



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO  
UNIDADE ACADÊMICA DE TECNOLOGIA  
CURSO DE ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS**

**SHAYENNY ALVES DE MEDEIROS**

**CARACTERIZAÇÃO DAS CHUVAS DE JOÃO PESSOA E OS  
PADRÕES DE CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA ASSOCIADOS A  
EVENTOS EXTREMOS**

**SUMÉ - PB  
2018**

**SHAYENNY ALVES DE MEDEIROS**

**CARACTERIZAÇÃO DAS CHUVAS DE JOÃO PESSOA E OS  
PADRÕES DE CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA ASSOCIADOS A  
EVENTOS EXTREMOS**

**Monografia apresentada ao Curso Superior de Engenharia de Biosistemas do Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Biosistemas.**

**Orientadora: Professora Dr<sup>a</sup> Aldinete Bezerra Barreto**

**SUMÉ - PB  
2018**

M488c Medeiros, Shayenny Alves de.

Caracterização das chuvas de João Pessoa e os padrões de circulação atmosférica associados a eventos extremos. / Shayenny Alves de Medeiros. - Sumé - PB: [s.n], 2018.

51 f.

Orientadora: Professora Dr<sup>a</sup> Aldinete Bezerra Barreto.

Monografia - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Curso de Engenharia de Biosistemas.

1. Meteorologia. 2. Caracterização de chuvas de João Pessoa - PB. 3. Precipitação atmosférica. 4. Padrões atmosféricos. 5. Eventos extremos - Meteorologia I. Título.

CDU: 551.5(043.1)

Elaboração da Ficha Catalográfica:

Johnny Rodrigues Barbosa  
Bibliotecário-Documentalista  
CRB-15/626

SHAYENNY ALVES DE MEDEIROS

**CARACTERIZAÇÃO DAS CHUVAS DE JOÃO PESSOA E OS  
PADRÕES DE CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA ASSOCIADOS A EVENTOS  
EXTREMOS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharela em Engenharia de Biosistemas.

Aprovado em: 21 de dezembro de 2018.

BANCA EXAMINADORA

Aldinete Bezerra Barreto

Profa. Dra. Aldinete Bezerra Barreto  
Orientadora- UATEC/CDSA/UFCG

Alexandra Chaves Braga

Profa. Dra. Alexandra Chaves Braga  
Examinadora - UATEC/CDSA/UFCG

Bianca Correia de Medeiros

Ms. Bianca Correia de Medeiros  
Examinadora – CCET/UFRN

Dedico este trabalho primeiramente ao Senhor Deus, louvado seja o teu nome! Pois me ensinou que tudo tem seu tempo determinado, e há tempo para todo o propósito debaixo do céu.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus, porque dele e por ele, e para ele, são todas as coisas; glória, pois, a ele eternamente. Só cheguei até aqui pela sua bondade e amor. Amém!

A minha orientadora, Professora Aldinete, por todo o saber transmitido, pelo companheirismo ao longo desses anos, confiando no meu potencial e me fazendo ir além do que eu imaginava. Obrigada por plantar comigo inúmeras sementes, que aos poucos já estamos colhendo os frutos, obrigada por todo cuidado, paciência e carinho, obrigada de todo meu coração!

A minha mãe Silvia, meu alicerce, a pessoa que sempre confiou nos meus sonhos e nunca me permitiu desistir, entregando a minha vida todo o momento a Deus! Aos meus irmãos Houtsberg e Yashmim que mesmo estando separados fisicamente, permaneceram me apoiando e me amando, somos um laço que não se desfaz! A minha vitória é nossa!

Ao meu namorado Elivélton, que sempre esteve ao meu lado, nos maus e bons momentos da graduação, obrigada por nunca medir esforços para me ajudar. Ele soube me compreender, me entender e me amar quando eu menos merecia. Obrigada!

Aos meus queridos amigos Professor Nahum Isaque e Professora Maria Leide, ambos foram os primeiros a me darem oportunidades em projetos de extensão e pesquisa, os quais só somaram positivamente em meu crescimento acadêmico, obrigada pela confiança!

