

**VARIABILIDADE TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO EM SALVADOR-  
BA E OS EVENTOS EXTREMOS DE CHUVA**

*Aldinete Bezerra Barreto<sup>1</sup>; Maria Regina da Silva Aragão<sup>2</sup>; Magaly de Fatima Correia*

<sup>1</sup> Profa. Dra., Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia/Universidade Federal de Campina Grande- Sumé. aldibarreto@ufcg.edu.br. <sup>2</sup> Profa. Dra., Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas/Universidade Federal de Campina Grande. Regina@dca.ufcg.edu.br. <sup>3</sup> Profa. Dra., Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas/Universidade Federal de Campina Grande. magaly@dca.ufcg.edu.br.

**RESUMO:** O objetivo neste estudo é caracterizar o regime de precipitação de Salvador, com foco em eventos extremos de chuva (total diário igual ou maior do que 50 mm). Os totais pluviométricos diários e mensais observados na estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) no período 1964-2009 possibilitaram analisar a frequência de dias com chuva e a dos eventos extremos, estudar a variabilidade sazonal da precipitação e obter desvios padronizados (DPP) mensais em relação à climatologia. Os resultados mostraram que o quadrimestre chuvoso é composto pelos meses de abril a julho, que contribuem com 51% (1088,4 mm) do total anual de chuva, com máximo mensal no mês de maio (359,9 mm). Houve um total de 228 eventos extremos de chuva, dos quais 140 (61%) ocorreram no quadrimestre chuvoso. Foi possível concluir que o total pluviométrico esteve acima do valor climatológico na maior parte dos meses em que ocorreram eventos extremos. A relação direta entre a ocorrência de eventos e a magnitude e sinal do DPP foi diagnosticada através de valores de correlação: altos ( $> 0,8$ ) em janeiro, abril, maio, junho e dezembro, e baixo ( $< 0,4$ ) em julho.

Palavras-chave: precipitação, percentil, desvio padronizado

**ABSTRACT:** The objective in this study is to characterize the precipitation regime of Salvador, with a focus on extreme rainfall events. (daily precipitation total equal or higher than 50 mm). The daily and monthly rainfall totals observed at the Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) meteorological station during the period 1964-2009 allowed to analyze the frequency of raindays and extreme events, to study the seasonal rainfall variability, and to obtain monthly standardized deviations (SPD) with respect to climatology. The results showed that the rainiest four-month period is from April to July, contributing with 51% (1088.4 mm) of the annual rainfall, with a monthly maximum in May (359.9 mm). There was a total of 228 extreme rainfall events, among which 140 (61%) occurred in the rainiest four-month period. It was possible to conclude that the rainfall was above climatological values in the majority of the months with extreme rainfall events. The direct relationship between the occurrence of events and the SPD magnitude and sign was diagnosed by means of correlation values; high ( $> 0.8$ ) in January, April, May, June, December, and low ( $< 0.4$ ) in July.

**Keywords:** precipitation, percentile, standardized deviation

## **1 - INTRODUÇÃO**

No estudo climático de uma região, uma das variáveis meteorológicas mais importantes é a precipitação. Nas grandes áreas urbanas do Brasil, a precipitação é o fator meteorológico

responsável pela ocorrência de alagamentos e pelo desabamento de moradias em deslizamentos de encostas.

A vulnerabilidade das áreas urbanas aos eventos intensos de precipitação é agravada quando associada a problemas de infra-estrutura urbana, a exemplo do sistema de drenagem que não suporta o grande volume de água, não só por causa das chuvas em excesso, mas também por conta do acúmulo de lixo e entulho. Isso dificulta o escoamento da água, provocando alagamentos, interditando vias, e impossibilitando o tráfego de pessoas e de automóveis, o que causa transtornos e prejuízos à população. Outros problemas bastante comuns são os deslizamentos de encostas devido à saturação do solo e alagamentos em ocupações de áreas de várzea. O crescimento urbano desordenado e sem planejamento público intensifica e diversifica esses desastres nas áreas urbanas, tendo em vista que a supressão da vegetação e impermeabilização dos solos compromete o ciclo hidrológico nas cidades e submete populações a impactos sociais, econômicos e ambientais.

O estudo da intensidade e frequência das precipitações extremas abrange diferentes áreas de interesse, tais como a agricultura, turismo, saúde, como também seus impactos aos recursos hídricos. Assim, conhecer as características dessas chuvas é importante, uma vez que sua intensidade pode resultar em prejuízos a diversos setores.

No Nordeste do Brasil as maiores concentrações urbanas estão na faixa litorânea, onde também são registrados alguns dos mais elevados totais pluviométricos anuais (2000 mm) do país (RAMOS *et al.*, 2009). Os problemas decorrentes dessa relação litoral-área urbana-chuva intensa têm certa semelhança entre si, apresentando leves variações de região para região, de acordo com as especificidades de cada uma.

Na cidade de Salvador, capital baiana situada no litoral leste do Nordeste, cujo total anual de chuva é de 2144,0 mm (RAMOS *et al.*, 2009), os riscos e prejuízos relacionados com chuvas intensas e contínuas ocorrem principalmente no outono e inverno (Barreto *et al.*, 2008). Sendo a terceira cidade do Brasil com 2.675.656 habitantes, Salvador é particularmente vulnerável a eventos intensos de chuva, não somente pela ocupação precária e desordenada do solo urbano, mas também por seu relevo acidentado formado por vales e colinas com altitudes que variam de 10 a 110 m.

É sabido que o esforço para minimizar as consequências das chuvas fortes em área urbana requer uma abordagem multifatorial que envolve, desde a implantação de políticas públicas para o uso e a ocupação do solo urbano, até um conhecimento mais profundo do regime pluviométrico e das circulações atmosféricas que o condicionam. Esse estudo, que tem como foco principal os eventos extremos de chuva de Salvador, tem o objetivo de investigar e analisar a variabilidade da precipitação em várias escalas de tempo.

## 2- MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foram utilizados dados de precipitação diária e mensal observados na estação climatológica principal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em Salvador (13°00'S, 38°30'W, 51,41m), no período de 1964 a 2009. Foram excluídos 11 anos da análise, dos quais 7 com total ausência de dados (1971-1972, 1981-1985) e os anos de 1986, 1988, 1989 e 1990 por apresentarem alguns meses sem dados diários. Esses dados foram usados a fim de identificar variações diárias, sazonais e interanuais da chuva de Salvador e também seus eventos extremos de precipitação. Neste estudo foram usados métodos de análise estatística ((Percentis, Desvio Padronizado, Correlações Lineares).

Utilizando software EXCEL foi calculado, para cada mês do período, o número de dias com chuva, o número de eventos extremos de precipitação (NEE), a Chuva Mensal ( $x_i$ ), a Média Mensal Climatológica ( $\mu_i$ ) e o Desvio Padrão ( $\sigma_i$ ) que permitiu o cálculo posterior do Desvio Padrão Padronizado (DPP), e por último os coeficientes de correlação entre os DPPs e os NEE.

