	INTERVALO DE 1 HORA (hora local)	TOTAL (mm)
2000	04	02	40,75	01	22-23	14,0
2000	04	04	45,75	03	22-23	27,25
2000	07	06	40,5	06	7-8	13,5
2000	09	11	35,5	10	23-24	12,5
2000	12	08	56,75	07	13-14	29,5
2000	12	13	62,0	13	1-2	12,5
2001	03	15	36,25	14	21-22	10,0
2001	05	01	34,75	01	3-4	6,0
2002	01	07	71,25	06	21-22	13,75
2002	01	12	61,0	12	24-1	13,25
2002	01	18	48,75	17	22-23	24,75
2002	02	06	98,0	06	0-1	30,25
2002	04	23	53,25	22	23-24	17,25
2002	04	25	37,0	25	24-1	15,5
2002	07	22	46,75	22	4-5	6,75
2002	09	26	54,75	25	22-23	16,5
2002	11	03	72,5	02	23-24	43,75
2002	12	27	40,25	27	4-5	11,0
2002	12	29	64,5	29	7-8	17,0
<b>2003</b>	<b>03</b>	<b>21</b>	<b>36,25</b>	<b>20</b>	<b>9-10</b>	<b>11,0</b>
<b>2003</b>	<b>05</b>	<b>19</b>	<b>49,0</b>	<b>18</b>	<b>22-23</b>	<b>9,0</b>
<b>2003</b>	<b>05</b>	<b>29</b>	<b>73,75</b>	<b>28</b>	<b>11-12</b>	<b>22,75</b>
<b>2003</b>	<b>08</b>	<b>19</b>	<b>34,75</b>	<b>18</b>	<b>18-19</b>	<b>6,0</b>
<b>2003</b>	<b>10</b>	<b>26</b>	<b>39,25</b>	<b>26</b>	<b>5-6</b>	<b>32,75</b>
2004	03	14	38,75	14	4-5	9,75
2004	03	15	48,0	14	9-10	19,0
2004	03	23	36,25	23	0-1	17,0
2005	05	27	40,75	27	1-2	20,5
2006	03	12	41,0	12	3-4	11,0
2006	03	18	40,0	17	23-24	23,25
2006	04	01	51,75	01	3-4	25,25
2006	10	15	42,75	15	6-7	16,5
2006	10	31	56,0	31	1-2	18,75
2007	02	22	47,0	22	2-3	17,0
2007	02	23	37,5	22	9-10	16,5
2007	04	11	65,5	10	10-11	23,5
2007	05	06	44,25	06	3-4	14,5
2007	05	09	40,0	09	5-6	6,75
2007	09	07	36,75	06	22-23	6,5
2007	11	27	34,75	26	16-17	6,5
2008	01	18	38,25	17	13-14	10,75
2008	06	27	35,25	27	0-1	7,0
2008	07	11	49,0	11	3-4	10,75

### 5.3 Precipitação na Estação Automática de Eunápolis

#### 5.3.1 Variabilidade Mensal e Anual

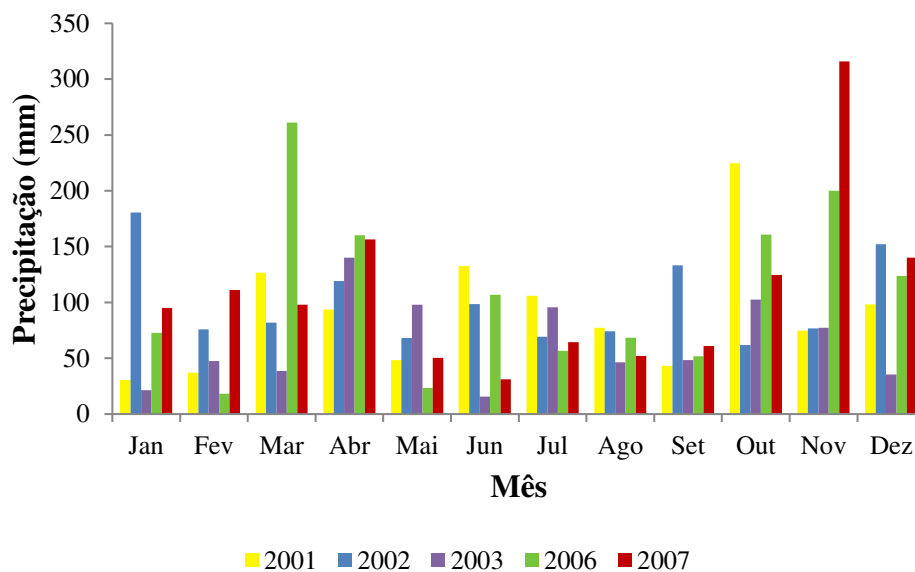
Uma representação da variabilidade dos totais mensais de chuva no período de estudo é vista na Figura 5.19. As médias mensais para todo o período estudado evidenciam duas épocas de maior pluviosidade: uma bimestral, março-abril, e uma trimestral, outubro-novembro-dezembro. O mesmo pode ser observado nas médias dos cinco anos completos (2001, 2002, 2003, 2006, 2007). A variabilidade mensal é alta, conforme evidenciado pelo desvio padrão. O período de maio a setembro é o de totais pluviométricos mais baixos, com valores inferiores a 100 mm.

**Figura 5.19** - Distribuição mensal para Eunápolis da média do período de estudo (abril de 2000-agosto 2008), da média dos cinco anos com séries horárias completas, e do desvio padrão do período de estudo. Os números representam o total de meses usados nos cálculos do período de estudo. (Fonte dos dados: INEMA).



Uma ilustração da variabilidade dos totais mensais de precipitação para os cinco anos com séries horárias completas (2001, 2002, 2003, 2006, 2007) é dada na Figura 5.20. O ano com total anual mais elevado é 2006 (1304,0 mm), seguido por 2007 (1299,75 mm). O mês de novembro de 2007 (316 mm) se destaca como o mais chuvoso de toda a série, seguido por março de 2006 (261 mm), meses do trimestre e do bimestre mais chuvoso, respectivamente.

**Figura 5.20** – Série temporal dos totais mensais de precipitação de Eunápolis nos anos com séries horárias completas. (Fonte dos dados: INEMA).

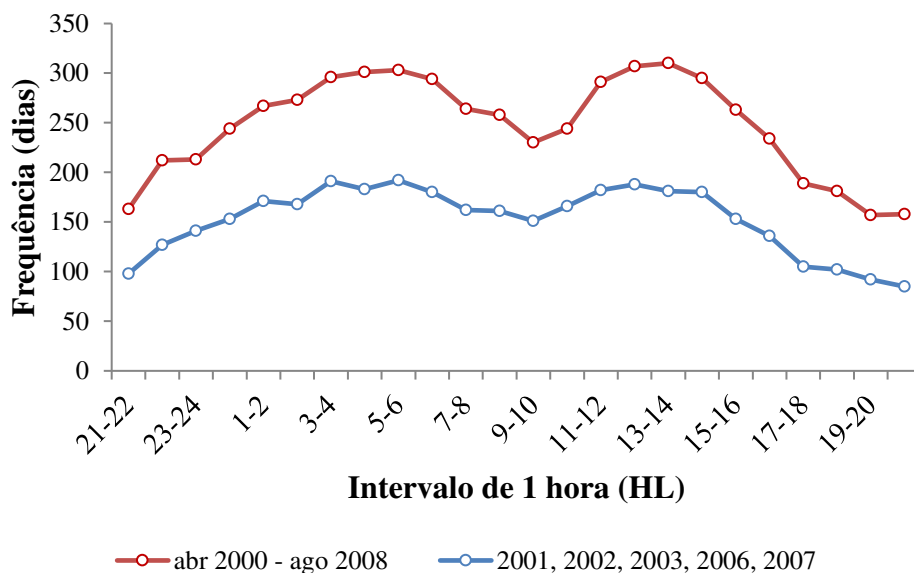


### 5.3.2 Ciclo Diário e sua Variabilidade

O ciclo diário da precipitação no período de estudo é ilustrado na Figura 5.21. A frequência horária é mínima no meio da manhã, às 9-10 HL, e à noite, entre 19-20 HL e 21-22 HL. O mínimo da manhã separa dois períodos de máximo: entre 3-4 HL e 6-7 HL (final da madrugada-início da manhã), e entre 11-12 HL e 14-15 HL (final da manhã-primeira metade da tarde).

O ciclo diário dos cinco anos com séries horárias completas (Fig. 5.21) reproduz, em linhas gerais, as variações vistas no período de estudo.

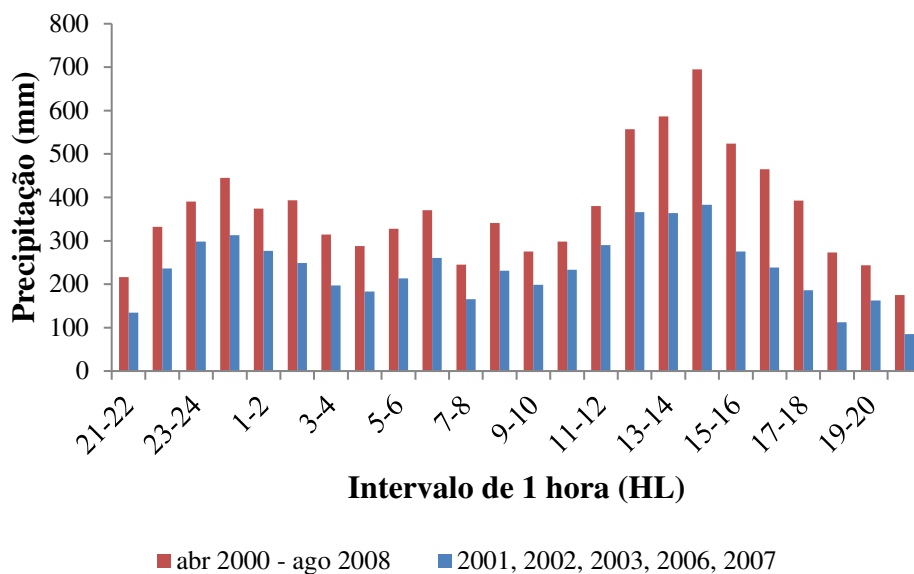
**Figura 5.21** – Série temporal da frequência horária da chuva (número de dias) de Eunápolis no período de estudo (abril de 2000-agosto de 2008) e no conjunto dos cinco anos com séries horárias completas. Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).



Uma ilustração da variabilidade dos totais horários da precipitação no período de estudo (abril de 2000-agosto de 2008) e no conjunto dos cinco anos com séries horárias completas (2001, 2002, 2003, 2006, 2007) é dada na Figura 5.22. Os máximos horários são vistos em 0-1 HL e 14-15 HL. No período da tarde, entre 12-13 HL e 14-15 HL, os volumes horários são bem maiores do que no restante do dia. Os valores mais baixos podem ser vistos à noite, entre 20-21 HL e 21-22 HL.

