



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Análise quantitativa da variabilidade da chuva em João Pessoa - PB, em várias escalas de tempo

Biancca Correia de Medeiros¹, Aldinete Bezerra Barreto², José Diorgenes Alves Oliveira³ Maria Regina da Silva Aragão⁴.

¹ Mestranda em Meteorologia, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia (CAPES) / Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, Brasil. biancca_medeiros@hotmail.com (autor correspondente). ² Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia / Universidade Federal de Campina Grande, Sumé, Paraíba, Brasil. aldibarreto@ufcg.edu.br. ³ Mestrando em Engenharia Agrícola / Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil. josediorgenes@gmail.com ⁴ Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas / Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, Brasil. regina@dca.ufcg.edu.br.

Artigo recebido em 09/11/2014 e aceito em 24/02/2015

RESUMO

A área de interesse para este estudo foi João Pessoa, capital do Estado da Paraíba, localizada no litoral do Nordeste do Brasil. Neste estudo foram utilizados totais diários (1961 a 2012) da precipitação observada na estação climatológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), em João Pessoa-PB. Os dados foram usados para estudar a variabilidade da chuva em várias escalas de tempo, investigando as anomalias de precipitação em anos de El Niño e La Niña, como também identificar eventos de chuva intensa com ênfase em casos extremos. Os resultados destacam os meses de abril a julho como o período de picos máximos da precipitação média mensal e da frequência máxima do número de dias com chuva, bem como o período de número máximo de eventos extremos de chuva. Os desvios padronizados de precipitação (DPP) mensais apresentam valores negativos e positivos, entre -1,7 e 3,7. Observou-se que os DPP negativos predominam tanto na época de El Niño (62,04%) quanto de La Niña (56,37%), o que significa uma diminuição no volume de chuva, mas não representa uma evidência significativa da influência dos fenômenos El Niño e La Niña sobre a variabilidade da chuva. No ciclo diário, ficou evidente a importância da circulação de brisa terrestre no regime de precipitação da cidade de João Pessoa, já que favorece a chuva no final da noite até o início da manhã, com frequência máxima as 6 HL (Horário Local).

Palavras-chave: Área Urbana. Precipitação. Evento Extremo. Desvio Padronizado.

Quantitative analysis of the rain variability in João Pessoa - PB, on several time scales

ABSTRACT

The area of interest for this study was João Pessoa, capital of Paraíba State, located on the coast of Northeast Brazil. In this study daily (1961-2012) rainfall totals observed at the meteorological station of the National Institute of Meteorology (INMET) in João Pessoa-PB were employed. The data were used to study the variability of rainfall on various time scales, investigating the precipitation anomalies in El Niño and La Niña years, as well as identifying heavy rainfall events with an emphasis on extreme cases. The results highlight the months from April to July as the period of maxima in the mean monthly precipitation, and in the frequency of rain days and extreme rainfall events. The monthly standardized precipitation deviation (DPP) shows negative and positive values ranging from -1.7 to 3.7. It was observed that negative DPP are more frequent both at the time of El Niño (62.04%) and La Niña (56.37%), which means a decrease in the volume of rainfall. But these results do not confirm a significant evidence of the influence of El Niño and La Niña phenomena on rainfall variability. In the daily cycle, it was evident the importance of the land breeze circulation in the precipitation regime of the city of João Pessoa, since it favors rainfall in late evening up to early morning, with maximum frequency at 6 LT (Local Time).

Keywords: Urban Area. Precipitation. Extreme Event. Standard Deviation.

Introdução

A expansão das áreas urbanas, nas últimas décadas, tem ocorrido sem nenhum critério técnico ou lógico, o que resulta na ocupação e uso desordenados do solo, degradação ambiental e criação de áreas de riscos. Nessas áreas, a precipitação intensa é motivo de preocupação para a população urbana, tendo em vista que essas chuvas estão associadas a impactos socioambientais como: enchentes; alagamentos em vias públicas e em ocupações de áreas de várzea; deslizamentos de encostas devido à saturação do solo; desabamentos de moradias e, algumas vezes, contaminação das águas. Esses acontecimentos podem ser considerados como risco ambiental (Jacobi et al., 2006) que tem maior impacto sobre a população que vive em habitações precariamente construídas em áreas de risco. As inundações e os movimentos de massa, como deslizamentos, denominados desastres naturais, são os que mais geram vítimas fatais. Ressalta-se que esses desastres não estão associados apenas aos fatores climáticos, mas também a problemas de infraestrutura.

A gravidade dos impactos associados a eventos extremos de chuva tem sido um aspecto importante de discussão, no sentido de antecipar-se aos acontecimentos por meio de planejamentos preventivos e eficazes. O esforço para minimizar as consequências dessas chuvas 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, que podem dar suporte para ações e decisões do poder público, no uso de práticas eficazes para melhorias socioambientais.

As inundações e os movimentos de massa, como deslizamentos, denominados como desastres naturais, são os que mais geram vítimas fatais. Ressalta-se que esses desastres não estão associados apenas aos fatores climáticos, mas também a problemas de infraestrutura.

O ano de 2010 traz lembranças recentes desse tipo de tragédia. No estado do Rio de Janeiro o ano começou com deslizamentos de encosta na Ilha do Bananal e na Ilha Grande e, o pior deles, em Angra dos Reis. No mês de abril e maio, novos registros de destruição e vítimas fatais nos estados do Rio de Janeiro e da Bahia. Na cidade de Niterói-RJ, o deslizamento no Morro do Bumba, um lixão desativado, foi uma tragédia anunciada. Na região metropolitana de Salvador-BA, o Rio Ipitanga transbordou e deixou parte da cidade de Lauro de Freitas debaixo d'água.

Segundo o Boletim Agroclimatológico Mensal de Junho – 2012, no mês de junho de 2012, a cidade de João Pessoa, capital paraibana situada no litoral leste do Nordeste, destacou-se por registrar o maior total mensal de chuva do Brasil. Nesse mês choveu 540,7 mm. No dia 07, o INMET registrou 131 mm. Entre os dias 19 e 20 de junho choveu 163 mm acumulados. No dia 28 ocorreu o maior total diário do mês, 151,6 mm. Volumes de chuva desta ordem são suficientes para causar grandes alagamentos na maioria dos centros urbanos.

Essa chuva volumosa causou muitos transtornos à cidade de João Pessoa, com deslizamentos de terras; soterramento de uma adolescente durante uma hora devido ao desmoronamento de uma barreira; queda de árvores; desabamentos de moradias; alagamentos e cancelamento de voos. Em alguns pontos da cidade com vias alagadas, a água atingiu quase um metro de altura.

Na cidade de João Pessoa, o total anual de chuva é um dos mais elevados (2145,4 mm) do país (Ramos et al., 2009). Assim, conhecer as características dessas chuvas é importante, uma vez que sua intensidade pode resultar em prejuízos econômicos, sociais e ambientais.

O estudo da intensidade e duração das precipitações extremas é de grande interesse não só da meteorologia, mas também de áreas afim. Na hidrologia, os efeitos das precipitações intensas são objeto de estudo na problemática da drenagem pluvial das cidades. Na engenharia civil, conhecer estes índices de precipitação extrema é importante na construção de pontes e de canais de drenagem, e também na expansão imobiliária. Os eventos de chuva extrema também podem interferir nas atividades econômicas, especialmente nos países em desenvolvimento, já que dependem fortemente da agricultura e da produção de energia hidrelétrica. Também é possível destacar o turismo como uma atividade que sofre consequências diretas dessas chuvas. Há também um aumento de doenças (a exemplo do aparecimento da leptospirose) em decorrência do não escoamento das águas da chuva em determinados ambientes urbanos.