Ao meu Professor Patrício José, o qual mesmo sem saber foi um dos maiores incentivadores para continuar esse tão árduo caminho, obrigada por confiar em mim em todos os momentos, levo o senhor em meu coração, como um grande exemplo de professor.

As minhas queridas e amadas professoras, Joelma Sales, Fabiana Pimentel, Normanda Lino, Morgana Fabíola, fico muita grata por todos os aprendizados decorrentes das suas aulas e orientações que foram de fundamental importância para o meu desenvolvimento intelectual e acadêmico. Obrigada!

Ao meu Coordenador e orientador de estágio Ranoel José, por sempre estar disposto a me ajudar nas atividades acadêmicas, obrigada pelas tardes de descontração o que tornou muitas vezes os dias mais leves, obrigada pela amizade!

Agradeço também a todos os meus professores que estiveram presente em minha formação acadêmica, contribuindo para realização do meu sonho.

Aos meus amigos e amigas, Beatriz Cícera, Crisóstomo Trajano, Júlia Luzia, Julio Cesar, Luana Cristina, Lucas Wagner, Renato Luis, por serem pontos de alegria e paz em dias tão turbulentos, obrigada pela parceria, apoio e risadas, sempre estarão presentes eu meu coração!

Agradeço a minha amiga, companheira, colega de classe, Renata Richelle, que nesses longos anos sempre esteve lado a lado comigo, sofrendo perdas e comemorando vitórias, só nós sabemos o que vivemos, por esses e por outros inúmeros motivos toda a minha gratidão!

*“Tudo é possível desde que você dedique seu tempo, seu corpo e sua mente.”*

*Michael Phelps*

## RESUMO

Conhecer a variabilidade da precipitação ajuda a compreender como os eventos intensos de chuva podem mudar em intensidade e frequência ante a perspectiva de mudanças climáticas, tendo em vista o seu potencial em causar impactos adversos na sociedade. O objetivo da pesquisa é conhecer a variabilidade da precipitação em escala anual, mensal e diária, para caracterizar o regime de chuvas e realizar a classificação pluviométrica de acordo com a Técnica dos Percentis, da cidade João Pessoa-PB, com foco nos eventos extremos chuvas e identificar padrões da circulação atmosférica relacionados com tais eventos. O período de estudo é de 1961 a 2017. A Técnica dos Percentis determinou a classe pluviométrica da precipitação anual, que caracterizou os totais anuais em cinco classes: Muito Seco (MS), Seco (S), Normal (N), Chuvoso (C) e Muito Chuvoso (MC). Essa classificação anual foi analisada juntamente com anos em que se registrou a ocorrência de La Niña (LN) e de El Niño (EN) e os resultados não evidenciaram a influência desses fenômenos sobre a variabilidade da chuva de João Pessoa. Já na classificação mensal, a frequência máxima das classes dos meses Chuvoso e Muito Chuvoso ocorre nos meses de junho e julho, enquanto que nos meses de outubro, novembro e dezembro ocorrem às frequências máximas das classes denominadas Seco e Muito Seco. Com o cálculo do percentil 97 ( $P_{97}$ ) foram identificados 272 eventos extremos de precipitação, com valor diário igual ou superior a 60mm e frequência máxima no período de abril a julho (quadrimstre chuvosos). Foram utilizados ainda os dados de Pressão Reduzida ao Nível Médio do Mar (PNMM), obtidos do conjunto de dados de reanálise, para identificação de padrões atmosféricos associados aos eventos extremos de precipitação através da Análise em Componentes Principais (ACP). Os resultados identificaram cinco (05) tipos de Padrão que representam aproximadamente 77% dos dados. O padrão dominante (23,93%) identificou padrões nos baixos níveis com configuração indicativa da presença da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e o domínio da alta subtropical no Atlântico Norte (ASAN), Atlântico Sul (ASAS) e Pacífico Sul (ASPS). O segundo Padrão (16,21%) também está associado a ZCIT, porém situada mais ao norte do litoral do Nordeste e uma intensificação da ASAS. Em outro Padrão (14,50%) observa-se o domínio e intensificação de um núcleo de alta pressão na área subtropical do Atlântico incluindo regiões do Brasil, e um núcleo de alta pressão no Atlântico Norte, se estendendo até o Golfo do México, nesse padrão também é vista um centro de baixa pressão que domina o Pacífico Sul e parte do sudoeste da América do Sul.