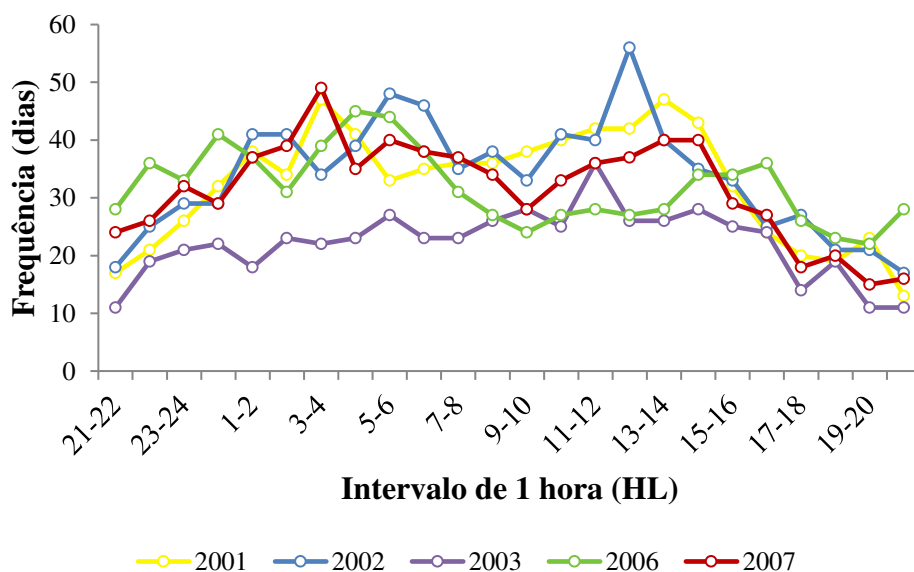


**Figura 5.22** – Série temporal dos totais horários de precipitação de Eunápolis no período de estudo (abril de 2000-agosto de 2008) e no conjunto dos cinco anos com séries horárias completas. Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).



A Figura 5.23 mostra o ciclo diário dos cinco anos com séries horárias completas (2001, 2002, 2003, 2006, 2007). O padrão de variação dos anos individuais é semelhante àquele ilustrado na Figura 5.21, à exceção do ano de 2003, com apenas um máximo, no final da manhã (11-12 HL), e um mínimo, à noite (19-20 HL a 21-22 HL).

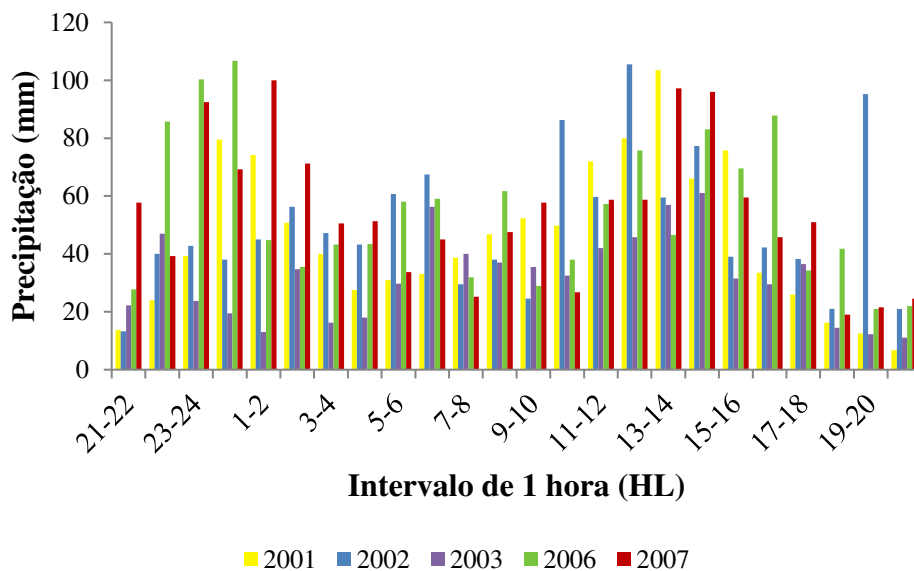
**Figura 5.23** – Série temporal da frequência horária da chuva (número de dias) de Eunápolis nos cinco anos com séries horárias completas. Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).



Os totais horários para os cinco anos com séries horárias completas (2001, 2002, 2003, 2006, 2007) são ilustrados na Figura 5.24. De maneira geral, os totais

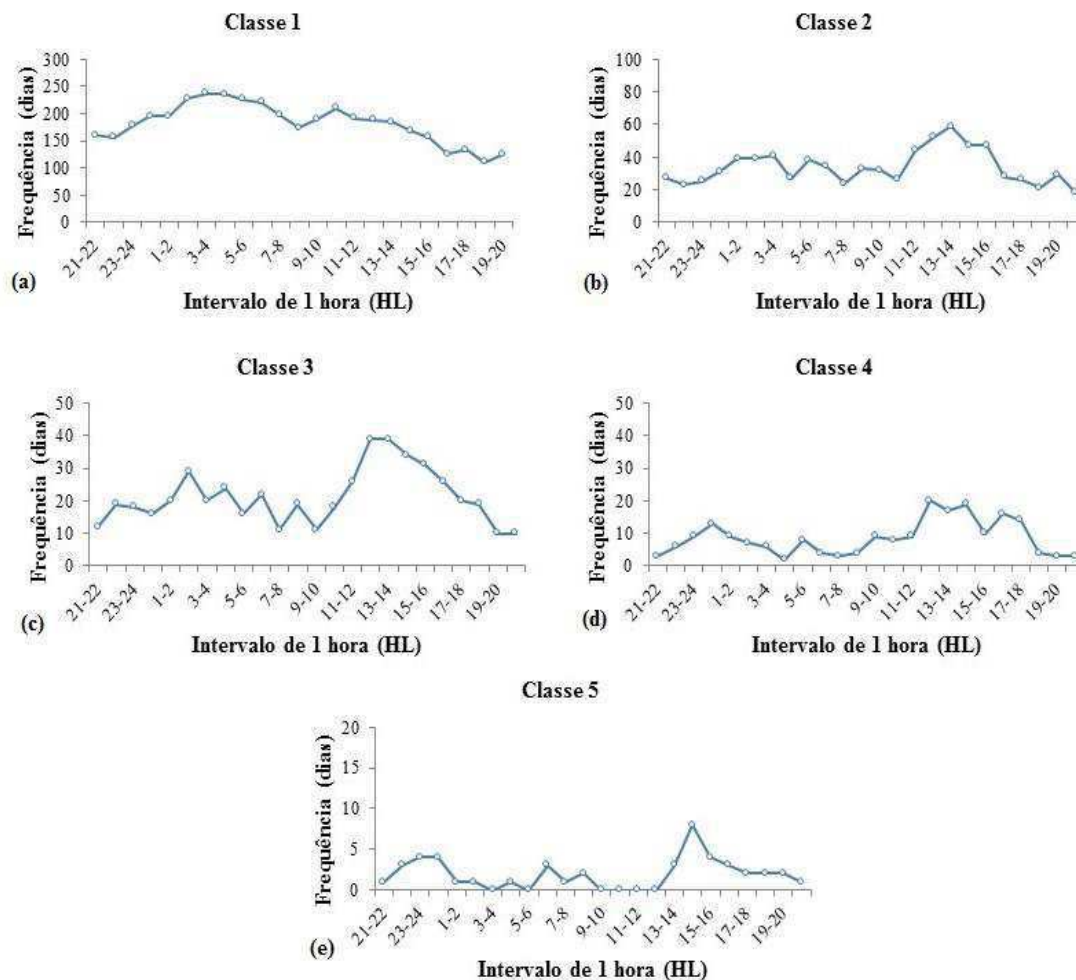
pluviométricos são maiores no meio da noite e na primeira metade da tarde, sendo que os volumes maiores ocorrem em horários diferentes daqueles das maiores frequências.

**Figura 5.24**— Série temporal dos totais horários de precipitação de Eunápolis nos cinco anos com séries horárias completas. Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).



O ciclo diário da precipitação por intervalos de classe é ilustrado na Figura 5.25. Na classe 1, que tem as frequências mais altas, os máximos estão no período da madrugada e da manhã, entre 0-1 HL e 12-13 HL, porém com um mínimo evidente às 8-9 HL (Fig. 5.25a). Na classe 2 as frequências são consideravelmente menores e tem um período de máximo que se destaca, no final da manhã e início-meio da tarde, entre 11-12 HL e 15-16 HL (Fig. 5.25b). Na classe 3 os valores são aproximadamente a metade daqueles da classe 2, na maior parte dos horários, com um período de máximo que se destaca, entre 11-12 HL e 16-17 HL (final da manhã e quase todo o período da tarde) (Fig. 5.25c). Na classe 4 há máximo no meio da noite, entre 23-24 HL e 1-2 HL, e no período da tarde, entre 12-13 HL e 17-18 HL (Fig. 5.25d). Na classe 5 os períodos de máximo são semelhantes aos da classe 4, no meio da noite e à tarde, porém com valores mais baixos (Fig. 5.25e). O padrão da classe 1 indica a influência da brisa terrestre, e o das demais é indicativo do desenvolvimento de convecção na área do planalto.

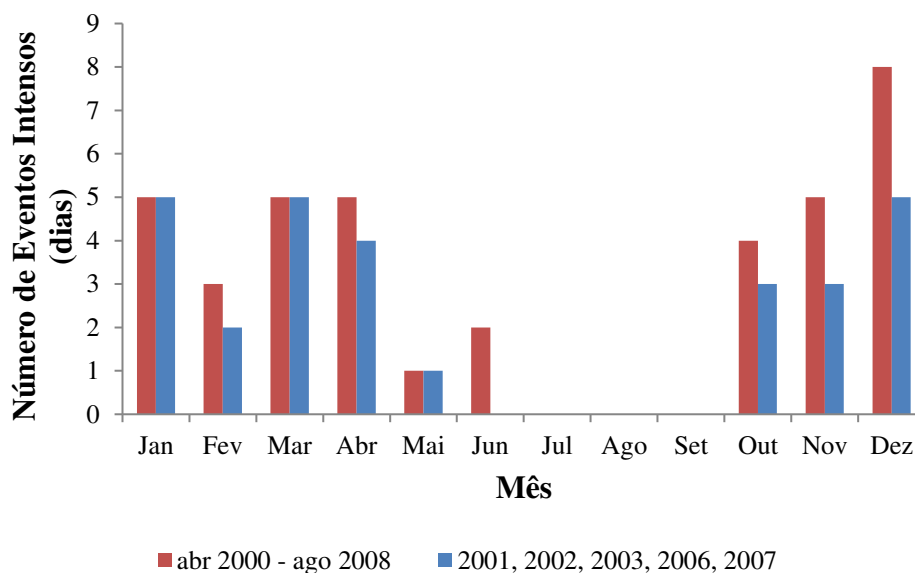
**Figura 5.25** – Frequência horária da chuva (dias) de Eunápolis no período de abril de 2000-agosto de 2008 para o intervalo de classe de precipitação: (a) 1 ( $0,25\text{mm} \leq \text{chuva} < 1,5 \text{ mm}$ ), (b) 2 ( $1,5 \text{ mm} \leq \text{chuva} < 3,0 \text{ mm}$ ), (c) 3 ( $3,0 \text{ mm} \leq \text{chuva} < 6,5 \text{ mm}$ ), (d) 4 ( $6,5 \text{ mm} \leq \text{chuva} < 17,0 \text{ mm}$ ), (e) 5 ( $17,0 \text{ mm} \leq \text{chuva}$ ). Observe que HL é a hora local e que a escala do eixo das ordenadas difere entre os gráficos.. (Fonte dos dados: INEMA).



### 5.3.3 Eventos Intensos

A Figura 5.26 contém dados relativos ao número mensal dos eventos intensos de chuva determinados pela técnica do percentil (97). Foram considerados como eventos extremos os totais diários com valor igual ou maior do que 31,8 mm. Analisando o bimestre e o trimestre mais chuvosos observa-se que o valor mensal varia entre 4 e 8 eventos, com máximo (mínimo) no mês de dezembro (outubro). Não há evento nos meses de julho, agosto e setembro.

**Figura 5.26-** Frequência mensal (número de dias) de eventos intensos de precipitação de Eunápolis no período de estudo (abril de 2000-agosto de 2008) e no conjunto dos anos com séries horárias completas. O valor do percentil 97 do período de estudo (31,8 mm) foi o limiar inferior na seleção dos eventos intensos.



A Figura 5.26 evidencia que nos anos que compõem a série de precipitação diária foram observados 40 eventos extremos de precipitação, dos quais 29 ocorreram nos meses de março-abril e outubro-novembro-dezembro, com valores de 5, 4, 5, 5 e 10, respectivamente. Os eventos intensos desses meses equivalem a 72,5% de todos os eventos da série.