A princípio foi construída uma série histórica com o número de dias com chuva no mês e outra série em que essa chuva apresenta valores extremos. Na determinação dos eventos extremos de precipitação alguns anos foram excluídos da análise, uns por total ausência de dados diários e outros por apresentar alguns meses sem dados diários.

Para definir qual valor diário de precipitação é considerado como evento extremo, foi utilizada a técnica do percentil. Nesse estudo o evento é considerado como extremo se o total pluviométrico diário for maior do que o percentil P=98, que é determinado da seguinte maneira:

Considere a notação  $P_{[(n)x(p)]+}$ , onde  $n$  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 posição seguinte, e se **np** é inteiro, então  $P_{[(n)x(p)]+}$  é o valor da média desta e da observação seguinte.

Posteriormente foram calculados os totais mensais de precipitação ( $x_i$ ) para cada ano, para então calcular a Média Mensal Climatológica ( $\mu_i$ ) da série

$$\mu_i = \sum_{j=1}^n \frac{x_{ij}}{n} \quad (1)$$

na qual  $i=1, 2, 3, \dots, 12$  identifica o mês e  $j=1,2,3, \dots, n$  identifica o ano.

O Desvio Padrão Mensal ( $\sigma_i$ ), que permite a observação da variação dos dados em relação à média aritmética da série, foi calculado considerando um grau de liberdade ( $n-1$ ), recomendado para uma série de dados superior a 30 anos.

$$\sigma_i = \sqrt{\sum_{j=1}^n \frac{(x_{ij} - \mu_i)^2}{n-1}} \quad (2)$$

Usando a equação (1) e (2) foi calculado o Desvio Padronizado de Precipitação Mensal ( $DPP_{ij}$ ), que permite alocar os dados em classes positivas e negativas, fornecendo informações quanto à magnitude da anomalia.  $DPP_{ij}$  negativo (positivo) indica que a chuva acumulada num determinado mês esteve abaixo (acima) da média mensal do período. O  $DPP_{ij}$  (de agora em diante denominado DPP ou DPPs) é dado por

$$DPP_{ij} = \left( \frac{x_{ij} - \mu_i}{\sigma_i} \right) \quad (3)$$

Os DPPs também são utilizados para investigar a existência de possíveis relações entre a ocorrência de eventos e total mensal de chuva abaixo ou acima da média. Para tanto foram calculadas correlações entre os DPPs e o número de eventos extremos em cada mês. A medida de associação utilizada foi o coeficiente de correlação linear ou de Pearson.

A partir de então foram construídos gráficos e tabelas para a visualização dos resultados, elaborados de forma a facilitar a compreensão dos resultados.

### 3- RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 1 apresenta a distribuição anual da precipitação, considerando os totais anuais e a média anual de todo o período. A média ficou em torno de 1997,2 mm. O ano com maior total anual foi 1964 (3.223,20 mm), seguido por 1999 (2677,9 mm) e 1975 (2672,9 mm). Os episódios de La Niña registrados nesses anos podem ter contribuído para esses valores elevados. O menor total anual de precipitação foi registrado em 1993 (1233,2 mm), ano de El Niño.

A Figura 2 ilustra as normais mensais de precipitação do período 1961-1990 (RAMOS et al., 2009), e as médias mensais e os desvios padrões do período 1964-2009. Na figura, a climatologia mensal da precipitação apresenta valores bem próximos dos valores médios mensais observados no período em estudo, e identifica os meses de abril a julho como os mais chuvosos. Assim, o quadrimestre mais chuvoso apresenta uma precipitação média mensal que varia de 175,0 mm a 359,9 mm, representando quase 51% (1088,4 mm) do total anual das chuvas na cidade. Resultados

semelhantes foram encontrados por Rao *et al.* (1993), que constataram que a estação chuvosa na faixa litorânea leste do Nordeste do Brasil é de abril a julho (60% da precipitação anual), e por Barreto *et al.* (2008), que encontraram o mesmo quadrimestre chuvoso para a cidade de Salvador no período 1964-2007. O mês de maio é o mais chuvoso do ano (359,9 mm). O desvio padrão mostra valores muito próximos da média nos meses de dezembro e janeiro, o que representa uma maior diferença entre os valores mensais da série, indicando a ocorrência de chuvas atípicas nesses meses.

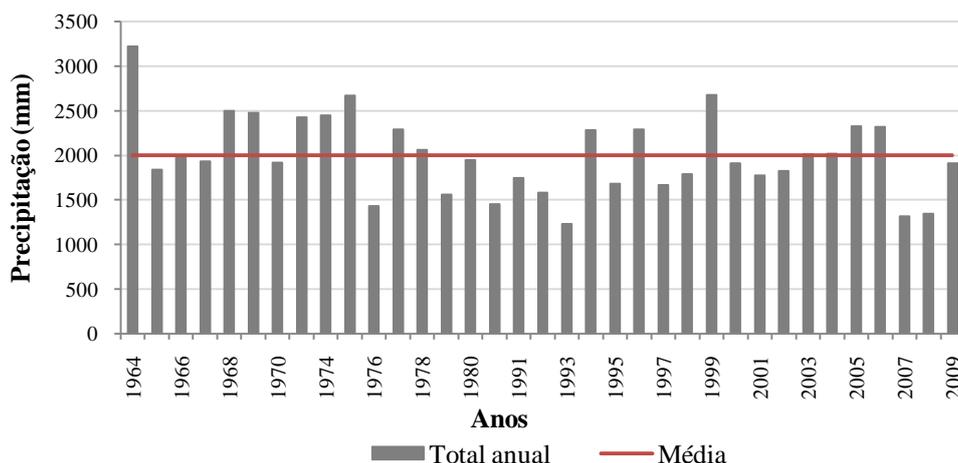


Figura 1. Distribuição do total anual de precipitação e média climatológica do período 1964-2009 da estação de Salvador (*Fonte dos dados: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)*).

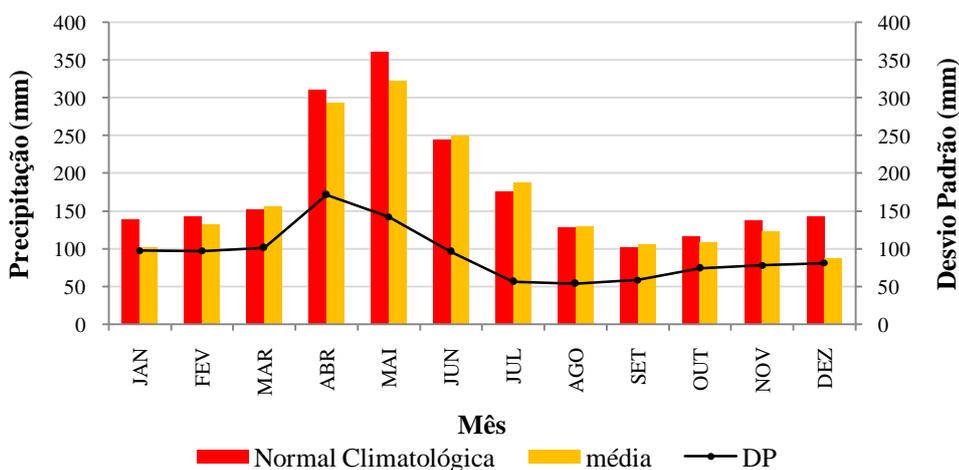


Figura 2. Distribuição mensal da normal climatológica de precipitação (1961-1990) e da precipitação média e desvio padrão (DP) do período 1964-2009 da estação de Salvador (*Fonte dos dados: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)*).