Parte da variabilidade temporal da precipitação pode ser explicada em escala interanual por padrões climáticos de escala planetária provocados por variações lentas na temperatura da superfície do mar (TSM) no Atlântico e Pacífico Tropical (Grimm et al., 2000; Andreoli e Kayano, 2007; Bombardi et al., 2013; Kayano et al., 2013). O El Niño (EN) e o La Niña

(LN) estão entre esses fenômenos de grande escala e se caracterizam por padrões de anomalias no campo da TSM no Oceano Pacífico Tropical.

O El Niño corresponde, basicamente, ao aquecimento anormal das águas do Oceano Pacífico Equatorial entre a costa da América do Sul na altura do Equador e Peru e a costa da Indonésia. O fenômeno oposto ao El Niño é o La Niña, que corresponde ao esfriamento anormal daquelas águas. Nos anos de El Niño há o enfraquecimento dos ventos alísios. Nos anos de La Niña os efeitos climáticos são aproximadamente opostos aos do El Niño e os ventos alísios são mais intensos. A precipitação no leste do Nordeste do Brasil (NEB) pode ter variações importantes caso um desses fenômenos ocorra conjuntamente com o Dipolo do Atlântico. Moura et al. (2009) relacionaram a precipitação do leste do NEB e a temperatura dos oceanos. A análise mostrou influência do Atlântico e Pacífico sobre as chuvas do setor leste, sendo a correlação do Atlântico maior, principalmente na área do Dipolo. Eles observaram que anomalias positivas da TSM no Atlântico Tropical Sul favorecem a precipitação sobre o leste do NEB, enquanto que anomalias positivas da TSM no Pacífico inibem a chuva no leste do NEB.

Caso esses fenômenos aconteçam conjuntamente com o Dipolo do Atlântico, pode haver uma variação na precipitação do leste do Nordeste do Brasil. Moura et al. (2009) relacionaram a precipitação do leste do Nordeste Brasileiro (NEB) e a temperatura dos oceanos, a análise mostrou influência do Atlântico e Pacífico sobre as chuvas do setor leste, sendo a correlação do Atlântico maior, principalmente na área do Dipolo. Eles observaram que as anomalias positivas a TSM no Atlântico Tropical sul induzem a precipitação sobre o leste do NEB, enquanto anomalias positivas a TSM no Pacífico inibem a chuva no Leste do NEB.

Os problemas decorrentes do impacto direto das chuvas apresentam variações de região para região, de acordo com as especificidades de cada uma. A definição de limiares de precipitação para a identificação de eventos de chuvas intensas é bastante variável, pois estes valores variam de acordo com as características climáticas do lugar. 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. 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 km².

Barreto et al. (2013) identificaram 235 eventos de chuva intensa na cidade de Salvador-BA tendo por base a técnica do percentil, definindo evento de precipitação intensa como aquele em que a precipitação diária fosse igual ou maior do que 50 mm (percentil 97).

Barreto et al. (2014) também investigaram a variabilidade da chuva e os eventos de chuva intensa na cidade de Caravelas, no extremo sul da Bahia. A precipitação apresentou picos em dois períodos distintos, o primeiro período compreende os meses de março a maio (28,5%) e o segundo os meses de outubro a janeiro (42%). Períodos em que foi observado o maior número de eventos intensos. Anomalias nos totais pluviométricos de uma região podem ocasionar uma série de problemas socioambientais. Nas áreas urbanas do NEB, que apresentam índices de chuvas intensas, pode ser citado o estudo Souza et al. (2012), que avaliou os impactos sociais, econômicos e ambientais decorrentes dos desastres associados às chuvas na cidade do Recife-PE e o de Magalhães et al. (2009) que analisou as relações entre chuvas, inundações e casos de leptospirose, elaborando um estudo temporal e espacial da doença para o período de 2004 a 2007 para a cidade de Fortaleza.

A cidade de João Pessoa também sofre consequências negativas com as chuvas intensas, os riscos e prejuízos ocorrem principalmente no outono e inverno, meses com maiores intensidades mensais de chuva (Ramos et al., 2009).

As chuvas que caem sobre a cidade atingem diversas camadas sociais, principalmente pelas situações inusitadas de alagamentos. No entanto, a parte mais atingida é a população que vive em habitações precariamente construídas em áreas de risco, sem infraestrutura de drenagem adequada ou, até mesmo, com sua total inexistência. Assim, conhecer as características dessas chuvas é importante, uma vez que sua intensidade pode resultar em prejuízos econômicos, sociais e ambientais.

Material e métodos

A área de estudo desta pesquisa é a cidade de João Pessoa, capital paraibana, localizada no litoral leste do Nordeste do Brasil. No censo de 2010 a contagem foi de 723.515 habitantes. Esse valor representa um aumento de 45% na população, entre os anos de 1991 e 2010 (IBGE, 2010). Esse crescimento acelerou o processo de expansão da área urbana e de verticalização, o que resultou na ocupação e uso desordenados do solo, degradação ambiental e criação de áreas de riscos. Assim, o conhecimento de características climatológicas da cidade de João Pessoa é de fundamental

importância para o entendimento da variabilidade da precipitação e seus possíveis impactos no aspecto físico e social.

Na Figura 1, observa-se que as chuvas em João Pessoa ocorrem durante todo o ano.

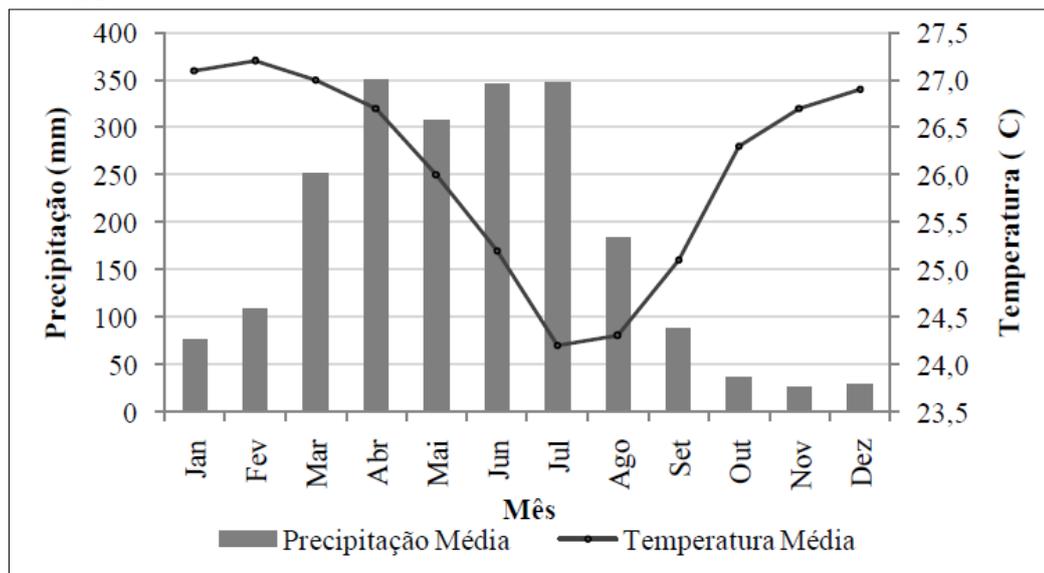


Figura 1. Distribuição mensal da normal climatológica da temperatura do ar e precipitação do período de 1961-1990 da estação climatológica principal de João Pessoa-PB (Ramos et al., 2009).