Um detalhamento de características dos eventos intensos é encontrado na Tabela 5.3. O ano de 2004 se destacou pelo número mais elevado de eventos intensos (10), seguido por 2006 com 6, e 2007 com 5 eventos. Os anos de 2006, 2007 e 2004 foram, em ordem decrescente, os de maior total pluviométrico anual conforme discussão da Figura 5.20, com a ressalva de que novembro e dezembro de 2004 não constam da análise (Quadro 4.3). O maior total diário do período de estudo ocorreu em novembro de 2007 (145,25 mm), seguido por outubro de 2006 (93,75 mm). Analisando os totais horários, os mais elevados são, em ordem decrescente: dezembro de 2000 (41,0 mm), fevereiro de 2002 (37,75 mm) e abril de 2005 (34,5 mm).

**Tabela 5.3-** Características dos eventos intensos de precipitação identificados nos totais diários de Eunápolis para os meses disponíveis no período de abril de 2000–agosto de 2008. O percentil 97 (31,8 mm) foi usado como critério de seleção dos eventos. O negrito destaca os eventos dos anos com séries horárias completas.

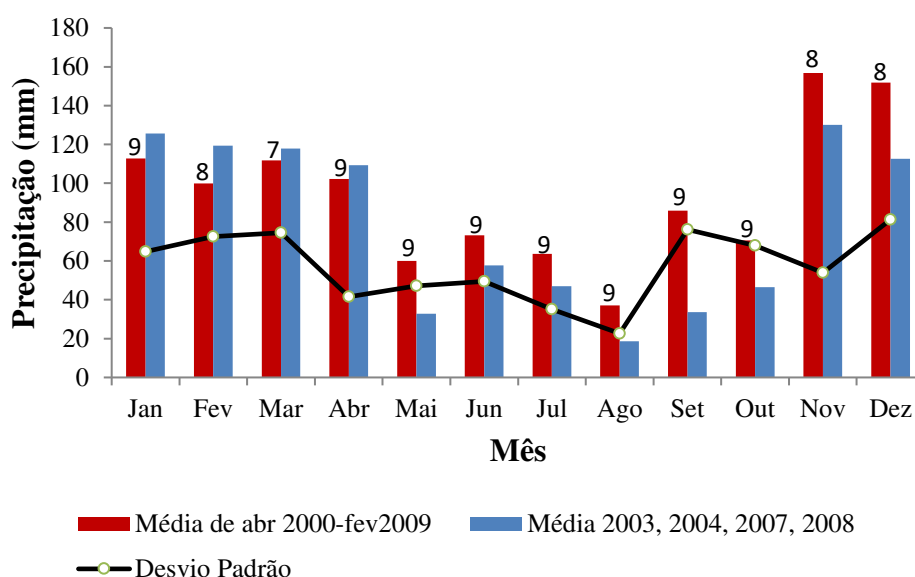
DATA DO EVENTO			TOTAL DIÁRIO (mm)	MÁXIMO HORÁRIO DO EVENTO		
ANO	MÊS	DIA		DIA	INTERVALO DE 1 HORA (hora local)	TOTAL (mm)
2000	11	02	68,0	01	22-23	20,0
2000	11	08	88,25	07	18-19	26,5
2000	12	18	84,25	17	15-16	41,0
2000	12	22	37,75	21	16-17	21,5
<b>2001</b>	<b>06</b>	<b>02</b>	<b>52,0</b>	<b>02</b>	<b>0-1</b>	<b>19,75</b>
<b>2001</b>	<b>10</b>	<b>25</b>	<b>50,0</b>	<b>25</b>	<b>1-2</b>	<b>15,75</b>
<b>2001</b>	<b>12</b>	<b>01</b>	<b>35,0</b>	<b>30</b>	<b>16-17</b>	<b>8,5</b>
<b>2002</b>	<b>01</b>	<b>02</b>	<b>45,5</b>	<b>01</b>	<b>15-16</b>	<b>11,25</b>
<b>2002</b>	<b>02</b>	<b>05</b>	<b>44,75</b>	<b>04</b>	<b>19-20</b>	<b>37,75</b>
<b>2002</b>	<b>10</b>	<b>24</b>	<b>33,5</b>	<b>24</b>	<b>6-7</b>	<b>19,25</b>
<b>2002</b>	<b>12</b>	<b>26</b>	<b>39,75</b>	<b>26</b>	<b>0-1</b>	<b>6,75</b>
<b>2002</b>	<b>12</b>	<b>28</b>	<b>33,25</b>	<b>27</b>	<b>10-11</b>	<b>8,75</b>
<b>2003</b>	<b>04</b>	<b>08</b>	<b>80,25</b>	<b>08</b>	<b>6-7</b>	<b>30,0</b>
<b>2003</b>	<b>10</b>	<b>03</b>	<b>63,0</b>	<b>02</b>	<b>17-18</b>	<b>9,75</b>
2004	01	04	40,75	03	16-17	22,0
2004	01	05	32,5	04	15-16	10,75
2004	01	17	41,0	16	18-19	21,0
2004	02	19	42,0	18	14-15	21,75
2004	03	05	32,5	05	5-6	11,0
2004	03	19	55,0	18	14-15	27,5
2004	03	23	49,25	22	15-16	19,0
2004	04	07	42,0	06	16-17	24,75
2004	04	13	47,75	12	17-18	11,75
2004	05	29	57,25	28	23-24	8,25
2005	04	27	39,75	27	2-3	34,5
<b>2006</b>	<b>03</b>	<b>07</b>	<b>47,0</b>	<b>07</b>	<b>8-9</b>	<b>29,25</b>
<b>2006</b>	<b>03</b>	<b>08</b>	<b>33,0</b>	<b>07</b>	<b>14-15</b>	<b>27,0</b>
<b>2006</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>93,75</b>	<b>14</b>	<b>23-24</b>	<b>31,0</b>
<b>2006</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>85,0</b>	<b>11</b>	<b>0-1</b>	<b>32,75</b>
<b>2006</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>50,25</b>	<b>11</b>	<b>15-16</b>	<b>17,25</b>
<b>2006</b>	<b>12</b>	<b>17</b>	<b>42,0</b>	<b>17</b>	<b>6-7</b>	<b>21,75</b>
<b>2007</b>	<b>01</b>	<b>06</b>	<b>35,5</b>	<b>05</b>	<b>13-14</b>	<b>27,25</b>
<b>2007</b>	<b>04</b>	<b>11</b>	<b>74,5</b>	<b>11</b>	<b>0-1</b>	<b>21,5</b>
<b>2007</b>	<b>11</b>	<b>28</b>	<b>76,75</b>	<b>28</b>	<b>4-5</b>	<b>22,5</b>
<b>2007</b>	<b>11</b>	<b>29</b>	<b>145,25</b>	<b>28</b>	<b>23-24</b>	<b>27,5</b>
<b>2007</b>	<b>12</b>	<b>02</b>	<b>39,0</b>	<b>02</b>	<b>1-2</b>	<b>15,0</b>
2008	02	27	54,75	26	17-18	32,5
2008	06	03	37,0	03	6-7	6,75

## 5.4 Precipitação na Estação Automática de Teixeira de Freitas

### 5.4.1 Variabilidade Mensal e Anual

A variabilidade mensal da precipitação de Teixeira de Freitas é ilustrada pelos valores médios do período de estudo e dos quatro anos com séries horárias completas na Figura 5.27. O desvio padrão do período de estudo também está representado. Há dois períodos distintos de meses mais chuvosos: o quadrimestre de janeiro a abril, com precipitação média mensal variando de 99,9 mm a 112,7 mm, que corresponde a 45,2% (426,5 mm) da média anual no período de estudo, e o bimestre novembro-dezembro, representando aproximadamente 32,7% (308,53 mm) da precipitação anual, com valores entre 70,5 mm e 156,8 mm. A média mensal mais elevada é vista no mês de novembro. No período de maio a outubro as médias são, em geral, consideravelmente menores.

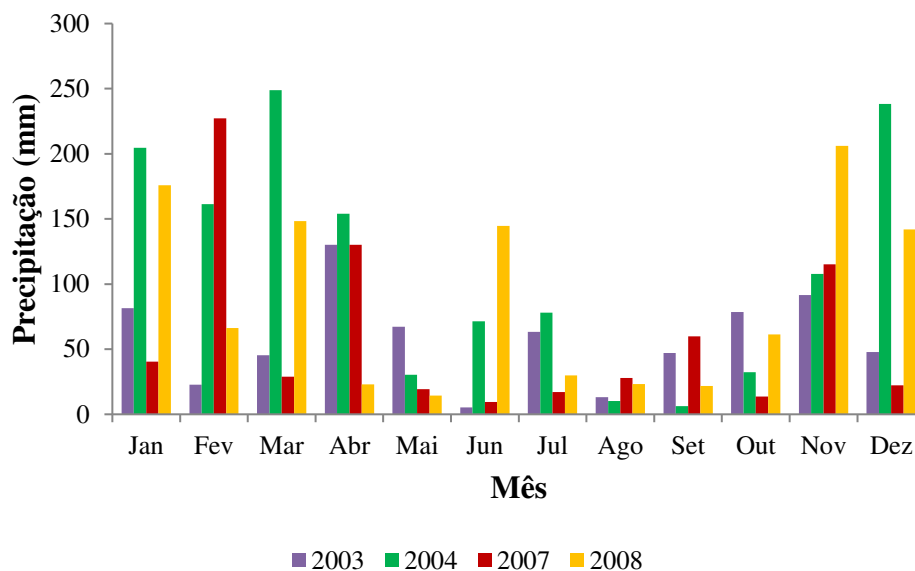
**Figura 5.27** - Distribuição mensal para Teixeira de Freitas da média do período de estudo (abril de 2000-fevereiro de 2009), da média do conjunto dos quatro anos com séries horárias completas, e do desvio padrão do período de estudo. Os números representam o total de meses usados nos cálculos do período de estudo. (Fonte dos dados: INEMA).



A Figura 5.28 ilustra a variabilidade dos totais mensais de precipitação para os quatro anos com séries horárias completas. O ano com total anual mais elevado é 2004 (1343,0 mm), seguido por 2008 (1056,5 mm). Nos anos de 2003 e 2007 os totais anuais são de 693,5 mm e 711,75 mm, respectivamente. O quadrimestre janeiro-fevereiro-março-abril e o bimestre novembro-dezembro se destacam como os períodos mais chuvosos do ano. Março de 2004, com total pluviométrico de 248,75 mm, é o mês mais

chuvoso de toda série. O período de maio a outubro também é o de totais pluviométricos mais baixos nesses anos.

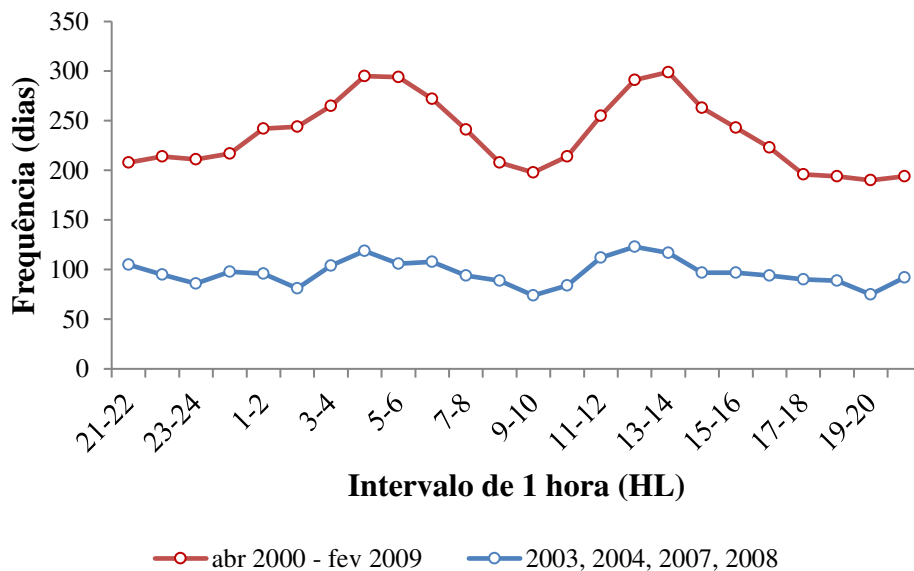
**Figura 5.28** – Série temporal dos totais mensais de precipitação de Teixeira de Freitas nos anos com séries horárias completas. (Fonte dos dados: INEMA).