A Tabela 1 apresenta o número de dias com chuva quando considerado o período mensal e anual. Nessa Tabela observa-se que o número médio anual de dias com chuva é 206. O valor máximo do número de dias com chuva é visto em 1964 (254), e o mínimo em 1993 (164). Analisando o quadrimestre chuvoso, observa-se que o valor médio mensal varia entre 21 e 23 dias.

O valor máximo, 29 dias, é visto nos meses de maio, junho e julho, e o valor mínimo, 3 dias, em dezembro de 1993.

Tabela 1. Frequência mensal do número de dias com chuva no período 1964-2009

<b>Ano/Mês</b>	<b>jan</b>	<b>fev</b>	<b>mar</b>	<b>abr</b>	<b>mai</b>	<b>jun</b>	<b>jul</b>	<b>ago</b>	<b>set</b>	<b>out</b>	<b>nov</b>	<b>dez</b>	<b>Total anual</b>
1964	21	17	24	27	29	22	21	26	24	15	17	11	<b>254</b>
1965	16	6	14	27	22	27	21	18	13	9	12	13	198
1966	14	23	17	19	24	26	29	20	22	12	21	17	244
1967	8	17	24	21	28	21	24	28	15	14	12	16	228
1968	14	19	24	17	26	27	19	19	16	10	18	12	221
1969	14	15	23	22	25	25	24	19	11	14	8	18	218
1970	13	16	21	16	20	23	26	24	9	10	14	10	202
1973	13	8	8	22	25	27	22	17	19	18	16	10	205
1974	15	22	20	23	28	24	28	23	22	12	15	17	249
1975	17	13	21	21	29	18	24	24	23	13	15	22	240
1976	16	21	20	22	12	19	20	17	11	17	12	5	192
1977	17	23	14	22	25	25	25	14	19	24	8	18	234
1978	15	14	24	18	21	20	27	17	19	12	12	17	216
1979	7	20	14	22	18	28	22	22	9	9	8	13	192
1980	16	21	19	14	24	15	21	16	21	14	12	10	203
1987	7	13	19	19	19	24	23	12	22	8	15	10	191
1991	11	15	20	21	28	29	23	24	17	12	10	9	219
1992	14	23	17	16	15	24	22	14	18	5	11	8	187
1993	6	11	7	15	23	21	17	18	10	21	12	<b>3</b>	<b>164</b>
1994	9	14	17	24	24	25	25	22	17	13	8	9	207
1995	7	8	12	17	21	24	22	16	17	5	18	6	173
1996	10	9	10	24	21	19	19	18	18	9	16	8	181
1997	9	27	22	22	26	17	21	20	8	9	7	7	195
1998	17	10	10	16	22	22	22	20	17	11	10	11	188
1999	13	19	11	20	22	22	26	22	16	14	19	20	224
2000	11	15	21	25	24	25	23	20	23	9	12	13	221
2001	18	9	16	22	18	27	20	26	15	16	7	15	209
2002	22	7	19	21	19	29	25	22	20	9	10	6	209
2003	8	13	22	18	22	23	22	21	17	11	17	8	202
2004	20	13	16	21	22	28	27	20	13	18	15	4	217
2005	12	16	13	26	21	25	22	27	10	11	10	12	205
2006	13	5	11	25	21	22	15	20	12	20	12	10	186
2007	7	20	21	16	16	19	20	22	16	11	9	8	185
2008	8	11	15	17	15	22	24	16	12	13	6	16	175
2009	11	18	8	20	24	17	20	20	11	11	5	5	170
<b>Valor médio</b>	13	15	17	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>23</b>	20	16	13	12	11	206
<b>Valor máximo</b>	22	27	24	27	<b>29</b>	<b>29</b>	<b>29</b>	28	24	24	21	22	254
<b>Valor mínimo</b>	6	5	7	14	12	15	15	12	8	5	5	3	164
<b>Desvio Padrão</b>	4,3	5,5	5,1	3,5	4,1	3,6	3,0	3,8	4,6	4,2	4,0	4,8	

A Tabela 2 contém dados relativos à frequência mensal do número de eventos extremos (NEE) de chuva determinado através da técnica do percentil. Essa técnica aplicada à série temporal dos dados diários permitiu identificar um total de 255 eventos e o valor observado é igual a 47,6 mm. A partir desse valor observado, optou-se por considerar como evento extremo o total diário igual ou superior a 50 mm.

Tabela 2. Frequência mensal do número de eventos extremos de precipitação (NEE), igual ou maior que 50 mm, no período 1964-2009

Ano/Mês	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Total	Total Acumulado
1964	3		2	1	1	2				1	1	2	13	13
1965				1	1						2		4	17
1966					3					1			4	21
1967				2	2							1	5	26
1968	1	2		1	3	2	1				1		11	37
1969			1	1	5	2		1				2	12	49
1970	1	2			1		1		1	1	1		8	57
1973					3	3				1	1		8	65
1974		1		2	2							1	6	71
1975				5	2								7	78
1976					1		1	1					3	81
1977	1			1	1	1			2	1		2	9	90
1978				2	3	1		1		2			9	99
1979				2			1						3	102
1980		1						1			1		3	105
1987					1	1	1				1		4	109
1991	1			2		1							4	113
1992		1									1	1	3	116
1993					2		1						3	119
1994			2	2		3	1	1					9	128
1995				1	2	1	1						5	133
1996				5	1	1			1				8	141
1997		1		1			1			1			4	145
1998				1		2	2						5	150
1999	1		2	3	1		1	2	1	1	3		15	165
2000				1		2			1		1		5	170
2001							1			1			2	172
2002	1				2	1	1	1	1				7	179
2003				1	3	1	1						6	185
2004	2	1	1	2		2					1		9	194
2005		3	3	3									9	203
2006				5	2	2				1	2		12	215
2007		1			1								2	217
2008		1			1								2	219
2009				4	4					1			9	228
<b>TOTAL</b>	11	14	11	49	48	28	15	8	7	12	16	9	228	

A Tabela 2 evidencia que nos anos que compõem a série foram observados 228 eventos extremos de precipitação (total diário igual ou maior do que 50 mm), dos quais 140 ocorreram nos meses de abril, maio, junho e julho, com valores de 49, 48, 28 e 15, respectivamente. Os eventos extremos do quadrimestre chuvoso equivalem a 61% de todos os eventos da série. Entretanto, é importante destacar os meses de novembro e fevereiro por apresentarem número relativamente elevado de eventos (16 e 14, respectivamente), e destacar também que nesses meses o Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) é um sistema atmosférico importante na geração de chuvas intensas (Ramirez, 1996).