O total médio anual é de 2145,4 mm. Entretanto, elas apresentam maior volume no período de abril a julho (Figura 1). A média mais elevada é a do mês de abril (349,8 mm), seguido pelo mês de junho (346,1 mm) e julho (346,2 mm). A temperatura do ar tem máximo em fevereiro (27,2°C). Os valores mais baixos estão entre junho e setembro, com mínimo em julho (24,2°C).

Quanto à descrição dos dados, foram utilizados totais diários de precipitação observados na estação climatológica principal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em João Pessoa (7°7'S, 34°53'W, 5m), no período de 1961 a 2012. Foram excluídos 8 anos da análise, uns por total ausência de dados e outros por apresentarem alguns meses sem dados diários (1962, 1971, 1972, 1975, 1979, 1980, 1981 e 1982). Os dados possibilitaram analisar as variações diárias, sazonais e interanuais da chuva em João Pessoa, incluindo a identificação dos eventos extremos de precipitação e a determinação da frequência com que ocorrem. Foi calculado, para cada mês do período, o número de dias com chuva, o número de eventos extremos de precipitação (NEE), o Total Mensal de Chuva (x_i), a Média Mensal Climatológica (μ_i) e o Desvio Padrão (σ_i), utilizado no cálculo do Desvio Padrão Padronizado (DPP). Também foram utilizados dados horários de chuva observados na estação climatológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em João Pessoa (7°08'S, 34°51'W, 44m), no período de 2007 a 2011.

Tendo por objetivo estudar a variabilidade mensal da precipitação e identificar os desvios em relação à climatologia, a princípio, foram obtidos os totais mensais de precipitação (x_i) para cada ano, para então calcular a Média Mensal Climatológica (μ_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 (σ_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 as equações (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} (doravante denominado DPP ou DPPs) é dado por

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

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

Os DPPs foram utilizados para investigar a existência de influência dos eventos El Niño e La Niña, nas precipitações pluviométricas de João Pessoa-PB. Os DPPs foram analisados apenas para os anos de ocorrência desses fenômenos, obtidos junto ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos

Climáticos, pelo site <http://www.cptec.inpe.br/>. No Quadro 1 estão os eventos El Niño (EN) e La Niña (LN), registrados no período de estudo, com a respectiva intensidade classificada em três categorias: Forte (F), Moderado (M) e Fraco (FR).

Normalmente, esses fenômenos têm início nos meses de maio ou junho e atingem seus picos em dezembro e janeiro, mas são classificados pelo ano em que tem início. Dessa forma, um determinado ano pode aparecer com ocorrência dos dois eventos, a exemplo do ano de 1970. O Quadro 1 evidencia quatro eventos EN de intensidade forte: entre os anos de 1972-1973, 1982-1983, 1990-1993 e 1997-1998. Os LN fortes ocorreram em 1973-1976, 1988-1989 e 2007-2008.

Quadro 1. Ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña para o período de 1961-2012 e respectiva classificação de intensidade: Forte (F), Moderado (M) e Fraco (FR). (Fonte: Adaptado do CPTEC).

Ocorrência de El Niño		Ocorrência de La Niña	
1965-1966 (M)	1990-1993 (F)	1964-1965 (M)	1988-1989 (F)
1968-1970 (M)	1994-1995 (M)	1970-1971 (M)	1995-1996 (FR)
1972-1973 (F)	1997-1998 (F)	1973-1976 (F)	1998-2001 (M)
1976-1977 (FR)	2002-2003 (M)	1983-1984 (FR)	2007-2008 (F)
1977-1978 (FR)	2004-2005 (M)	1984-1985 (FR)	-
1979-1980 (FR)	2006-2007 (M)	-	-
1982-1983 (F)	2009-2010 (M)	-	-
1986-1988 (M)	-	-	-
Total: 15 Eventos		Total: 09 Eventos	

Na caracterização da frequência e intensidade dos eventos extremos de chuva em João Pessoa foi utilizado o método do percentil, aplicado aos dados diários de chuva, do período de 1961 a 2012. O percentil emprega a técnica dos Quantis, que teve aplicações ampliadas a partir do pioneiro e importante estudo de Pinkayan (1966), que a usou para avaliar a ocorrência de anos secos e chuvosos sobre extensas áreas continentais dos Estados Unidos.

A técnica dos Quantis consiste em organizar a série de dados na ordem crescente, que é então dividida em n partes. Se dividirmos a série em três partes, por exemplo, teremos os quantis de 25%, 50% e 75%. Se a divisão for em 99 partes corresponde 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 extrema.

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.

Resultados e discussão

A distribuição anual da precipitação para o período dos 44 anos em estudo está representada na Figura 2. O valor médio anual da precipitação em João Pessoa é de 1984,8 mm, indicado pela linha vermelha. A Figura destaca três picos máximos de chuva. O valor máximo anual foi no ano de 1964, com 3888,4 mm de chuva. Esse valor representa quase o dobro do valor anual esperado. Em seguida foi o ano de 1985 (3085,6 mm). Os episódios de La Niña registrados nesses anos podem ter contribuído para esses valores

elevados. Outro total anual elevado foi o do ano de 1994 (2725,5 mm), apesar dos registros mostrarem ocorrência de El Niño de intensidade moderada nesse ano.

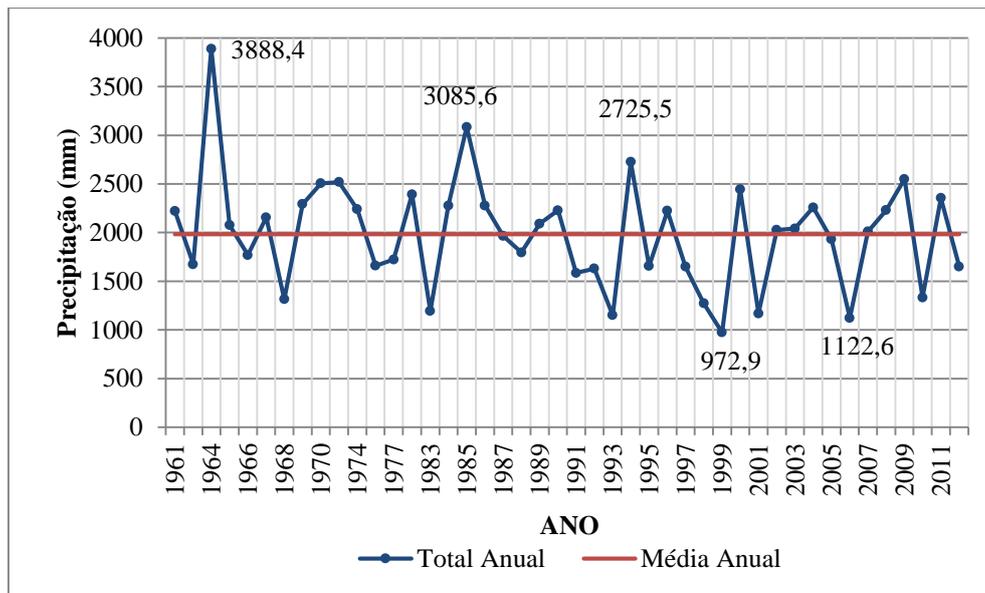


Figura 2. Distribuição do total anual de precipitação e média climatológica do período 1961-2012 da estação climatológica principal de João Pessoa-PB (Fonte dos dados: INMET – Instituto Nacional de Meteorologia).