#### 5.4.2 Ciclo Diário e sua Variabilidade

A Figura 5.29 ilustra o ciclo diário da precipitação para o período de abril de 2000 a fevereiro de 2009 e para o conjunto dos anos com séries horárias completas (2003, 2004, 2007, 2008). No período de estudo há dois picos de máximos da frequência de precipitação: um no final da madrugada – início da manhã, às 4-5 HL, e outro no início da tarde, às 12-13 HL e 13-14 HL. Um mínimo é visto entre os dois máximos, no meio da manhã, entre 8-9 HL e 10-11 HL. Outro mínimo é visto no final da tarde e à noite, entre 17-18 HL e 0-1 HL. De maneira geral, essa variação também é vista nos anos com séries completas.

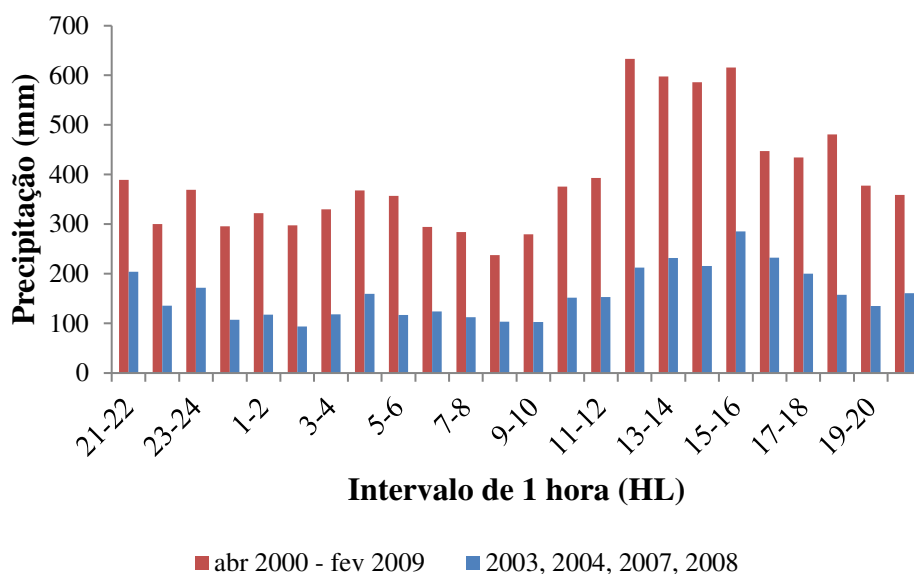
**Figura 5.29** – Série temporal da frequência horária da chuva (número de dias) de Teixeira de Freitas no período de estudo (abril de 2000-fevereiro de 2009) e no conjunto dos quatro anos com séries horárias completas. Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).



A Figura 5.30 mostra a variabilidade dos totais horários da precipitação no período de estudo (abril de 2000-fevereiro de 2009) e no conjunto dos quatro anos com séries horárias completas (2003, 2004, 2007, 2008). Os máximos horários são mais evidentes entre 12-13 HL e 15-16 HL. Os valores mais baixos são vistos no período da manhã, entre 6-7 HL e 9-10 HL.

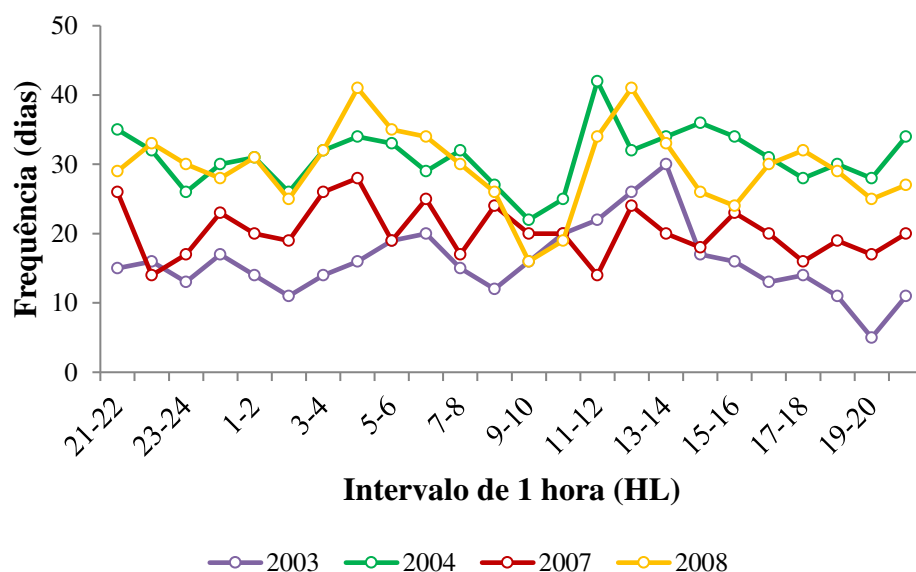


**Figura 5.30** – Série temporal dos totais horários de precipitação de Teixeira de Freitas no período de estudo (abril de 2000-fevereiro de 2009) e no conjunto dos quatro anos com séries horárias completas. Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).



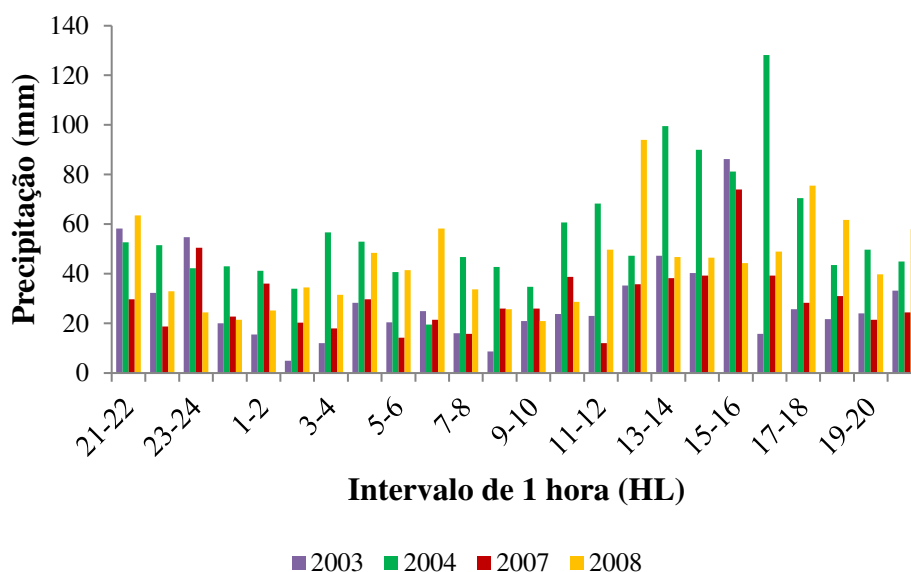
O ciclo diário para os quatro anos com séries horárias completas (2003, 2004, 2007, 2008) é ilustrado na Figura 5.31. O padrão das frequências horárias varia muito entre os anos, porém é possível distinguir horários comuns de máximos e mínimos: o mínimo às 2-3 HL em 2003, 2004 e 2008, e 9-10 HL em 2004 e 2008; e o máximo às 4-5 HL em 2004, 2007 e 2008. As frequências são mais altas em 2004 e 2008, em quase todos os horários.

**Figura 5.31** – Série temporal da frequência horária da chuva (número de dias) de Teixeira de Freitas nos quatro anos com séries horárias completas. Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).



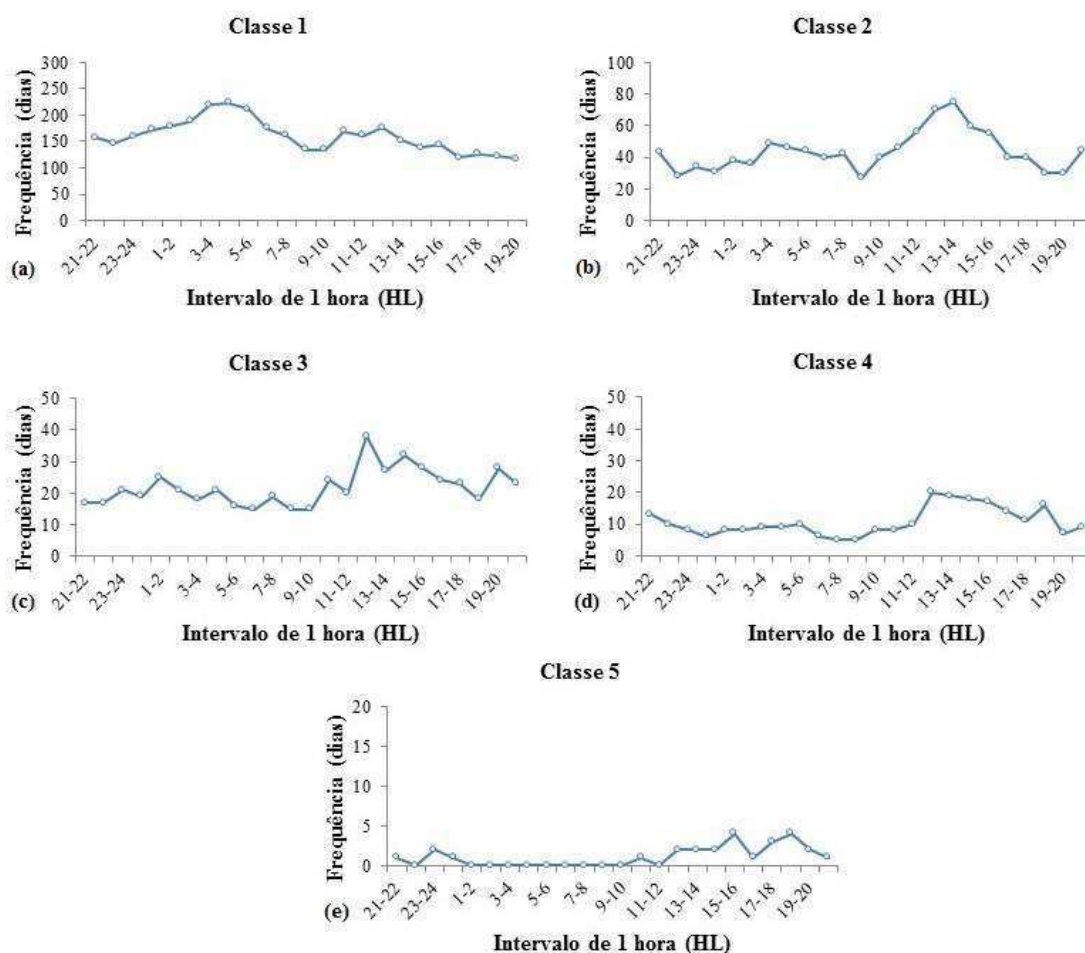
A Figura 5.32 mostra os totais horários para os quatro anos com séries horárias completas (2003, 2004, 2007, 2008). O ano de 2004 se destaca em quase todos os horários, pois seu total anual é o maior dentre os anos. Como mostrado na Figura 5.30, os maiores volumes de precipitação podem ser vistos no período da tarde, entre 12-13 HL e 15-16 HL, e os mínimos no período da manhã, entre 2-3 HL e 9-10 HL.