A Figura 3 mostra os resultados da análise dos dados mensais da precipitação de Salvador, em conjunto com a normal climatológica e com o número de eventos extremos de precipitação, observados em cada mês da série em estudo. A cidade de Salvador, que tem um relevo bastante acidentado, expandiu-se sobre áreas de encosta, com ocupações desordenadas devido à falta de políticas públicas. Essas áreas são consideradas “áreas de risco”, principalmente em época de precipitação intensa que, muitas vezes, ocasiona graves danos à população, inclusive com a perda de vida. No período de abril a julho, os riscos de acidente são potencializados com as fortes chuvas. Daí a motivação para analisar a variabilidade temporal da precipitação de Salvador, tendo como foco principal a precipitação do quadrimestre chuvoso.

No total de quatro, os meses com o número máximo de eventos estão no bimestre abril-maio. O máximo (5 eventos) é visto em abril de 1975, 1996 e 2006 (Fig. 3a) e maio de 1969 (Fig. 3b).

Há apenas 13 anos com chuva acima da normal climatológica (309,7 mm) do mês de abril (Fig. 3a), nos quais há um total de 39 eventos extremos de precipitação, correspondendo a 80% do número total de eventos desse mês. Os valores máximos da série são vistos no ano de 1975 (737,9 mm), 1996 (757,8 mm) e 2006 (587,4 mm), todos com 5 eventos.

O Boletim de Monitoramento e Análise Climática (CLIMANÁLISE) destacou as enchentes ocorridas no litoral da Região Nordeste no mês de abril de 1996, e associou as chuvas intensas à atuação de distúrbios de leste e de sistemas frontais. Foi dado destaque à chuva forte (232,5 mm) que ocorreu em Salvador no dia 21 de abril de 1996, quando 14 pessoas perderam a vida em um soterramento na favela do Barro Branco, região do Retiro (CODESAL).

Os sistemas frontais também contribuíram para as fortes chuvas de abril de 2006, conforme observado por Santos (2008) ao estudar a ocorrência do evento extremo de precipitação do dia 21 daquele mês.

A Figura 3b, que ilustra os totais pluviométricos do mês de maio, apresenta 15 anos em que a chuva está acima da normal climatológica (359,9 mm). O número de eventos extremos desse mês é 48, sendo que um total de 36 (75%) é visto nos anos que apresentam total mensal acima da normal.

Os máximos mensais (valores acima de 500 mm) estão nos anos de 1969 (592,2 mm), 1973 (599,9 mm), 1975 (560,4 mm), 2003 (550,5 mm) e 2009 (549,3 mm).

No mês de maio de 1973, em apenas três dias consecutivos choveu 309,3 mm, o que representa mais de 95% da normal mensal. Esse total corresponde aos eventos extremos de chuva dos dias 14 (88,3 mm), 15 (93,6 mm) e 16 (127,4 mm). O mês de maio de 2009 também se caracterizou por fortes chuvas. Houve quatro (4) eventos extremos de precipitação. O Relatório Final da Operação Chuva 2009, elaborado pela COORDENADORIA DE DEFESA CIVIL DE SALVADOR (CODESAL), documenta que as chuvas intensas e contínuas provocaram a saturação do solo, o que ocasionou inúmeros acidentes tais como deslizamento de encostas, desabamento de imóveis e alagamento de áreas. Houve vítimas fatais em alguns desses acidentes, além da grande quantidade de famílias desabrigadas e desalojadas. Nos registros da CODESAL, foi o mês que teve o maior número de solicitações (7.550), vistorias (5.652) e famílias cadastradas (2.117), nos últimos anos. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e os distúrbios de leste foram os principais sistemas responsáveis pelas chuvas de maio de 2009, na região Nordeste (CLIMANÁLISE).

Na série temporal do mês de junho (Fig. 3c) são observados 18 meses com chuvas muito próximas ou acima da normal (243,7 mm). Os valores máximos mensais são vistos em 1973 (479,3 mm), 1994 (477,8 mm) e 2006 (401,4 mm), os dois primeiros com três (3) eventos, e o último com dois (2). Vale destacar que, embora junho de 2005 não apresente nenhum evento extremo, seu total mensal (421,1 mm) representa valor superior a 73% da normal climatológica.

No total, é observado um número menor de eventos extremos (28) na série temporal do mês de junho. Um deles, registrado em 2006, foi objeto de estudo de Santos (2008). Ela observou que a chuva teve início na tarde do dia 11, mas foi intensa na madrugada do dia 12. Totais diários acima de 80 mm foram observados em três estações meteorológicas da cidade na manhã desse dia, causados por aglomerados convectivos decorrentes da configuração de um distúrbio de leste. Os danos causados pela chuva forte que castigou a capital baiana foram resultantes de acidentes como deslizamentos de terra, desabamento de imóveis, rompimento de fiação elétrica e queda de árvores. Transtornos também foram enfrentados no trânsito, com a obstrução da pista da Ladeira do Contorno, principal ligação rodoviária entre a Cidade Alta e a Cidade Baixa, que foi interditada devido a um deslizamento de encosta na Rua Visconde de Mauá, na Cidade Alta (<http://www.defesacivil.salvador.ba.gov.br/index.php>).

Julho é o último mês do quadrimestre chuvoso e está representado na Figura 3d. O valor da normal climatológica desse mês é 175,0 mm e são observados 21 meses com chuva acima desse valor. Grande parte dos totais mensais da série varia entre 178 e 336,5 mm, com valores máximos no ano de 1994 (336,5 mm), 1998 (306,5 mm) e 2002 (254,8 mm). Dentre os 35 meses, apenas 14 apresentaram eventos extremos de precipitação, com apenas um máximo (2 eventos) em 1998.