O menor total anual de precipitação foi registrado em 1999 (972,9 mm), ano de La Niña de intensidade moderada, e em 2006 (1122,6 mm), ano de El Niño classificado como de intensidade fraca. Esse total representou uma redução na chuva anual, em relação ao valor esperado, de 51% e 43%, respectivamente.

Para investigar a influência de eventos El Niño e La Niña na precipitação mensal de João Pessoa, foi utilizado o método estatístico do Desvio Padronizado de Precipitação (DPP), que permitiu alocar os dados em classes positivas e negativas, fornecendo informações quanto à magnitude da anomalia da precipitação mensal. Os DPP apresentam valores negativos e positivos, que variam de -1,7 (abril de 1998) a 3,7 (agosto de 1970), como ilustra a Figura 3 para quatro períodos distintos da série de 1961-2012.

Na Figura 3a, os anos de 1961, 1963, 1965-1970 apresentam de 7 a 9 casos, em cada ano, de DPP negativo (62 meses). No período de 1961-1970, o ano de 1964 (ano de LN) é o único no qual

o número de DPP positivos (10) supera o de DPP negativos, sendo que 5 deles são maiores do que 2. O ano de 1964 é também o de maior total pluviométrico anual de todo o período em estudo. Em particular, o ano de 1970 é um ano de transição entre os fenômenos EN e LN: é o final de um evento EN e início de um LN. Apesar de apresentar 8 meses com DPP negativo, também tem o maior valor de DPP da série (3,7). Ele ocorre no mês de agosto, cujo total mensal é de 536,4 mm, enquanto que o valor esperado é de 183,5 mm.

Ainda na Figura 3a, dos 6 anos com ocorrência de El Niño (1963, 1965-1966 e 1968-1970) apenas 3 tiveram redução nos totais anuais de precipitação em relação à média climatológica: 1963 com redução em torno de 15%, 1966 com redução em torno de 10% e 1968 com redução de 34%.

Na Figura 3b estão representados os DPP do período de 1973 a 1989. Apesar dos anos de 1973-1974-1976 serem de eventos LN de intensidade fraca, o predomínio é de DPP negativos

(21 meses). Dentre os 15 meses com DDP positivo, 7 são maiores do que 1,5. Apenas o ano de 1976 (final de LN e início de EN) teve redução nos totais anuais de chuva (16%). Por outro lado, em 1984 e 1985 (anos de LN) há predominância de DPP positivos. O mês de março de 1985 tem $DPP > 3,5$.

Esse mês apresentou um total pluviométrico de 654,7 mm, enquanto que o valor esperado é de 252,2 mm. A chuva máxima desse ano esteve associada à ocorrência simultânea de La Niña e do Dipolo do Atlântico Negativo (Xavier, 2001; Ferreira e Mello, 2005; Lucena et al., 2011).

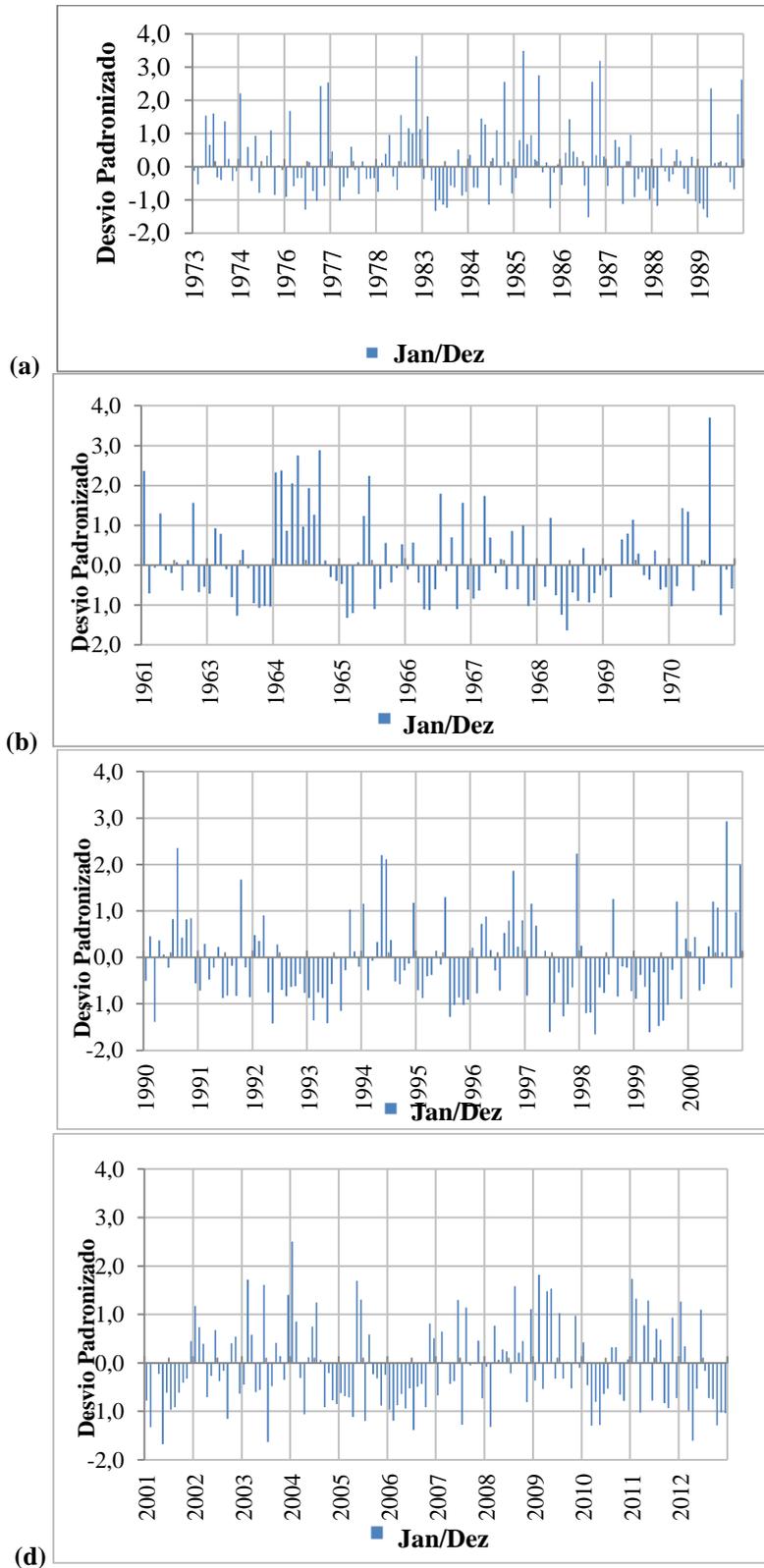


Figura 3. Distribuição mensal do Desvio Padronizado de Precipitação (DPP) em João Pessoa-PB no período de: (a) 1961-1970, (b) 1973-1989, (c) 1990-2000, e (d) 2001-2012 (Fonte dos dados: INMET – Instituto Nacional de Meteorologia).