**Figura 5.32** – Série temporal dos totais horários de precipitação de Teixeira de Freitas nos quatro anos com séries horárias completas. Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).



O ciclo diário da precipitação por intervalos de classe é ilustrado na Figura 5.33. Na classe 1 as frequências são mais elevadas no período da madrugada e início da manhã, entre 1-2 HL e 6-7 HL (Fig. 5.33a). Na classe 2 as frequências são consideravelmente menores e o período de máximo está concentrado entre o final da manhã e o meio da tarde, das 11-12 HL às 15-16 HL (Fig. 5.33b). Na classe 3, cujas frequências são aproximadamente a metade daquelas da classe 2, o período de máximo também tem início no final da manhã (10-11 HL), mas se prolonga até o início da noite (20-21 HL) (Fig. 5.33c). Há ainda a indicação de um máximo na madrugada, às 1-2 HL. Na classe 4 o período de máximo se concentra à tarde, entre 12-13 HL e 15-16 HL (Fig. 5.33d). Na classe 5 o período de máximo abrange a tarde e o início da noite, entre 12-13 HL e 19-20 HL (Fig. 5.33e). Também há indicação de um máximo às 23-24 HL. Considerados em conjunto, os horários de máximo das classes evidenciam um padrão diferenciado para a classe 1 (chuvas fracas), madrugada e início da manhã, enquanto que nas demais há máximos no período da tarde. O padrão da classe 1 indica a influência da circulação da brisa terrestre, enquanto que o padrão das demais pode estar relacionado também com o desenvolvimento de convecção na área do planalto.

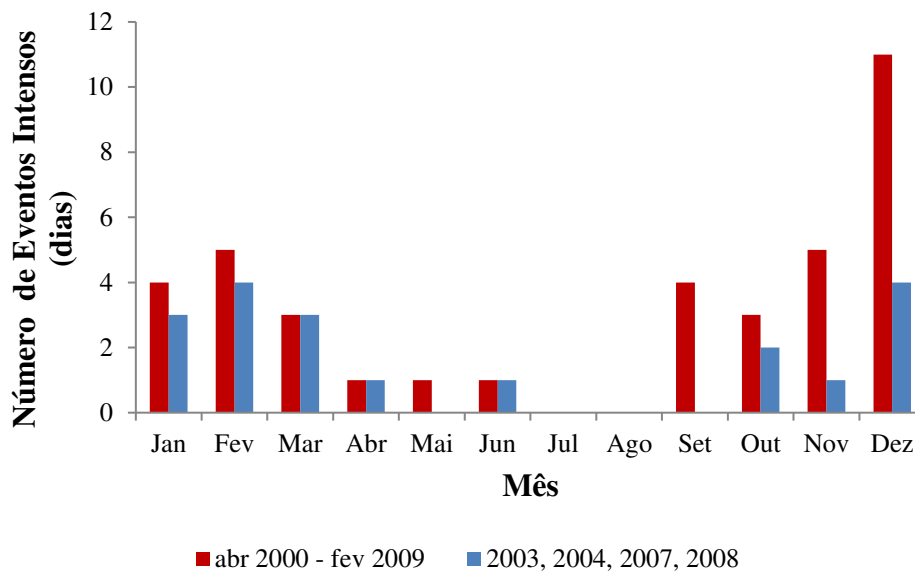
**Figura 5.33** – Frequência horária da chuva (dias) de Teixeira de Freitas no período de abril de 2000 a fevereiro de 2009 para o intervalo de classe de precipitação: (a) 1 ( $0,25\text{mm} \leq \text{chuva} < 1,5 \text{ mm}$ ), (b) 2 ( $1,5 \text{ mm} \leq \text{chuva} < 3,0 \text{ mm}$ ), (c) 3 ( $3,0 \text{ mm} \leq \text{chuva} < 7,0 \text{ mm}$ ), (d) 4 ( $7,0\text{mm} \leq \text{chuva} < 21,0\text{mm}$ ), (e) 5 ( $21,0 \text{ mm} \leq \text{chuva}$ ). Observe que HL é a hora local. (Fonte dos dados: INEMA).



### 5.4.3 Eventos Intensos

O número mensal de eventos intensos (dias) com totais pluviométricos diários iguais ou maiores do que 38,12 mm, o percentil 97 da série de Teixeira de Freitas, é ilustrado na Figura 5.34. Foram observados 38 eventos intensos de precipitação, dos quais 13 ocorreram no quadrimestre de janeiro-abril, e 16 no bimestre novembro-dezembro. Os eventos intensos do quadrimestre e bimestre chuvosos equivalem a 76,3% de todos os eventos da série. O mês com o maior número de eventos (11) foi dezembro. Nos meses menos chuvosos, maio a outubro, não houve evento em julho e agosto.

**Figura 5.34-** Frequência mensal (número de dias) de eventos intensos de precipitação de Teixeira de Freitas no período de estudo (abril de 2000-fevereiro de 2009) e no conjunto dos anos com séries horárias completas. O valor do percentil 97 do período de estudo (38,12 mm) foi o limiar inferior na seleção dos eventos intensos.



Um detalhamento de características dos eventos intensos é encontrado na Tabela 5.4. O ano de 2004 se destacou pelo número mais elevado de eventos intensos (9), um resultado coerente com o fato de que esse ano foi o de maior volume de precipitação da série estudada. O maior total diário do período de estudo ocorreu em setembro de 2000 (123,25 mm), seguido por fevereiro de 2007 (87,0 mm). Analisando os totais horários, os mais elevados são vistos, em ordem decrescente, em: fevereiro de 2004 e outubro de 2006 (47,50 mm), outubro de 2003 (44,75 mm) e setembro de 2006 (43,50 mm).

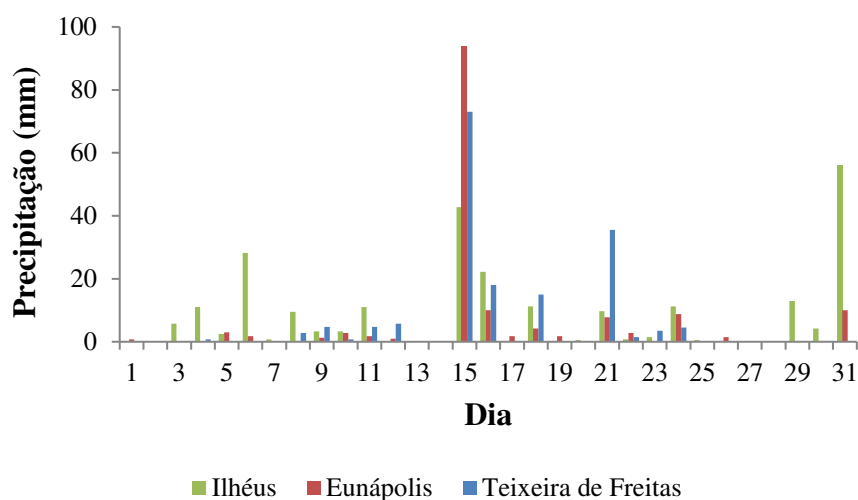
**Tabela 5.4-** Características dos eventos intensos de precipitação identificados nos totais diários de Teixeira de Freitas para os meses disponíveis no período de abril de 2000-fevereiro de 2009. O percentil 97 (38,12 mm) foi usado como critério de seleção dos eventos. O negrito destaca os eventos dos anos com séries horárias completas.

DATA DO EVENTO			TOTAL DIÁRIO (mm)	MÁXIMO HORÁRIO DO EVENTO		
ANO	MÊS	DIA		DIA	INTERVALO DE 1 HORA (hora local)	TOTAL (mm)
2000	09	27	123,25	26	22-23	14,5
2000	09	28	40,75	27	20-21	7,75
2000	12	18	57,0	17	19-20	15,75
2000	12	20	40,75	19	14-15	24,25
2001	09	30	40,75	29	12-13	26,0
2002	01	03	44,25	03	1-2	12,5
2002	11	01	61,0	31	22-23	18,25
2002	11	02	65,75	01	17-18	26,0
2002	12	27	46,75	27	5-6	9,0
2002	12	29	38,5	28	20-21	13,5
<b>2003</b>	<b>04</b>	<b>23</b>	<b>45,0</b>	<b>23</b>	<b>21-22</b>	<b>40,5</b>
<b>2003</b>	<b>10</b>	<b>26</b>	<b>69,5</b>	<b>25</b>	<b>15-16</b>	<b>44,75</b>
<b>2003</b>	<b>11</b>	<b>03</b>	<b>51,5</b>	<b>02</b>	<b>20-21</b>	<b>16,25</b>
<b>2004</b>	<b>01</b>	<b>31</b>	<b>52,0</b>	<b>30</b>	<b>10-11</b>	<b>26,75</b>
<b>2004</b>	<b>02</b>	<b>01</b>	<b>41,5</b>	<b>31</b>	<b>13-14</b>	<b>29,0</b>
<b>2004</b>	<b>02</b>	<b>17</b>	<b>62,5</b>	<b>16</b>	<b>16-17</b>	<b>47,5</b>
<b>2004</b>	<b>03</b>	<b>20</b>	<b>54,0</b>	<b>20</b>	<b>1-2</b>	<b>11,0</b>
<b>2004</b>	<b>03</b>	<b>22</b>	<b>50,0</b>	<b>22</b>	<b>7-8</b>	<b>14,75</b>
<b>2004</b>	<b>03</b>	<b>24</b>	<b>43,25</b>	<b>23</b>	<b>17-18</b>	<b>20,0</b>
<b>2004</b>	<b>12</b>	<b>01</b>	<b>57,75</b>	<b>30</b>	<b>22-23</b>	<b>10,75</b>
<b>2004</b>	<b>12</b>	<b>03</b>	<b>61,0</b>	<b>02</b>	<b>23-24</b>	<b>17,5</b>
<b>2004</b>	<b>12</b>	<b>04</b>	<b>68,5</b>	<b>03</b>	<b>15-16</b>	<b>18,0</b>
2005	02	02	47,75	01	17-18	27,0
2005	05	29	63,5	28	19-20	11,5
2005	12	08	56,0	07	23-24	10,25
2006	09	25	61,0	24	19-20	43,5
2006	10	15	73,0	14	18-19	47,5
2006	11	11	52,0	11	21-22	18,25
2006	11	14	47,75	13	17-18	10,25
2006	12	02	38,25	01	19-20	11,5
2006	12	04	40,5	03	14-15	18,5
<b>2007</b>	<b>02</b>	<b>04</b>	<b>87,0</b>	<b>03</b>	<b>23-24</b>	<b>40,75</b>
<b>2007</b>	<b>02</b>	<b>17</b>	<b>54,25</b>	<b>16</b>	<b>15-16</b>	<b>41,5</b>
<b>2008</b>	<b>01</b>	<b>10</b>	<b>55,25</b>	<b>09</b>	<b>18-19</b>	<b>29,0</b>
<b>2008</b>	<b>01</b>	<b>24</b>	<b>38,25</b>	<b>24</b>	<b>6-7</b>	<b>12,25</b>
<b>2008</b>	<b>06</b>	<b>24</b>	<b>42,0</b>	<b>23</b>	<b>20-21</b>	<b>6,0</b>
<b>2008</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>40,5</b>	<b>09</b>	<b>19-20</b>	<b>5,0</b>
<b>2008</b>	<b>12</b>	<b>01</b>	<b>46,25</b>	<b>30</b>	<b>20-21</b>	<b>22,25</b>

### 5.6 Estudo de caso: o evento de outubro de 2006

O principal critério utilizado para selecionar o evento de chuva intensa analisado neste trabalho foi o número de cidades (estações automáticas) afetadas e a intensidade e volume das chuvas registradas. O episódio selecionado ocorreu na noite do dia 14 e/ou na madrugada do dia 15 de outubro de 2006 em três cidades: Ilhéus, Eunápolis e Teixeira de Freitas. Na PCD de Salvador não houve registro de chuva nesse período de 24 horas. Nas Tabelas 5.2 a 5.4 estão os totais pluviométricos diários das 12 UTC do dia 15 obtidos dos registros das PCD: Ilhéus (42,75 mm), Eunápolis (93,75 mm) e Teixeira de Freitas (73,00 mm). A chuva do dia 15 se constituiu no maior volume diário do mês, à exceção de Ilhéus (Fig. 5.35), com máximo no dia 31.