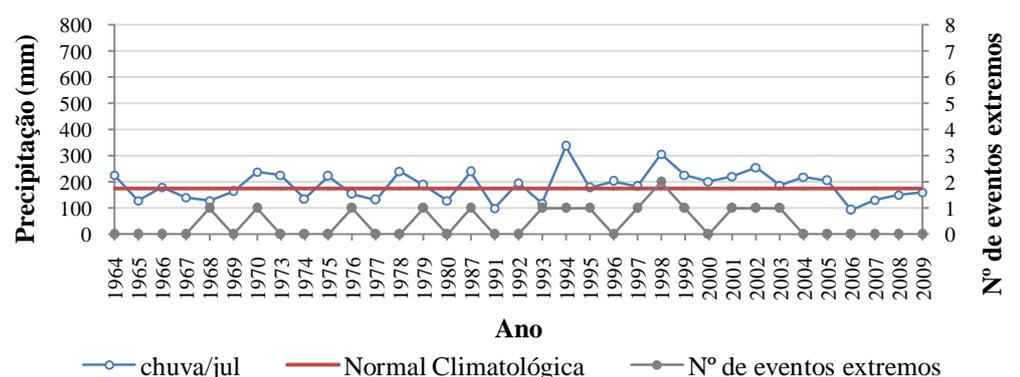
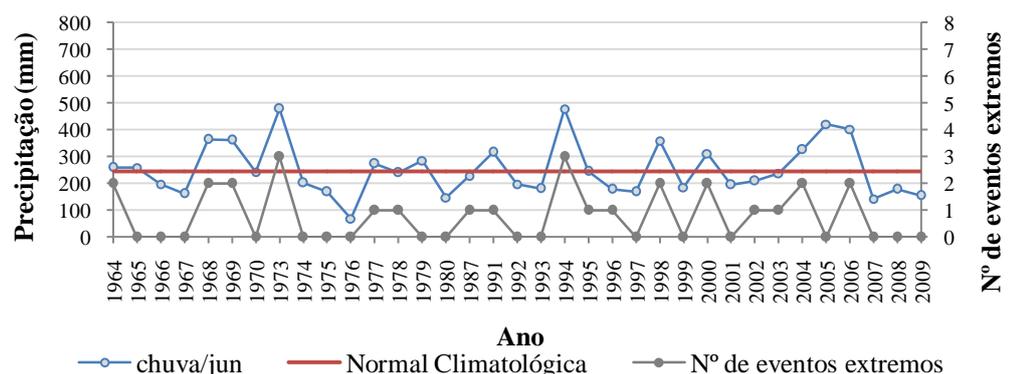
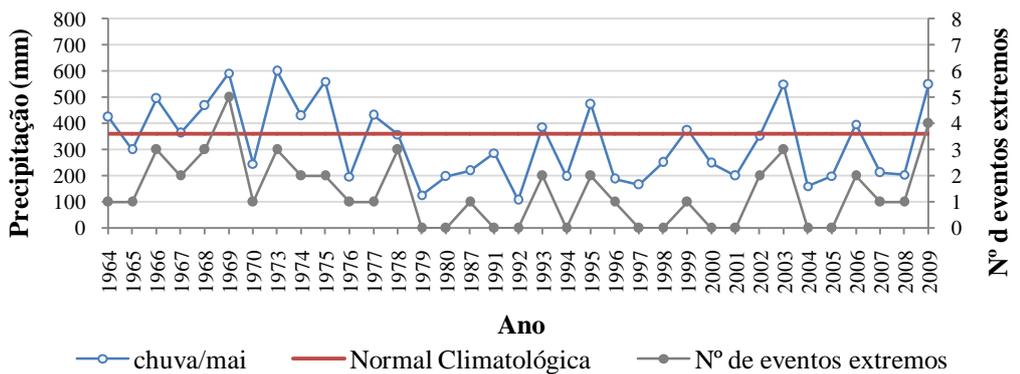
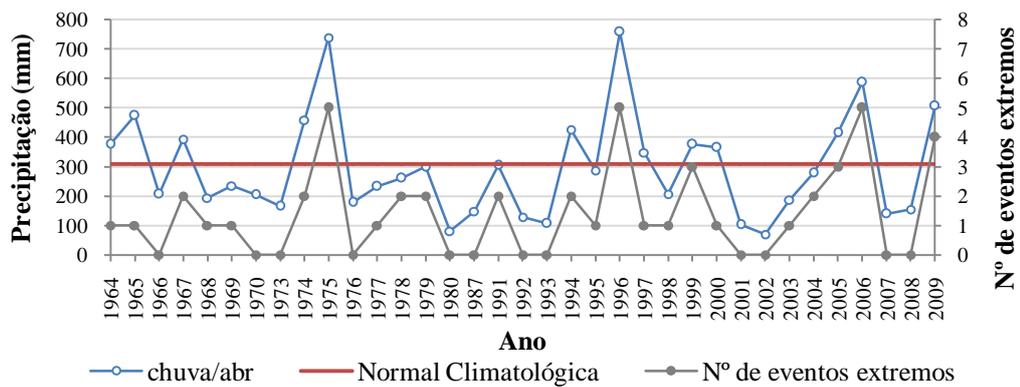


Figura 3. Normal climatológica de precipitação (1961-1990) e variabilidade interanual da precipitação mensal e do número de eventos extremos de precipitação para o período 1964-2009 em Salvador no mês de: (a) abril, (b) maio, (c) junho, (d) julho, (e) agosto, (f) setembro, (g) outubro, (h) novembro, (i) dezembro, (j) janeiro, (k) fevereiro e (l) março. As escalas de (a) a (d) diferem das demais (*Fonte dos dados: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)*).