**Palavras-chave:** Precipitação. Padrão Atmosférico e Componentes Principais.

## ABSTRACT

To know the variability of the precipitation helps to understand as the intense rain events can change in intensity and frequency before the perspective of climatic changes, in view of its potential in causing adverse impacts in the society. The research objective is to know the variability of the precipitation in annual, monthly and daily scale, to characterize the rain regimen and to carry through the rainfall classification in accordance with the Technique of the Percentiles, the city João Person, with focus in the extreme events rains and to identify related standards of the atmospheric circulation with such events. The period of study is of 1961 the 2017. The Technique of the Percentiles determined the rainfall class of the annual precipitation, that characterized the annual totals in five classrooms: Dry (D), very Dry (VR), Normal (N), Rainy (R) and Very Rainy (VR). This classification was analyzed together with periods where if the woollen occurrence La Niña registered (LN) and of El Niño (EN) and the results had not evidenced the influence of these phenomena on the variability of the rain of João Person. In the monthly classification, the maximum frequency of the Rainy and Very Rainy months occurs in the months of June and July, while in October, November and December the maximum frequencies of the Dry and Very Dry classes occur. The technique made possible identification of the extreme rain events with equal or superior daily value 60mm to it. With the 97th percentile, 272 extreme rainfall events precipitation events had been identified. To get the circulation standards the method of the Principal Component Analysis (PCA) rotated was used and applied the data of reanalysis of reduced pressure to the mean sea level (PNMM), also it used statistical techniques of Cluster Analysis (CA) and Correlation in the factors generated for the ACP. With the calculation of the 97th percentile (P97), 272 extreme precipitation events were identified, with a daily value equal to or greater than 60mm and maximum frequency from April to July (rainy four months). Data were also used for the Reduced Pressure at the Mean Sea Level (PNMM), obtained from the reanalysis data set, to identify atmospheric patterns associated with extreme precipitation events through Principal Component Analysis (PCA). The results had identified five (05) types of Standard that represent 77% of the data approximately. The dominant standard (23.93%) identified to standards in the low levels with indicative configuration of the presence of the Intertropical Convergence Zone, (ITCZ) and the high domain of North Atlantic subtropical high (NASH), South Atlantic (SASH) and South Pacific (SPSH). As the Standard (16.21%) also is associated the ITCZ, however situated more to the North of the northeast coast and an intensification of the SASH. In another Standard (14.50%) one observes the domain and intensification of a high-pressure nucleus in the subtropical area of the Atlantic including regions of Brazil, and a high-pressure nucleus in the North Atlantic, if extending until the Gulf of Mexico, in this standard also a center of low pressure is seen that dominates the Pacific and southwestern part of the South America South.

**Keywords:** Precipitation. Atmospheric Standard and Main Components.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> - Área de análise dos dados de pressão reduzida ao nível médio do mar (PNMM). 21	21
<b>Figura 2</b> - Distribuição Espacial do Primeiro Fator e a pressão ao nível médio do mar (PNMM) e os Campos Médios de Pressão. O valor das isóbaras é dado em hectopascal (hpa). Os centros de alta (baixa) pressão indicados pela letra A (B). (a) dois dias antes do evento (F1-2), (b) um dia antes do evento (F1-1) e (c) no dia do evento (F100).....	41
<b>Figura 3</b> - Distribuição Espacial do Segundo Fator e a pressão ao nível médio do mar (PNMM) e os Campos Médios de Pressão. O valor das isóbaras é dado em hectopascal (hpa). Os centros de alta (baixa) pressão indicados pela letra A (B). (a) dois dias antes do evento(F2-2), (b) um dia antes do evento (F2-1)e (c) no dia do evento (F200). ....	42
<b>Figura 4</b> - Distribuição Espacial do Terceiro Fator e a pressão ao nível médio do mar (PNMM) e os Campos Médios de Pressão. O valor das isóbaras é dado em hectopascal (hpa). Os centros de alta (baixa) pressão indicados pela letra A (B). (a) dois dias antes do evento (F3-2) (b) um dia antes do evento (F3-1) e (c) no dia do evento (F300).....	43
<b>Quadro 1</b> - Intervalos de classe para categorização da precipitação. ....	23
<b>Quadro 2</b> - Ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña para o período de 1961-2017, de intensidades: Forte (F), Moderado (M) e Fraco (FR). (Fonte: Adaptado do CPTEC).....	23
<b>Quadro 3</b> – Limites dos Intervalos das Classes Anuais da Precipitação de João Pessoa-PB do período de 1961-2017 e a Frequência Percentual dos anos em cada classe. ....	29
<b>Quadro 4</b> - Valores dos Intervalos de Classe Mensal da Precipitação de João Pessoa-PB do período de 1961-2017.....	32
<b>Quadro 5</b> - Fatores constituintes de cada Tipo de Padrão da pressão ao nível médio do mar (PNMM). ....	39
<b>Mapa 1</b> - Localização da Cidade de João Pessoa – Paraíba .....	20
<b>Gráfico 1</b> - Distribuição do total anual da precipitação e a sua Classificação obtida pelo método dos percentis, no período 1961-2017 da Estação Climatológica do INMET em João	