**Figura 5.35-** Totais diários de precipitação (mm) para o mês de outubro de 2006 na estação automática de coleta de dados (PCD) de Ilhéus, Eunápolis e Teixeira de Freitas. (Fonte dos dados: INEMA).



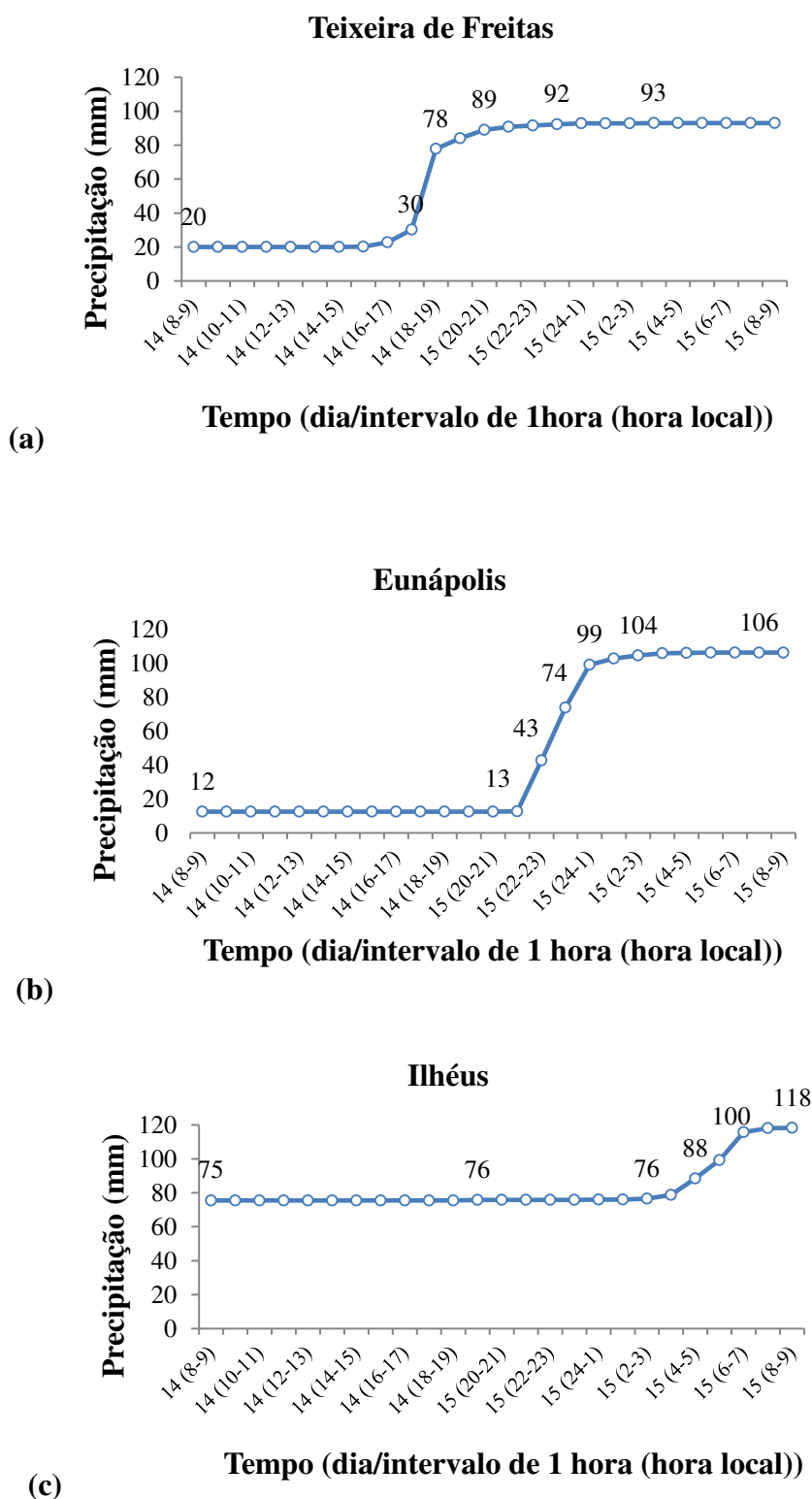
O gráfico da precipitação acumulada registrada pela estação automática do INEMA na cidade de Teixeira de Freitas (Fig. 5.36a) evidencia que a chuva começa fraca às 14-15 HL do dia 14 e é intensa às 18-19 HL, quando chove 47,5 mm, o máximo horário do evento. Nas imagens realçadas desses horários é possível observar núcleos convectivos profundos com topos frios de até  $-70^{\circ}\text{C}$  (Fig. 5.37a,b). Na cidade de Eunápolis (Fig. 5.36b) a chuva começa intensa às 20-21 HL do dia 14 e se prolonga até 0-1 HL do dia 15, quando totaliza 86,25 mm. Após esse horário a chuva é fraca ou inexistente. O máximo horário ocorre às 23-24 HL (31,00 mm). A imagem realçada das 21 HL do dia 14 (Fig. 5.37c) ilustra a cobertura de nuvens no início do período de chuva

forte, evidenciando núcleos convectivos profundos com topos frios de até  $-70^{\circ}\text{C}$ . Na imagem das 00 HL do dia 15 são observados topos frios com temperaturas de até  $-60^{\circ}\text{C}$  (Fig. 5.37d). Na cidade de Ilhéus a chuva começa fraca às 18-19 HL do dia 14 (Fig. 5.36c). Ela se intensifica a partir das 2-3 HL do dia 15, e cessa às 8-9 HL, totalizando cerca de 42 mm nesse período de 6 horas. O máximo horário ocorre às 6-7 HL (16,5 mm). Nas imagens realçadas das 5 HL e 7 HL há topos frios de até  $-50^{\circ}\text{C}$  (Fig. 5.37e,f).

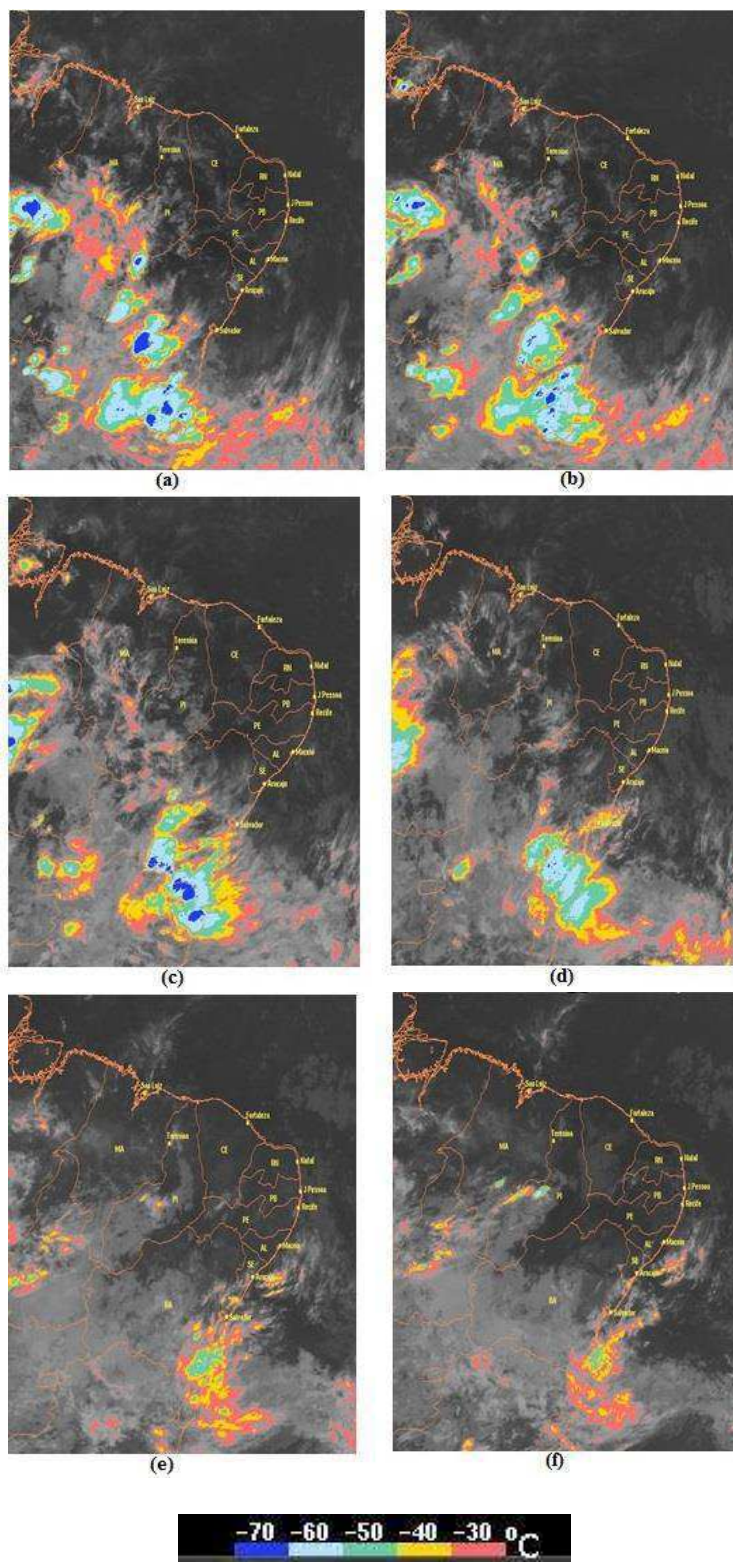
A relação entre a distribuição horária da chuva e a cobertura de nuvens em grande escala é investigada através de imagens do satélite meteorológico GOES-12 para seis horários sinóticos: 18 e 21 HL do dia 14, e 00, 03, 06 e 09 HL do dia 15 (Fig. 5.38). Várias áreas de convecção profunda organizada em mesoescala (aglomerados convectivos) são vistas no norte e no centro-sul da América do Sul. Uma área de nebulosidade associada à ZCIT está evidente sobre o Oceano Atlântico no canto superior direito das imagens. Nela parte da área costeira da Bahia está circundada por uma circunferência preta que destaca o desenvolvimento convectivo responsável pela precipitação horária acumulada ilustrada nos gráficos da Figura 5.36. Merece destaque o fato de que ela está inserida numa área de nebulosidade com configuração noroeste-sudeste que se estende sobre o Norte, o Nordeste e o Atlântico Sul, numa estrutura de banda de nebulosidade frontal associada a um sistema de latitudes médias centrado sobre o Atlântico Sul.