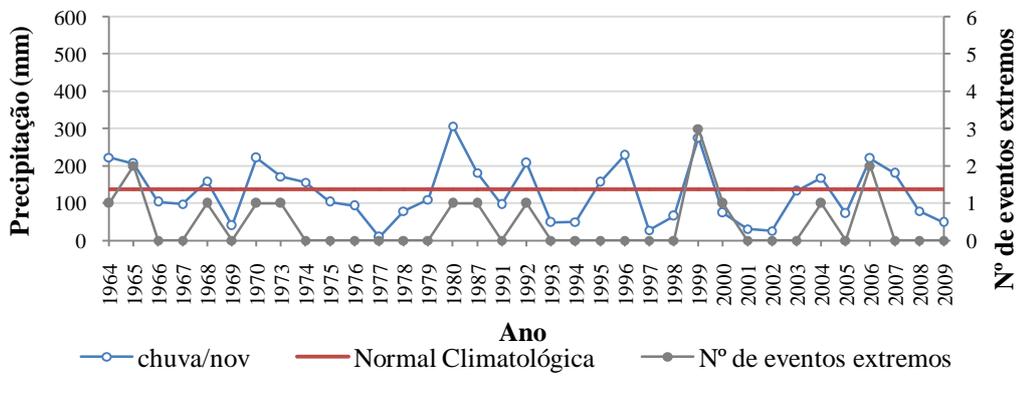
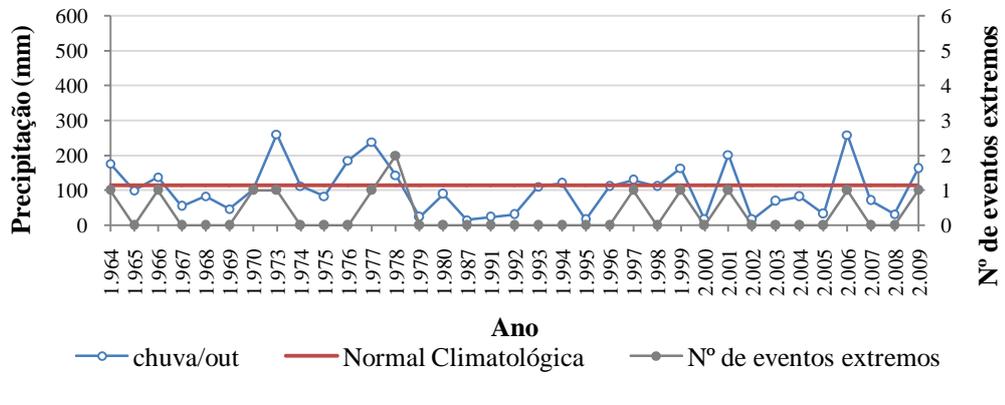
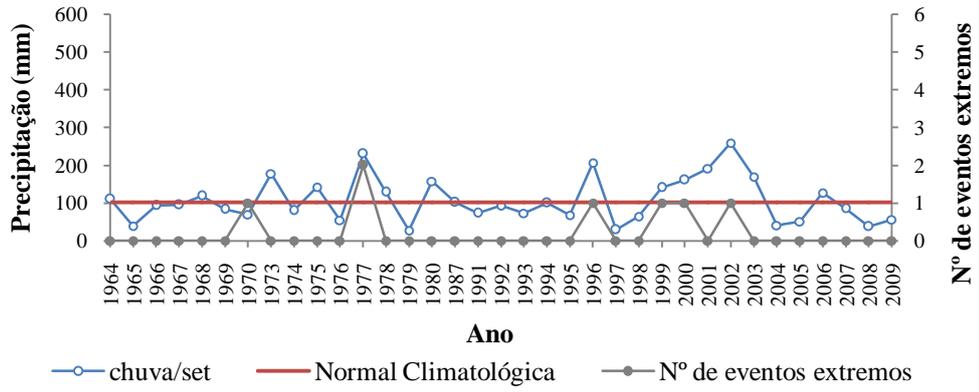
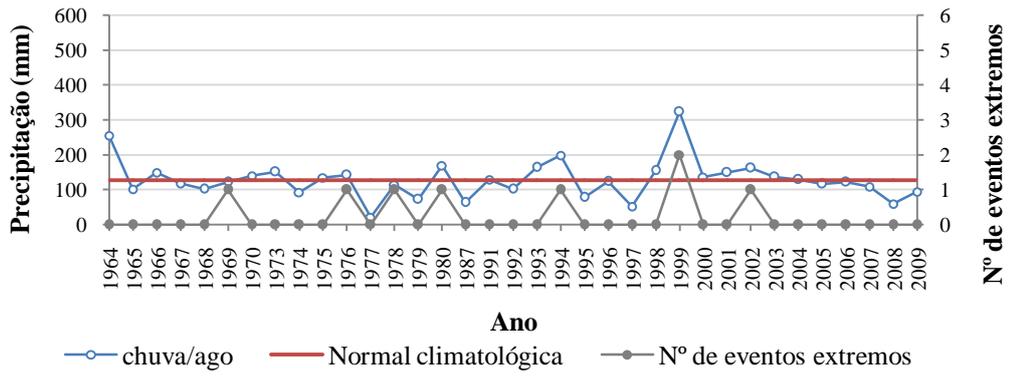
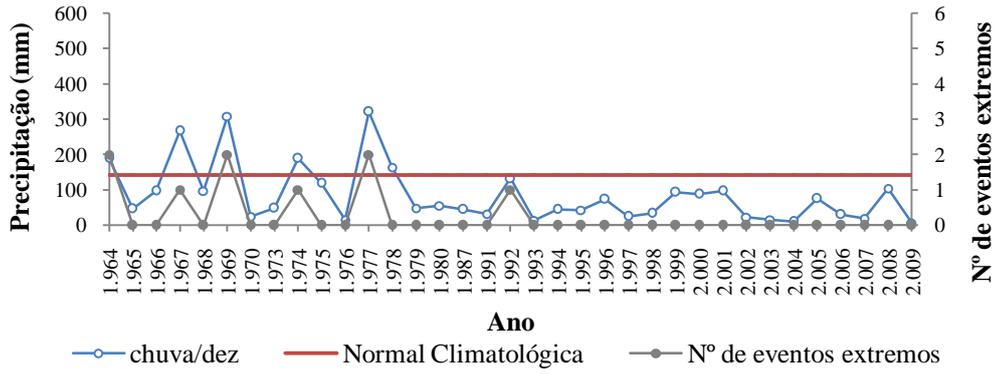
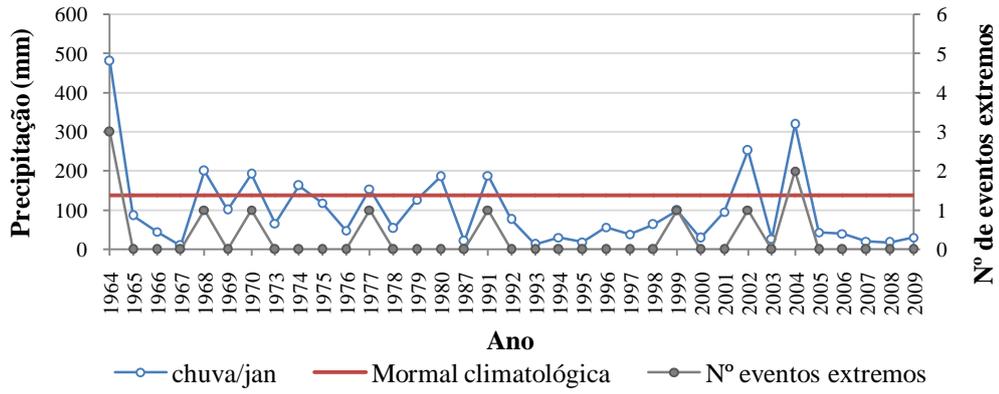


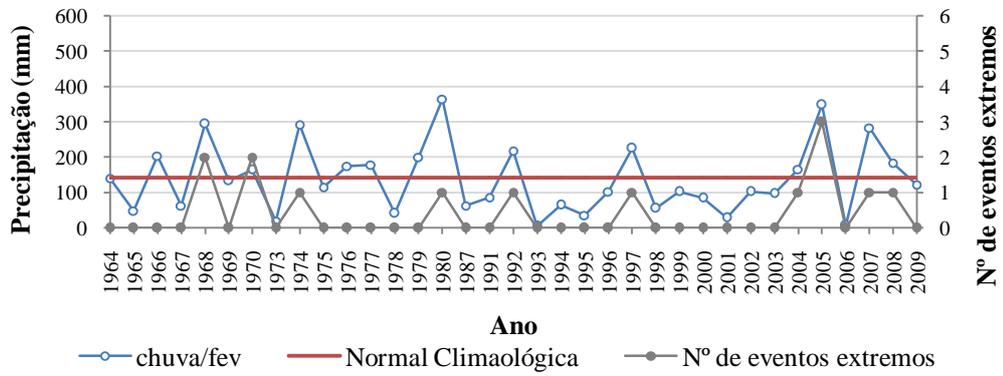
Figura 3. Continuação



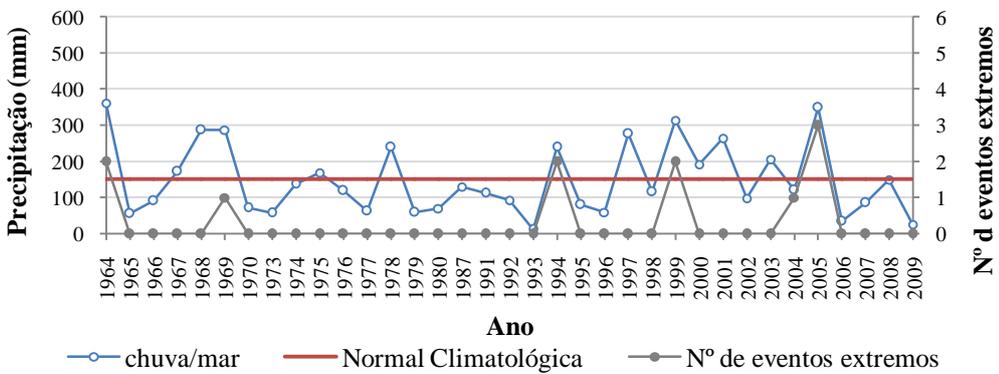
(i)



(j)



(k)



(l)

Figura 3. conclusão

No período compreendido entre os meses de agosto e março os totais pluviométricos são menores, com normal climatológica variando entre 102,0 e 142,8 mm (Fig. 3e-1). O máximo (481,2 mm) da série é visto em janeiro de 1964 e o mínimo (5,5 mm) em fevereiro de 1993. Foi observado um total de 88 eventos extremos de precipitação nesses meses, com mínimo de um evento (1) nos meses de agosto, setembro e dezembro. O máximo de três (3) eventos é visto em novembro de 1999, janeiro de 1964, fevereiro de 2005 e março de 2005.