No ano de 1989 (LN F) predominam DPP positivos, destacando-se os meses de abril (>2,4), com 680,8 mm, e dezembro (>2,6), com 98,5mm. Ainda na Figura 3b, dentre os 8 anos de EN, 1976-1977 (EN FR), 1983 (EN F) e 1988 (EN M) apresentam de 8 a 10 meses com DPP negativos e totais anuais abaixo da média.

Na Figura 3c os anos se diferenciam pelas intensidades dos eventos EN e LN tais como: 1990-1993 (EN F), 1994-1995 (EN M), 1995-1996 (LN fraca), 1997-1998 (EN F), 1998-2000 (LN M). Nos anos de EN com intensidade fraca (F) predominam os DPP negativos. Os seus totais anuais de precipitação ficaram abaixo da média, com redução em torno de 20% a 42%. Nos anos de LN, apenas em 1996 e 2000 há predominância de DPP positivos. Eles também apresentam totais anuais de chuva um pouco acima da média. Em destaque 1999, ano de La Niña moderado (LN M), com 10 meses de DPP negativos, representando meses com chuva abaixo da média e uma redução no valor anual de precipitação em torno de 50%.

Os valores de DPP referentes aos anos compreendidos entre 2001 a 2012 estão representados na Figura 3d. Foram registrados eventos de EN e LN nos seguintes anos: 2001 (LN F), 2002-2003 (EN M), 2004-2007 (EN FR), 2007-2008 (LN F) e 2009-2010 (EN FR). Embora o LN de 2001 seja classificado como um evento de

intensidade forte (F), há 11 meses com DPP negativos e o mês de dezembro com DPP positivo (>0,5). A chuva acumulada nesse ano representa apenas 59% do valor esperado. Por outro lado, no ano de 2008, com um evento LN de intensidade forte (F), os meses de março a novembro apresentam uma sequência de valores de DPP positivos, com exceção de julho, quando o valor foi menor do que -0,2. Nos anos de EN, apenas naqueles de intensidade fraca, 2005, 2006 e 2010, foi observada redução nos totais anuais de chuva, predominando os DPP negativos, com 9, 10 e 8 meses, respectivamente.

Os resultados apresentados nessa seção não apontam uma evidência significativa da influência dos fenômenos EN e LN sobre a variabilidade da chuva na cidade de João Pessoa. Porém, alguns estudos já relataram que a variabilidade da precipitação, no litoral leste do NEB tem relação com os fenômenos estudados, quando o EN ou o LN ocorre de forma simultânea com o Dipolo do Atlântico (Andreoli e Kayano, 2007; Moura et al., 2009).

Observando os dados da Tabela 1, nota-se que os DPP negativos predominam tanto na época dos El Niño (62,04%) quanto na dos La Niña (56,37%), o que significa predominância de meses com chuva abaixo da média.

Tabela 1. Valores percentuais do número de Desvio Padronizado de Precipitação (DPP) para períodos de El Niño (EN) e La Niña (LN), de 1961 a 2012.

Meses	El Niño		La Niña	
	DPP<0 (%)	DPP>0 (%)	DPP<0 (%)	DPP>0 (%)
Janeiro	74,07	25,93	70,59	29,41
Fevereiro	55,56	44,44	70,59	29,41
Março	66,67	33,33	64,71	35,29
Abril	59,26	40,74	47,06	52,94
Mai	59,26	40,74	41,18	58,82
Junho	55,56	44,44	52,94	47,06
Julho	55,56	44,44	52,94	47,06
Agosto	66,67	33,33	41,18	58,82
Setembro	59,26	40,74	58,82	41,18
Outubro	62,96	37,04	58,82	41,18
Novembro	62,96	37,04	64,71	35,29
Dezembro	66,67	33,33	52,94	47,06
TOTAL MÉDIO	62,04%	37,96%	56,37%	43,63%

Nos anos de EN, para meses com DPP > 0, observa-se uma diminuição da precipitação a partir de agosto, atingindo seu mínimo em janeiro (25,93%), e se estendendo até março, exceto por fevereiro que apresenta 44,44% dos casos de DPP > 0. Nos anos de LN, observa-se um aumento na precipitação no período de abril a agosto.

Quanto à variabilidade mensal da precipitação em João Pessoa, a Figura 4 ilustra as normais mensais do período 1961-1990 (Ramos et al., 2009), juntamente com as médias mensais e os desvios padrões de precipitação para o período 1961-2012. Os máximos dessas médias mensais são observados no quadrimestre de abril a julho, que apresenta uma precipitação média mensal que varia de 295,1 mm (mês de maio) a 357,7 mm (mês de junho), representando 64 % (1268,1 mm) do

total anual das chuvas na cidade. Alguns autores também identificaram o período de abril a julho como o quadrimestre chuvoso de regiões localizadas no litoral leste do Nordeste (Rao et al., 1993; Barreto et al., 2013).

A Figura 4 mostra ainda que no período de setembro a fevereiro os totais pluviométricos são baixos. O desvio padrão de outubro, novembro, dezembro e janeiro é muito próximo da média, o que representa uma maior variabilidade entre os valores mensais da série, indicando a ocorrência de chuvas atípicas nesses meses, a exemplo das chuvas muito acima da média registradas em: outubro de 1984 (97,8 mm), novembro de 1978 (99,8 mm), dezembro de 1989 (98,5 mm) e janeiro de 2004 (283,7 mm).

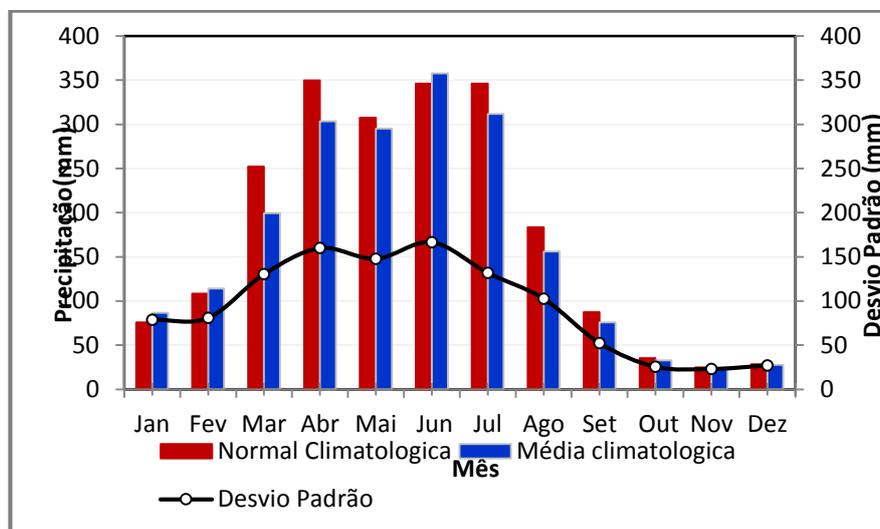


Figura 4. Distribuição mensal da normal climatológica da precipitação (1961-1990) e da precipitação média e desvio padrão (DP) do período 1961-2012 para João Pessoa-PB (Fonte dos dados: INMET – Instituto Nacional de Meteorologia).

A Figura 5 apresenta a frequência de dias com chuva considerando três períodos: a frequência anual, a do quadrimestre chuvoso e também a frequência do trimestre de janeiro/março somada a dos meses de agosto/dezembro.