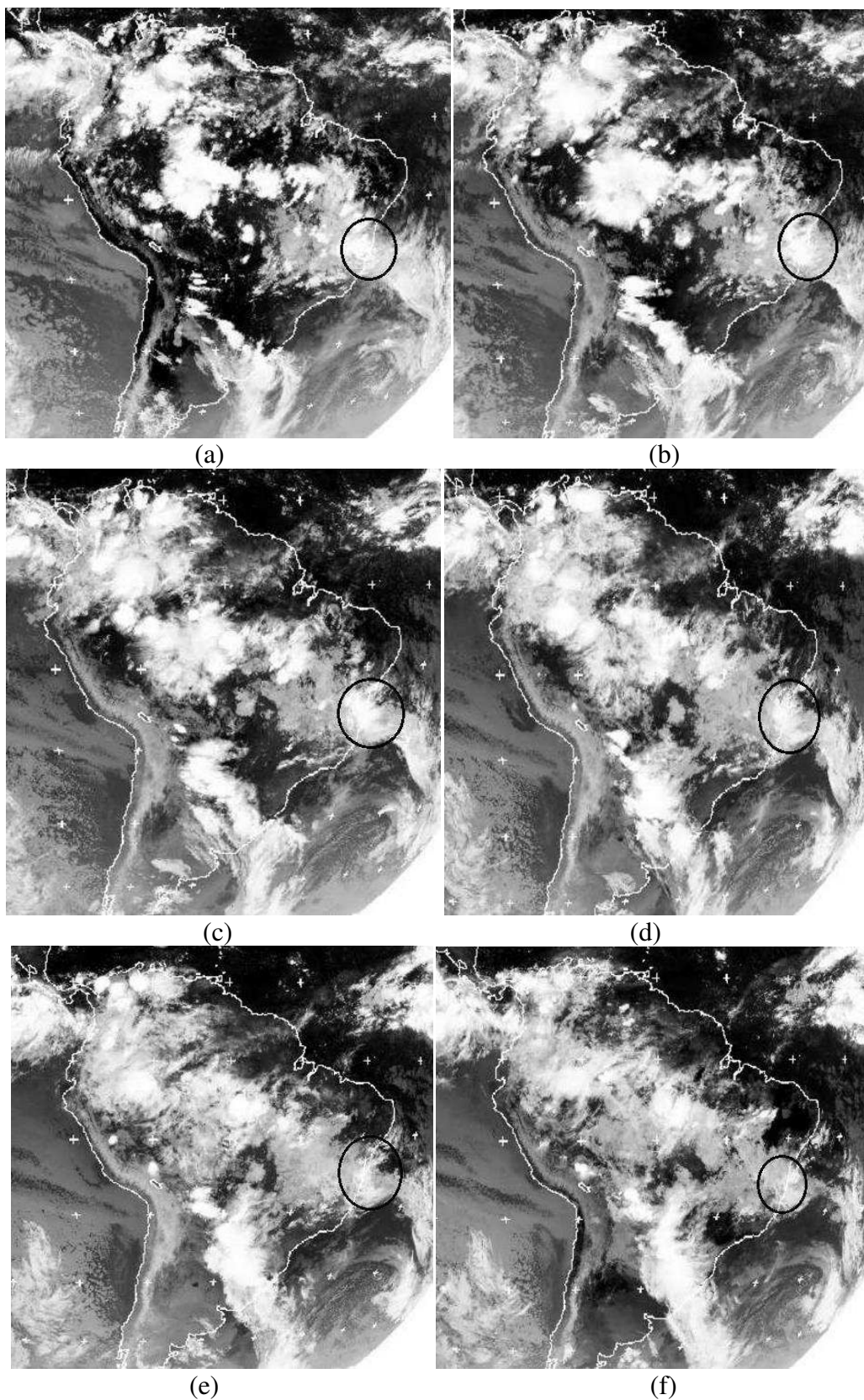
**Figura 5.36-** Precipitação acumulada (mm) registrada pela estação automática do INEMA no período de 8-9 HL do dia 14 às 8-9 HL do dia 15 de outubro de 2006 para a estação automática de: (a) Teixeira de Freitas (b) Eunápolis e (c) Ilhéus. (Fonte dos dados: INEMA).



**Figura 5.37** – Imagem realçada do satélite meteorológico GOES-12 da área do Nordeste do Brasil e adjacências para o dia 14 às (a) 18 HL, (b) 19 HL, (c) 21 HL e para o dia 15 de outubro de 2006 às: (d) 00 HL, (e) 05 HL, (f) 07 HL. A escala de cores da temperatura de brilho é vista na parte inferior da figura. A localização da capital de cada estado está indicada nas imagens. (Fonte das imagens: Adaptado de [http://satellite.cptec.inpe.br/acervo/goes\\_antiores.jsp](http://satellite.cptec.inpe.br/acervo/goes_antiores.jsp)).

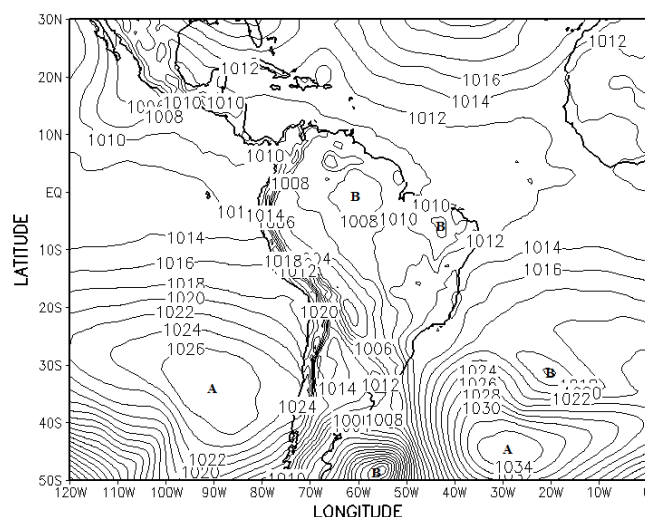


**Figura 5.38** – Imagem do satélite meteorológico GOES-12 na banda do infravermelho térmico para o dia 14 às (a) 18 (b) 21 HL, e o dia 15 de outubro de 2006 às: (c) 00 HL, (d) 03 HL (e) 06 HL (f) 09 HL. A circunferência preta assinala parte da área costeira da Bahia. (Fonte das imagens: Adaptado de <http://www.sat.dundee.ac.uk>).



A circulação atmosférica de grande escala que favoreceu o evento de chuva intensa foi diagnosticada através dos campos da pressão ao nível médio do mar (Fig. 5.39) e do vento em altitude (Fig. 5.40), para as 00 UTC do dia 15. De maneira geral, áreas de baixa pressão dominam toda a América do Sul, ao norte de 30°S, onde áreas de nebulosidade são vistas na Figura 5.38b. O aglomerado convectivo com precipitação intensa associada pode ser visualizado, na mesma imagem, sobre o leste da Bahia, ao sul de Salvador. Duas baixas frontais são vistas sobre o Atlântico Sul, uma intensa, centrada próximo de (50°S, 55°W), e outra em (35°S, 20°W). Um núcleo com pressão central de 1034 hPa separa as duas baixas frontais.

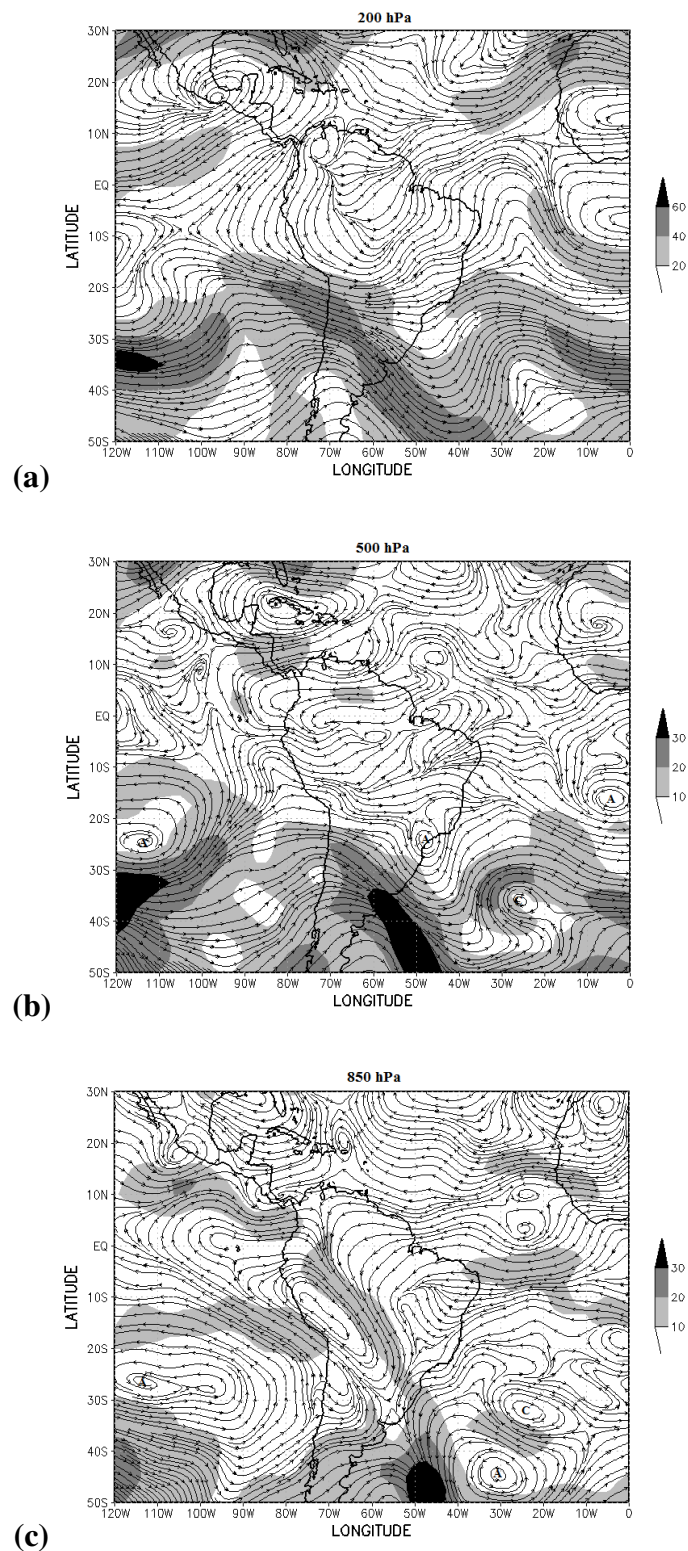
**Figura 5.39** – Pressão reduzida ao nível médio do mar (hPa) para as 21 HL do dia 14 de outubro de 2006. O intervalo de análise é de 2 hPa. (Fonte dos dados: *NCEP/NCAR*).



No campo do vento em 850 hPa há um cavado nos alísios de sudeste sobre o Nordeste (Fig. 5.40c). É na área sul desse cavado, sobre o Estado da Bahia, que o aglomerado convectivo visto na sequência de imagens da Figura 5.38 se desenvolve. Uma área de confluência se estende desde a extremidade noroeste do continente até o sul do Brasil e o Uruguai. O anticiclone sobre o Atlântico Sul e os cavados frontais também são evidentes. No nível de 500 hPa o cavado do ciclone frontal centrado em torno de (35°S, 25°W) se estende sobre o Estado da Bahia (Fig. 5.40b), enquanto que uma configuração de difluência domina a área norte do Nordeste. O anticiclone/crista sobre o Atlântico Sul e o cavado frontal na retaguarda também são vistos nesse nível. No nível de 200 hPa, além dos cavados e da crista já identificados no nível de 500 hPa (Fig. 5.40c), há também um cavado de grande amplitude que se estende sobre o Atlântico Tropical entre as latitudes de 20°S e 10°N, aproximadamente.



**Figura 5.40** – Análise de linhas de corrente e velocidade do vento para as 21 HL do dia 14 de outubro de 2006 nos níveis de: (a) 200 hPa, (b) 500 hPa e (c) 850 hPa. A velocidade do vento ( $\text{m s}^{-1}$ ) é representada pela escala de tons de cinza situada à direita dos mapas. Observe que os valores em (a) diferem daqueles em (b) e (c). (Fonte dos dados: *NCEP/NCAR*).



## CAPÍTULO 6

### CONCLUSÕES

As áreas de interesse para este estudo foram quatro localidades do planalto costeiro do Estado da Bahia: Salvador, Ilhéus, Eunápolis e Teixeira de Freitas. O objetivo fundamental foi estudar a variabilidade da precipitação em várias escalas de tempo, com foco no ciclo diário e em eventos intensos de precipitação, no período de abril de 2000 a fevereiro de 2009. Totais horários de chuva constituíram o principal conjunto de dados da pesquisa. O ciclo diário da precipitação foi analisado através do total precipitado e da frequência de chuva (em dias) nos 24 intervalos de uma hora que constituem um dia. A técnica do percentil aplicada às séries temporais dos totais diários de precipitação possibilitou identificar eventos intensos.