De modo geral, é possível concluir que a chuva esteve acima da normal climatológica na maior parte dos meses em que houve eventos extremos. Dessa forma, dentre os 228 eventos, 192 deles (84%) são vistos em meses com chuva acima da normal. Vale destacar que foram registrados 113 eventos apenas no quadrimestre chuvoso, o que evidencia a alta frequência de eventos nessa época do ano.

Outra técnica também utilizada para analisar a variabilidade da precipitação foi o Desvio Padronizado de Precipitação Mensal (*DPP*), que permite alocar os dados em classes positivas e negativas, fornecendo informações quanto à magnitude da anomalia. *DPP* negativo (positivo) indica que a chuva acumulada num determinado mês esteve abaixo (acima) da média mensal do período. Esses *DPPs* são vistos na Tabela 3 que apresenta valores negativos e positivos que variam de -2,0 a 3,8.

Na Tabela 3, nos anos de 1976, 1987, 1993, 1995, 2007 e 2008 predominam *DPPs* negativos que são vistos em 9 a 10 meses de cada ano. O número de eventos extremos é pequeno (visto anteriormente na Tabela 2), o que implica em chuvas anuais abaixo da média. No que diz respeito ao ano de 1993, Rao *et al.* (1995) sugerem que os três anos de seca registrados no Nordeste do Brasil em 1990-1993 estariam associados com o El Niño prolongado desse período. O contrário deve ter ocorrido nos anos de 1964 e 1999, anos de La Niña, que apresentam  $DPP > 0$  em todos os meses, exceto em fevereiro e junho de 1999. Os valores máximos da série são vistos em janeiro de 1964 (3,8) e agosto de 1999 (3,5). Os anos de 1964 e 1999 também apresentam os maiores totais de eventos extremos de toda a série, 13 e 15, respectivamente (visto anteriormente na Tabela 2).

Ainda na Tabela 3, o ano de 2009 se destaca por apresentar 9 meses com *DPP* negativo e 9 eventos extremos: 4 em abril, 4 em maio e 1 em outubro (meses com *DPP* positivo).

Comparando as Tabelas 2 e 3, o que se observa é que dentre os 57 meses com  $DPP \leq -1$  apenas 3, todos da estação chuvosa, apresentam evento extremo de precipitação: maio de 1996 (1 evento), julho de 1968 (1 evento) e julho de 1993 (1 evento). Já para os meses em que o  $DPP \geq 1$  observa-se o contrário, ou seja, dentre os 68 meses encontrados, 57 apresentam eventos intensos. Esse resultado indica uma relação direta entre a ocorrência de eventos intensos de precipitação e a magnitude e sinal do *DPP*.

Tabela 3. Desvio Padronizado de Precipitação (DPP) da estação do INMET em Salvador-BA.  
(Fonte dos dados: Instituto Nacional de Meteorologia).

ANO	DPP JAN	DPP FEV	DPP MAR	DPP ABR	DPP MAI	DPP JUN	DPP JUL	DPP AGO	DPP SET	DPP OUT	DPP NOV	DPP DEZ
1964	3,8	0,0	2,2	0,5	0,7	0,1	0,7	2,3	0,1	1,0	1,2	1,3
1965	-0,1	-0,9	-0,9	1,0	-0,2	0,1	-1,1	-0,5	-1,2	0,0	1,0	-0,5
1966	-0,5	0,7	-0,6	-0,5	1,1	-0,6	-0,1	0,4	-0,2	0,5	-0,3	0,1
1967	-0,9	-0,8	0,3	0,6	0,2	-0,9	-0,9	-0,2	-0,2	-0,6	-0,4	2,2
1968	1,0	1,6	1,4	-0,6	1,0	1,1	-1,1	-0,5	0,2	-0,3	0,4	0,1
1969	0,0	0,0	1,4	-0,4	1,8	1,1	-0,4	-0,1	-0,4	-0,7	-1,1	2,7
1970	0,9	0,3	-0,8	-0,5	-0,6	-0,1	0,9	0,2	-0,6	0,0	1,2	-0,7
1973	-0,3	-1,2	-0,9	-0,8	1,9	2,3	0,7	0,4	1,2	2,0	0,6	-0,4
1974	0,6	1,6	-0,1	0,9	0,7	-0,5	-0,9	-0,7	-0,4	0,1	0,4	1,3
1975	0,2	-0,2	0,2	2,6	1,6	-0,8	0,6	0,1	0,6	-0,3	-0,3	0,4
1976	-0,5	0,4	-0,3	-0,7	-0,9	-1,9	-0,6	0,3	-0,9	1,1	-0,4	-0,9
1977	0,5	0,4	-0,9	-0,4	0,7	0,2	-1,0	<b>-2,0</b>	2,1	1,7	-1,5	2,9
1978	-0,5	-1,0	0,9	-0,2	0,2	-0,1	1,0	-0,3	0,4	0,5	-0,6	0,9
1979	0,3	0,6	-0,9	0,0	-1,4	0,3	0,0	-1,0	-1,4	-1,0	-0,2	-0,5
1980	0,9	2,3	-0,8	-1,3	-0,9	-1,1	-1,1	0,7	0,9	-0,2	2,3	-0,4
1987	-0,8	-0,8	-0,2	-0,9	-0,8	-0,2	0,9	-1,2	-0,1	-1,1	0,7	-0,5
1991	0,9	-0,5	-0,4	0,0	-0,3	0,7	-1,6	0,0	-0,6	-1,0	-0,4	-0,7
1992	-0,2	0,8	-0,6	-1,0	-1,5	-0,6	0,2	-0,5	-0,2	-0,9	1,0	0,6
1993	-0,9	-1,4	-1,4	-1,1	0,4	-0,7	-1,2	0,7	-0,6	0,1	-1,0	-0,9
1994	-0,7	-0,7	0,9	0,7	-0,9	2,3	2,7	1,3	-0,1	0,2	-1,0	-0,5
1995	-0,8	-1,1	-0,7	-0,1	1,0	-0,1	-0,2	-0,9	-0,7	-1,1	0,4	-0,5
1996	-0,4	-0,4	-0,9	2,7	-1,0	-0,7	0,3	-0,1	1,7	0,1	1,3	-0,1
1997	-0,6	0,9	1,3	0,3	-1,1	-0,8	-0,1	-1,4	-1,3	0,3	-1,3	-0,7
1998	-0,4	-0,8	-0,3	-0,5	-0,5	1,1	2,1	0,5	-0,7	0,1	-0,8	-0,6
1999	0,0	-0,4	1,7	0,5	0,3	-0,7	0,7	3,5	0,6	0,8	1,9	0,1
2000	-0,7	-0,5	0,4	0,4	-0,6	0,6	0,3	0,1	0,9	-1,1	-0,7	0,0
2001	-0,1	-1,1	1,2	-1,1	-0,9	-0,6	0,6	0,4	1,4	1,3	-1,2	0,1
2002	1,5	-0,4	-0,5	-1,3	0,2	-0,4	1,2	0,6	2,6	-1,1	-1,3	-0,8
2003	-0,7	-0,4	0,6	-0,6	1,5	-0,1	0,0	0,2	1,1	-0,4	0,1	-0,9
2004	2,2	0,3	-0,3	-0,1	-1,2	0,8	0,6	0,0	-1,1	-0,3	0,5	-0,9
2005	-0,6	2,2	2,1	0,7	-0,9	1,7	0,3	-0,2	-1,0	-0,9	-0,7	-0,1
2006	-0,6	-1,3	-1,2	1,7	0,5	1,5	-1,7	-0,1	0,3	2,0	1,2	-0,7
2007	-0,8	1,5	-0,6	-0,9	-0,8	-1,1	-1,0	-0,3	-0,4	-0,4	0,7	-0,8
2008	-0,8	0,5	0,0	-0,8	-0,9	-0,8	-0,7	-1,3	-1,2	-0,9	-0,6	0,2
2009	-0,7	-0,2	-1,3	1,2	1,5	-1,0	-0,5	-0,6	-0,9	0,8	-1,0	-1,0