A frequência do número de dias com chuva de toda a série temporal em estudo é de 8167 dias; o valor máximo do número de dias com chuva ocorreu no ano de 1964 (248 dias) e o mínimo em 1968 (77 dias). A maior frequência na escala mensal do número de dias com chuvas da série está representada no quadrimestre chuvoso, nos meses de abril a julho. O valor máximo do número de dias com chuva é visto nos meses de junho e julho (não mostrado); ressalta-se que choveu todos os dias no mês de julho de 1964. É importante destacar que a frequência do quadrimestre chuvoso é sempre superior a dos meses de janeiro/dezembro e Medeiros, B.C., Barreto, A.B., Oliveira, J.D.A., Silva Aragão, M.R.

agosto/dezembro (soma dos oito meses), exceto no ano de 1968.

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 chuvas. A esses dados foi aplicada a técnica do percentil, que permitiu identificar um total de 247 eventos extremos de precipitação (total diário igual ou maior do que 60 mm). A Figura 6 mostra o número de eventos extremos de chuva observados em cada ano do período em estudo e no quadrimestre chuvoso. A Figura mostra também o total de eventos dos meses de janeiro a março juntamente com os de agosto a setembro. Já nos meses de outubro, novembro e dezembro não houve eventos extremos de chuva.

O número máximo de eventos extremos, num total de 12, é visto no ano de 1985, seguido

pelo ano de 1964, com 11 eventos. Como já descrito na discussão da Figura 2, estes seriam os dois anos com maior total anual de precipitação. É possível observar que outros anos com totais anuais de chuva elevados, tais como 1973, 1990 e 2009, também apresentam número elevado de eventos (10). Os meses que contribuem para esses máximos anuais são os do quadrimestre chuvoso, que se destacam por apresentar o maior número de eventos em comparação com os outros meses, exceto no ano de 1983, que não teve evento

extremo de chuva no quadrimestre chuvoso. Nos anos de 1977 e 1983 houve apenas um evento extremo durante todo o ano.

Nos anos de 2001, 2006 e 2010 não foi observado nenhum evento extremo de precipitação. Nesses anos choveu de 7 a 10 meses abaixo da média (Figura 6), o que implica numa redução no total anual da chuva. Esse resultado indica uma relação direta entre a ocorrência de eventos intensos de precipitação e a magnitude e sinal do DPP.

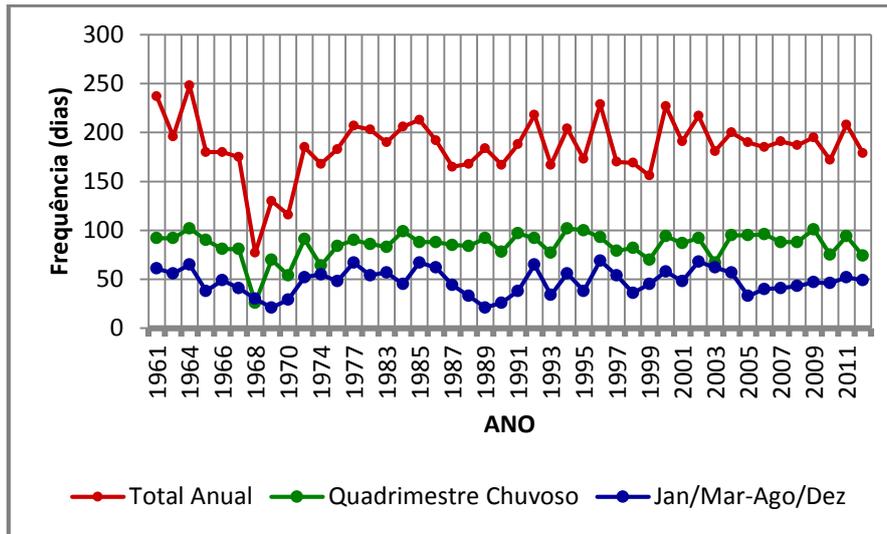


Figura 5. Frequência mensal do número de dias com chuva em João Pessoa-PB (1961-2012) para o período anual, para o quadrimestre chuvoso e para os meses de janeiro/março-agosto/dezembro (Fonte dos dados: INMET – Instituto Nacional de Meteorologia).

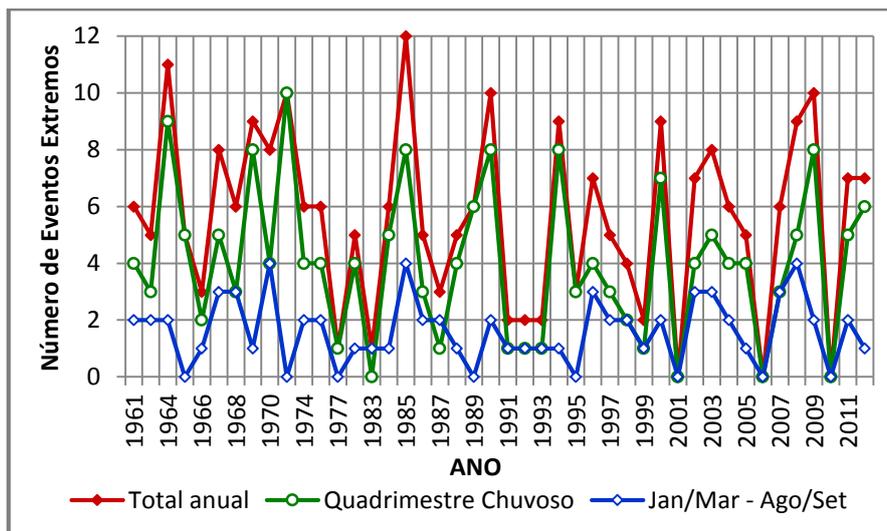


Figura 6. Frequência mensal do número de eventos extremos de chuva no período em estudo (1961-2012) no período anual, no quadrimestre chuvoso e nos meses de Janeiro/março-agosto/setembro em João Pessoa-PB (Fonte dos dados: INMET – Instituto Nacional de Meteorologia).

A frequência mensal dos eventos extremos de precipitação, igual ou superior a 60 mm, por Medeiros, B.C., Barreto, A.B., Oliveira, J.D.A., Silva Aragão, M.R.

intervalos de classe de 20 mm é ilustrada no Quadro 2. Nos meses de abril, maio, junho e julho,

ocorreram 176 eventos extremos de chuva, com valores de 48, 43, 44 e 41, respectivamente. Esses eventos do quadrimestre chuvoso equivalem a 71% de todos os eventos da série temporal em estudo. Fora do quadrimestre chuvoso é importante destacar o mês de março por apresentar 33 eventos extremos. Os meses de outubro, novembro e dezembro não apresentaram evento. No mês de outubro de 1961 choveu quase três vezes mais do que a média, e nenhum evento extremo de chuva foi observado. O mesmo ocorreu em janeiro, agosto e setembro de 1964.

A classe 1 é a que apresenta frequências mais altas, 127 eventos. Em seguida está a classe 2, com 59 eventos. Já a classe 3 totaliza 28 ocorrências, enquanto que a classe 4 acumulou 18

eventos e, por fim, foram registrados 15 eventos inseridos na classe > 140 mm. Vale ressaltar que o valor máximo da classe 5 ocorreu no dia 18 de junho de 1986 com valor de 194 mm.

Dentre os vários episódios de chuva intensa ocorridos na cidade João Pessoa, o que aconteceu no dia 16 de junho de 2008 destacou-se pela intensidade e volume das chuvas observadas nas duas estações meteorológicas existentes na cidade. A Figura 7 ilustra que no dia 16 foram registrados 139,2 mm em apenas 24 horas na estação principal do INMET, valor esse que representa 40% da normal do mês que é de 346,1 mm. Registro feito em outro ponto da cidade indicou volume de chuva de 142,4 mm.