Chove em todos os meses do ano nas quatro localidades. Os meses mais chuvosos variam entre as localidades: o quadrimestre de abril a julho em Salvador, o bimestre março-abril em Ilhéus, o bimestre março-abril e o trimestre outubro-novembro-dezembro em Eunápolis, o quadrimestre de janeiro a abril e o bimestre novembro-dezembro em Teixeira de Freitas. De maneira geral, nos anos com totais pluviométricos mais elevados a frequência de dias com chuva e o número de eventos intensos de chuva tem valores mais altos.

O ciclo diário da frequência de chuva tem aspectos semelhantes para Salvador e Ilhéus, como o mínimo vespertino e o máximo na madrugada (Ilhéus) e manhã (Ilhéus e Salvador). O ciclo diário de Eunápolis e Teixeira de Freitas apresenta dois períodos de máximo (início da manhã e início da tarde), e dois de mínimo, um breve, no meio da manhã, e outro prolongado, no período da noite. É formulada a hipótese de que o contraste térmico terra-mar determina o ciclo diário em Salvador e Ilhéus, enquanto que o relevo representa um fator adicional em Eunápolis e Teixeira de Freitas.

Num estudo de caso selecionado foi analisado um aglomerado convectivo que se desenvolveu na área de um cavado no escoamento de leste sobre o Estado da Bahia, na noite do dia 14 e madrugada do dia 15 de outubro de 2006. Totais pluviométricos diários elevados foram registrados no dia 15 em Ilhéus (42,8 mm), Eunápolis (93,8 mm), e Teixeira de Freitas (73,0 mm).

## REFERÊNCIAS

- ALVES, J. M. B.; TEIXEIRA, R. F. B.; FERREIRA, A. G. Um intenso Sistema Convectivo de Mesoescala no setor leste da Região Nordeste: O caso de 20 a 21 de maio de 1999. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.16, n.1, p. 19-31, 2001
- ALVES, J. M. B.; FERREIRA, F. F.; CAMPOS, J. N. B.; ASSIS, F. S. F.; SOUZA, E. B.; DURAN, B. J.; SERVAIN, J.; STUDART, T. M. Mecanismos atmosféricos associados à ocorrência de precipitação intensa sobre o nordeste do Brasil durante janeiro-2004. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.1, p. 56-57, 2006.
- ALVES, R. R.; GALVANI, E. Ocorrência horária e sazonal das precipitações no município de São Paulo, SP. **Revista Geonorte**, Ed. Especial 2, v.2, n.5, p. 530 – 540, 2012.
- ANGELIS, C. F.; MCGREGOR, G. R.; KIDD, C. Diurnal cycle of rainfall over the Brazilian Amazon. **Climate Research**, v. 26, p. 139–149, 2014.
- ANJOS, B. L., COSTA, A. M.; ANJOS, D. L. Chuvas diárias em João Pessoa. Uma contribuição para a defesa civil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis-SC.
- BANDEIRA, M. M.; MELO, E. C. S. Atuação do Vórtice Ciclônico de Altos Níveis Sobre o Nordeste do Brasil no Mês de Janeiro nos Anos de 2004 e 2006. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006. Florianópolis.
- BARBOSA SILVA, A. **Análise em componentes principais das condições atmosféricas em episódios de rajadas de vento na região metropolitana de Salvador**. 2014. 84 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2014.
- BARBOSA SILVA, A.; SILVA ARAGÃO, M. R.; CORREIA, M. F. Condições sinóticas em episódio de rajadas de vento na Região Metropolitana de Salvador. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 4, p. 635-651, 2013.

BARBOSA, T. F. e CORREIA, M. F., Sistemas Convectivos no Semi-Árido Brasileiro: o controle da Grande Escala. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.3, 395-410, 2005.

BARRETO, A. B.; SILVA ARAGÃO, M. R.; CORREIA, M. F.; SANTOS, A. H. M. Uma investigação sobre eventos de chuva intensa na cidade de Salvador, Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 15., 2008, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2008. 1 CD-ROM.

BARRETO, A. B.; SILVA ARAGÃO, M. R.; CORREIA, M. F. Variabilidade temporal da precipitação em Salvador-BA e os eventos extremos de chuva. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 6., 2012, João Pessoa - PB.

BARRETO A. B.; SILVA ARAGÃO, M. R.; CORREIA, M. F.; MEDEIROS, B. C. Variabilidade da precipitação em Caravelas-BA e os eventos extremos. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 7., 2014, Natal-RN.

BERRY, F. A.; BOLLAY, E.; BEERS, N. R. **Handbook of Meteorology**. New York: McGraw-Hill Book, 1945, 1068p.

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA DIAS, M. A. F.; JUSTI, M. G. A. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 464 p., 2009.

CHAVES, R. R. **Variabilidade da precipitação na região sul do Nordeste e sua associação com padrões atmosféricos**. São José dos Campos, 1999, 159p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São Paulo. 1999.

COSTA, S. B. **Balances de vortacidade e energia aplicados aos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis atuantes no Oceano Atlântico Tropical Sul e adjacências**. São Paulo, 2009. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). USP, São Paulo, 2009.



COUTINHO, E. C.; FISH, G. Distúrbios ondulatórios de leste (DOLs) na região do centro de lançamento de Alcântara – MA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 2, p. 193-203, 2007.

DERECZYNSKI, C. P; OLIVEIRA, J.S; MACHADO, C. O. Climatologia da precipitação no município do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 1, p. 24-38, 2009.

FRANCIS, P. A.; GADGIL, S. Intense rainfall events over the west coast of India. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v. 94, n. 1, p. 27-42, nov. 2006.

FERREIRA, N. J.; SANCHES, M.; SILVA DIAS, M. A. F. Composição da zona de convergência do Atlântico Sul em períodos de El Niño e La Niña. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 1, p. 89-98, 2004.

GAN, M. A.; KOUSKY, V. E, 1982. Estudo observacional sobre as baixas frias da alta troposfera nas latitudes subtropicais do Atlântico Sul e Leste do Brasil. São José dos Campos, INPE,. (INPE -2579-PRE/227)

HASTENRATH, S., AND L. HELLER, 1977: Dynamics of climatic hazards in north-east Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society.**, 110, 411-425.

HIGGINS, R. W., J.-K. E. SCHEMM, W. SHI, LEETMAA. A. Extreme Precipitation Events in the Western United States Related to Tropical Forcing. **Journal of Climate**, v. 13, p. 793–820, 2000.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?uf=29&dados=1>>. Acesso em: 07 de jun. 2016.

KOUSKY, V.E. Frontal influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 107, p. 1140-1153, 1979.

KOUSKY, V.E. Diurnal rainfall variation in northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 108, n. 4, p. 488-498, 1980.

LOPO, A. B; MATA, M. V. M.; ANDRADE, R. L.; SANTOS e SILVA, C. M. Ciclo diário de precipitação sobre a cidade de Natal-RN. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2010, Belém-PA.

MAPES, B. E.; WARNER, T.; XU, M. Diurnal patterns of rainfall in Northwestern South America. Part III: diurnal gravity waves and nocturnal convection offshore. **Monthly Weather Review**, v. 131, p. 830-844, 2003.

MEDEIROS, C. M; BARRETO, A. B; OLIVEIRA, J. D. A; SILVA ARAGÃO, M. R. Análise quantitativa da variabilidade da chuva em João Pessoa - PB, em várias escalas de tempo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, p. 1748-1761, 2015.

MENEZES D.C.; FEDOROVA N. Análise de um caso de vórtice ciclônico em altos níveis e a sua influência na precipitação sobre a cidade de Maceió-AL no mês de janeiro de 2002. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2004, Fortaleza-CE, 2004.

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

PAIVA NETO, A. C. **Distúrbios de leste: Diagnóstico e relação com a precipitação no estado da Paraíba em períodos de contraste**. 2003. 107 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2003.

PINKAYAN, S. **Conditional probabilities of occurrence of wet and dry years over a large continental area**. Boulder-CO: Colorado State University, 1966. (Hydrology Papers, 12).

POVEDA, G.; MESA, O.; SALAZAR, L.; ARIAS, P.; MORENO, H.; VIEIRA, S.; AGUDELO, P.; TORO, V.; ALVAREZ, J. The diurnal cycle of precipitation in the tropical Andes of Colombia. **Monthly Weather Review**, v. 133, p. 228-240, 2005.

QUADRO, M. F. L. **Estudo de episódios de zona de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul**. 1994. 94 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos. 1994.

RIBEIRO, R. E. P.; SILVA ARAGÃO, M. R.; CORREIA, M. F. Distúrbio ondulatório de leste e linhas de instabilidade: impacto na precipitação no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 4, p. 837-856, 2013.

SANTOS, A. H. M. **Eventos extremos de chuva em Salvador, Bahia: Condições atmosféricas e impactos ambientais**. 2008. 83 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-Pb, 2008.

SANTOS, A. H. M.; SILVA ARAGÃO, M. R.; CORREIA, M. F.; ARAÚJO, H. A.; BARBOSA SILVA, A. Distúrbio ondulatório de leste e seus impactos na cidade de Salvador. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 3, p. 355-364, 2012.

SANTOS, A. P. P.; SILVA ARAGÃO, M. R.; CORREIA, M. F.; SANTOS, S. R. Q.; SILVA, F. D. S.; ARAÚJO, H. A. Precipitação na cidade de Salvador: Variabilidade temporal e classificação em quantis. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 4, p. 454-467, 2016.

SANTOS, D. D; GALVANI, E. Distribuição sazonal e horária das precipitações em Caraguatatuba-SP e a ocorrência de eventos extremos nos anos de 2007 a 2011. **Ciência e Natura**, Santa Maria v. 36, n. 2, p. 214-229, 2014.

SANTOS, N. A. **Modulação regional da precipitação e temperatura da superfície do mar no estado da Bahia**. 2016. 89 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-Pb, 2016.

SANTOS NETO, L. A.; MANIESI, V.; SILVA, M. J. G.; QUERINO, C. A. S.; LUCAS, E. W. M.; BRAGA, A. P.; ATAÍDE, K. R. P. Distribuição horária da precipitação em Porto Velho-RO no período de 1998 – 2013. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.14, p.213-228, 2014.

SILVA ARAGÃO, M. R.; BARRETO, A. B.; CORREIA, M. F.; ARAÚJO, H. A. Variabilidade sazonal e horária da chuva na cidade de Salvador, Bahia. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 9., 2008, Salvador-BA. **Anais...** Salvador-BA: ABRH, 2008. 1 CD-ROM.

SILVA ARAGÃO, M. R.; CORREIA, M. F.; BARRETO, A. B.; ARAÚJO, H. A. Chuvas máximas horárias na cidade de Salvador, Bahia. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 10., 2010, Fortaleza-CE.

SOUSA, E. B.; ALVES, J. M. B.; REPELLI, C. A. Um Complexo Convectivo de Mesoescala Associado à Precipitação Intensa sobre Fortaleza. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 13, n. 2, p. 01–14, 1998.

TEIXEIRA, M. S.; SATYAMURTY, P. Eventos extremos de precipitação na região da Serra do Mar. Parte I – Descrição estatística da precipitação diária. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis-RS.

TEIXEIRA, M. S.; SATYAMURTY, P. Dynamical and synoptic characteristics of heavy rainfall episodes in southern Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 135, p. 598-617, 2007.

VAREJÃO-SILVA, M. A. *Meteorologia e Climatologia*. Brasília, DF: Ed. Pax, INMET, 2001. 352 p.