Assim, visando estudar as relações existentes entre o número de eventos extremos de precipitação (NEE) e os DPP da área de Salvador, calculou-se a correlação entre os DPPs de cada

mês e o número de eventos correspondentes, com nível de significância de 95%, mostrada na Tabela 4.

Nos meses de abril, maio e junho a correlação entre o DPP e o NEE é alta ( $> 0,8$ ). São meses que apresentam os totais máximos mensais de chuva e também os números máximos de eventos extremos. Os meses de dezembro e janeiro também apresentam coeficiente máximo de correlação (0,9), embora seus totais mensais de chuva sejam os mínimos da série. Por outro lado, são meses que apresentam valores máximos de desvio padrão e DPP, indicando a ocorrência de chuvas atípicas, como já discutido em relação à Figura 2 da sessão anterior.

No mês de julho observa-se o valor mínimo do coeficiente de correlação (0,4). Portanto, em julho não há indicação de relação entre a magnitude do DPP e o número de eventos extremos de chuva, diferentemente do que foi encontrado nos outros meses. Esse resultado está associado ao fato de que, apesar de fazer parte do quadrimestre chuvoso e apresentar totais mensais de chuva elevados, o mês de julho tem número reduzido de eventos extremos.

Tabela 4. Correlação entre Desvio Padronizado de Precipitação (DPP) e Número de Eventos Extremos de Precipitação (NEE)

Mês	Correlação entre DPP e NEE
Janeiro	<b>0,9</b>
Fevereiro	0,7
Março	0,7
Abril	<b>0,9</b>
Maio	<b>0,8</b>
Junho	<b>0,8</b>
Julho	<b>0,4</b>
Agosto	0,6
Setembro	0,6
Outubro	0,7
Novembro	0,7
Dezembro	<b>0,9</b>

#### 4 - CONCLUSÃO

Neste trabalho é analisada a variabilidade temporal das chuvas de Salvador, com foco nos eventos extremos de chuva (total diário igual ou maior do que 50 mm), utilizando dados observacionais de precipitação da estação climatológica principal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em Salvador.

Na variação anual foi observado máximo de precipitação em 1964 (3.223,20 mm), seguido por 1999 (2677,9 mm) e 1975 (2672,9 mm). Os episódios de La Niña registrados nesses

anos podem ter contribuído para esses valores elevados. O menor total anual de precipitação foi registrado em 1993 (1233,2 mm), ano de El Niño.

Na variabilidade mensal foi observado que o quadrimestre chuvoso é de abril a julho, representando 51% (1088,4 mm) do total anual das chuvas. O mês de maio é o mais chuvoso do ano (359,9 mm). Nos anos que compõem a série foram observados 228 eventos extremos de precipitação (total diário igual ou maior do que 50 mm), dos quais 140 ocorreram no quadrimestre chuvoso, que equivalem a 61% de todos os eventos da série. O mês de abril de 1975, 1996 e 2006; maio de 1969, 1973 e 2009; e junho de 1973, 1994 e 2006 se destacaram pelo máximo de eventos extremos. Os principais sistemas atuantes que contribuíram para essas fortes chuvas foram os distúrbios de leste, aglomerados convectivos, sistemas frontais e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

Foi possível concluir que a chuva esteve acima da normal climatológica na maior parte dos meses em que houve eventos extremos. Essa possível relação foi estudada através da correlação entre os DPPs de cada mês e o número de eventos correspondentes. O resultado indicou uma relação direta entre a ocorrência de eventos intensos de precipitação e a magnitude e sinal do DPP, com coeficientes máximos ( $> 0,8$ ) de correlação no mês de janeiro, abril, maio junho e dezembro, e mínimo (0,4) no mês de julho.

#### 4 - BIBLIOGRAFIA

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

DEFESA CIVIL (CODESAL). (2009). *Relatório Final da Operação Chuva 2009*. (disponível em <http://www.defesacivil.salvador.ba.gov.br/index.php>) (acessado em 14 de dezembro de 2009).

RAMIREZ, M. C. V. (1996). *Padrões climáticos dos vórtices ciclônicos de altos níveis no Nordeste do Brasil*. 132 f. Dissertação (mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos.

RAMOS, A. M., SANTOS, L. A. R.; FORTES, L. T. G. (Org.). (2009). *Normais climatológicas do Brasil 1961-1990*. Brasília: INMET.

RAO, V.B., LIMA, M.C., FRANCHITO, S.H. (1993). *Seasonal and Interannual Variations of Rainfall over Eastern Northeast Brazil*. Journal of Climate. v. 6, p.1754 –1763.

RAO, V. B.; HADA, K.; HERDIES, D. L. (1995). *On the Severe Drought of 1993 in North-east Brazil*. International Journal of Climatology, v. 15, p. 697 –704.

SANTOS, A. H. M. (2008). *Eventos Extremos de Chuva em Salvador, Bahia: Condições Atmosféricas e Impactos Ambientais*. 65 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, Campina Grande.

- [www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1](http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1) (acessado em maio de 2012).
- <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/>
- <http://www.defesacivil.salvador.ba.gov.br/index.php>