Quadro 2. Frequência mensal dos eventos extremos de precipitação, igual ou superior a 60 mm, por intervalos de classe de 20 mm.

CLASSES/ (Eventos em mm)		MESES												Total
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
1	60-80	5	8	23	23	24	15	21	6	2	0	0	0	127
2	80-100	3	4	7	11	10	9	12	3	0	0	0	0	59
3	100-120	0	3	3	4	3	11	2	2	0	0	0	0	28
4	120-140	0	0	1	6	3	6	2	0	0	0	0	0	18
5	> 140	0	0	0	4	3	3	4	1	0	0	0	0	15
Total		8	15	34	48	43	44	41	12	2	0	0	0	247

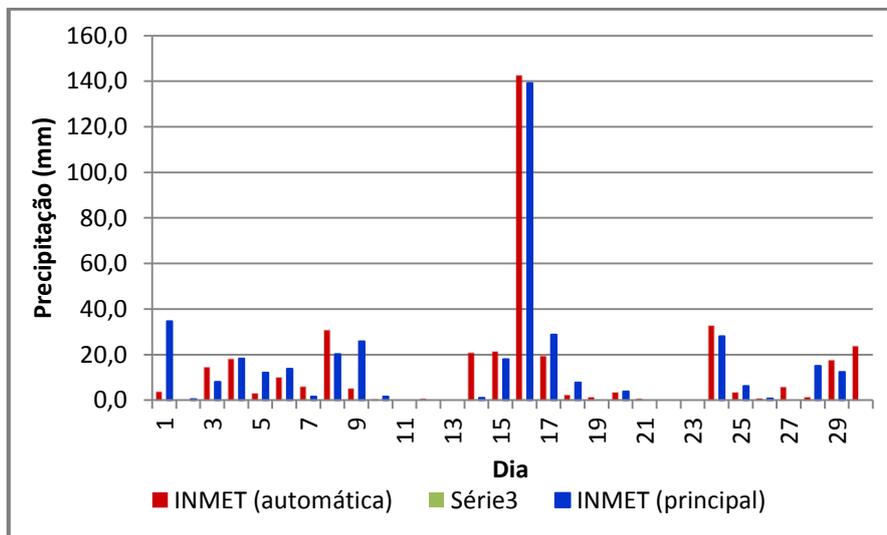


Figura 7. Totais diários de precipitação (mm) para o mês de junho de 2008 nas duas estações meteorológicas do INMET.

No gráfico da precipitação acumulada registrada pela estação automática do INMET (Figura 8) é possível verificar que a chuva começa às 21HL do dia 15 e se prolonga lentamente até às 03 HL do dia 16, quando são registrados 28 mm. A

chuva intensa começa às 03 HL e cessa às 09 HL, totalizando nessas últimas 6 horas mais de 94,4 mm de chuva. No período da tarde a chuva é muito fraca ou quase inexistente, voltando a intensificar no final da noite.

É importante mencionar que o mês de junho é o período mais chuvoso do leste da Região Nordeste. Essa intensidade de chuva pode ser explicada pelo fato que, entre os dias 15 e 16, houve a formação de nebulosidade estratiforme no leste do Nordeste, decorrente da intensificação do anticiclone subtropical (Climanálise, 2008).

Esse ciclo diário da precipitação de João Pessoa se confirma ao estudar a frequência horária da chuva (dias) para o período de agosto de 2007 a dezembro de 2011, ilustrado na Figura 9. A frequência é mínima no período da tarde, contudo no início da noite, a frequência aumenta até

atingir o máximo às 6 HL, abrangendo o intervalo 23–11 hora local (HL). Esse ciclo diário evidencia a importância da circulação de brisa terrestre, que dirigem-se de terra para o mar, no regime de chuva da cidade de João Pessoa. Uma indicação desse período preferencial de chuva no litoral leste do Nordeste foi dada por Kousky (1980). Ele determinou que a maior parte da chuva (acima de 50%) ocorre no intervalo 21–09 HL.

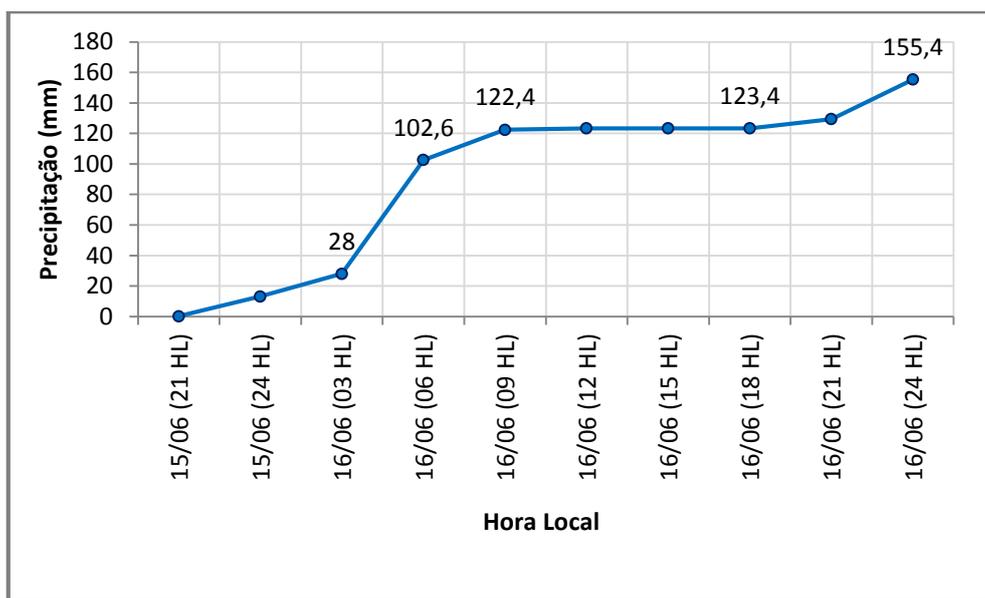


Figura 8. Precipitação acumulada (mm) registrada pela estação automática do INMET no período de 21 HL do dia 15 às 24 HL do dia 16 de junho de 2008.

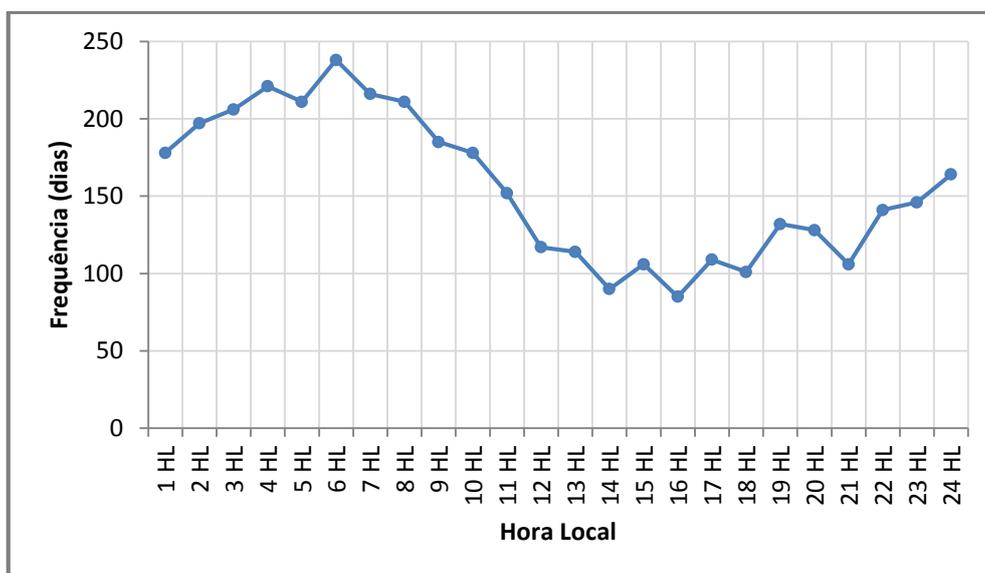


Figura 9. Série temporal da frequência horária da chuva (dias) para o período de agosto de 2007 a dezembro de 2011.

Conclusões

No estudo da variabilidade anual observou-se que a distribuição da precipitação, do período em estudo, apresentou valor médio anual da precipitação de 1984,8 mm. A análise do Desvio Padronizado de Precipitação (DPP), usado para investigar a influência de eventos El Niño (EN) e La Niña (LN) na precipitação, mostrou que os DPP negativos predominam tanto na época de El Niño quanto de La Niña, porém essa diminuição da chuva é mais acentuada nos anos de El Niño (62,04%). Este resultado não possibilita inferir se há uma evidência significativa da influência desses fenômenos sobre a variabilidade da chuva na cidade de João Pessoa, o que requer mais investigação considerando a ocorrência desses fenômenos de forma simultânea com o Dipolo do Atlântico.

Na variabilidade mensal destacam-se os meses de abril a julho nos quais ocorrem: os picos máximos das médias mensais de precipitação (quadrimestre chuvoso), a frequência máxima do número de dias com chuvas e o número máximo de eventos extremos. A técnica do percentil, que classificou como eventos extremos os totais diários maiores do que o percentil $p = 97$ identificou 247 eventos, dentre os quais 176 estão nos meses de abril a julho.

No ciclo diário da precipitação, evidencia-se a importância da circulação de brisa terrestre no regime de chuva da cidade de João Pessoa, que favorece a precipitação do período noturno ao início da manhã. Os resultados mostram que a frequência é mínima no período da tarde. No início da noite, a frequência aumenta até atingir o máximo às 6 HL, abrangendo o intervalo 23–11HL.

Agradecimentos

As autoras deste trabalho agradecem ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pela cessão dos dados pluviométricos da cidade de João Pessoa.

Referências

Andreoli, R.V., Kayano, M.T., 2007. A importância relativa do atlântico tropical sul e pacífico leste na variabilidade de precipitação

do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia* 22, 63-74.

Barreto, A.B., Aragao, M.R.S., Correia, M.F., 2013. Mudanças climáticas: implicações ambientais e socioeconômicas, in: Seabra, J. (Org), *Qualidade de Vida, Mobilidade e Segurança nas Cidades*. Editora Universitária da UFPB, João Pessoa, v. IV, pp. 11-21.

Barreto, A.B., Aragao, M.R.S., Correia, M.F., Medeiros, B.C., 2015. Implicações socioeconômicas das mudanças climáticas, in: Seabra, J. (Org), *Saúde Ambiental e Soberania Alimentar*. Editora Barlavento, Ituiutaba, pp. 796-805.

Boletim Agroclimatológico Mensal de Junho, 2012. Disponível: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso: 30 jan 2015.

Bombardi, R.J., Carvalho, L.M.V., Jones, C., Reboita, M.S., 2013. Precipitation over Eastern South America and the South Atlantic Sea Surface Temperature during Neutral ENSO Periods. *Climate Dynamics* 42, 1553-1568.

CPTEC. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, 2015. Disponível: <http://www.cptec.inpe.br/> Acesso: 10 jan 2015.

Climanálise, 2008. INPE/CPTEC, São José dos Campos. (Boletim de Monitoramento e Análise Climática, 23).

Ferreira, A.G., Mello, N.G.S., 2005. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influencia dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. *Revista Brasileira de Climatologia* 1, 15-18.

Grimm, A.M., Barros, V.B., Doyle, M.E., 2000. Climate variability in southern South America Associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate* 13, 35-58.

Higgins, R.W., Schemm, J.K.E., Shi, W., Leetmaa, A., 2000. Extreme precipitation events in the western United States related to tropical forcing. *Journal of Climate* 13, 793-820.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso: 20 out. 2010.

Jacobi, P.D., 2006. Socioambientais na gestão metropolitana: do risco à busca da sustentabilidade urbana. *Política & Trabalho*. *Revista de Ciências Sociais* 25, 115-134.

Kayano, M.T., Andreoli, R.V.E., Ferreira de Souza, R.A., 2013. Relations between ENSO and the South Atlantic SST modes and their

- effects on the South American rainfall. *International Journal of Climatology* 33, 2008-2023.
- Kousky, V.E., 1980. Diurnal rainfall variation in Northeast Brazil. *Monthly Weather Review* 108, 488-498.
- Lucena, D.B., Gomes Filho, M.F., Servain, J., 2011. Avaliação do impacto de eventos climáticos extremos nos oceanos Pacíficos e Atlântico sobre a estação chuvosa do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia* 26, 297-312.
- Magalhães, G.B., Zanella, M.E., Sales, M.C.L.A., 2009. Ocorrência de chuvas e a Incidência de Leptospirose em Fortaleza CE. *Hygeia: Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde* 5, 77- 87.
- Morais, L.M.F.A., 2009. Expansão urbana e qualidade ambiental no litoral de João Pessoa-PB. *Dissertação (Mestrado)*. João Pessoa, UFPB.
- Moura, G.B.A., Aragão, J.O.R., Melo, J.S.P., Silva, A.P.N., Giongo, P.R., Lacerda, F.F., 2009. Relação entre a precipitação do leste do Nordeste do Brasil e a temperatura dos oceanos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 13, 462-469.
- Pinkayan, S., 1966. Conditional probabilities of occurrence of wet and dry years over a large continental area. Colorado State University, Boulder. (Hydrology Papers, 12).
- Ramos, A.M., Santos, L.A.R., Fs, L.T.G. (Orgs.), 2009. Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990. INMET, Brasília.
- Rao, V.B., Lima, M.C., Franchito, S.H., 1993. Seasonal and interannual variations of rainfall over eastern Northeast Brazil. *Journal of Climate* 6, 1754
- Sobreira, L.C., Rosa, P.R.O., Rosa, C.R. Nascimento, M.O.T.A., Jr. Pazera, E., 2004. Distribuição das áreas de inundação na cidade de João Pessoa Paraíba: Esboço de análise geográfica.
- Souza, W.M., Azevedo, P.V., Araújo, L.E., 2012. Classificação da precipitação diária e impactos decorrentes dos desastres associados às chuvas na cidade do Recife-PE. *Revista Brasileira de Geografia Física* 2, 250-268.
- Teixeira, M.S., Satyamurty, P., 2007. Dynamical and synoptic characteristics of heavy rainfall episodes in southern Brazil. *Monthly Weather Review* 135, 598-617.
- Xavier, T.deMa.B.S., 2001. Tempo de Chuva- estudos climáticos e de previsão para o Ceará e o Nordeste Setentrional. ABC Editora, Fortaleza.