Pessoa/PB: Precipitação (linha azul), Percentil <sub>0,15</sub> (linha cinza contínua), Percentil <sub>0,35</sub> (linha cinza tracejado), Percentil <sub>0,65</sub> (linha preta tracejada) e Percentil <sub>0,85</sub> (linha preta contínua). ...	30
<b>Gráfico 2</b> - Distribuição mensal da normal climatológica da precipitação (1961-1990) e da precipitação média e desvio padrão (DP) do período 1961-2017 para João Pessoa. ....	32
<b>Gráfico 3</b> - Frequência mensal dos eventos extremos de precipitação, igual ou superior a 60mm para o período de 1961-2017, na cidade de João Pessoa.....	34
<b>Gráfico 4</b> - Frequência mensal do número de eventos extremos de chuva no período em estudo (1961-2017) no quadrimestre chuvoso (Abr-Jul) e nos meses de Janeiro a março e de agosto setembro (Jan-Mar/ago-Set), na cidade de João Pessoa.....	35
<b>Gráfico 5</b> - Precipitação acumulada (mm) registrada pela estação Climatológica Principal do INMET do mês de setembro de 2013.....	36
<b>Gráfico 6</b> - Tipos de Padrão formados com os fatores comuns temporais rotacionados da pressão ao nível médio do mar (PNMM) do dia-2, dia-1 e dia00: (a) curva de inércia e (b) dendrograma utilizando o método de Ward e a distância euclidiana. ....	38

## LISTA DE SIGLAS

AA- Análise de Agrupamento
ACP - Análise de Componentes Principais
AMJJ- quadrimestre chuvoso
ASAN - Alta Subtropical no Pacífico Norte
ASAS- Altas Subtropicais no Atlântico Sul
ASPS- Altas Subtropicais no Pacífico Sul
BUFR - Binary Universal Form for the Representation
CCM- Complexos Convectivos de Mesoescala
C- Chuvoso
CMs- Complexos Convectivos de Mesoescala
DOL - Distúrbios Ondulatórios de Leste
DP- Desvio Padrão
EN- El Niño
GrADS- Grid Analysis and Display System
GRIB - GRIdded Binary

HDF-SDS - Hierarchical Data Format- Scientific Data Set  
HL- Hora Local  
IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
INMET- Instituto Nacional de Meteorologia  
IPCC - International Panel on Climate Change  
KMO- Kaiser-Meyer-Olkin  
LI- Linhas de Instabilidade  
LN- La Niña  
MC- Muito Chuvoso  
MS - Muito Seco  
MTA- Massa Tropical Atlântica  
N- Normal  
NCEP- National Centers for Environmental Prediction  
NEB- Nordeste do Brasil  
NetCDF - Network Common Data Form  
OL- Ondas de Leste  
PNMM- Pressão Reduzida ao Nível Médio do Mar  
PSD- NOAA ESRL Physical Sciences Division  
RFF- Repercussões de Frente Fria  
S- Seco  
SF- Sistemas Frontais  
SQD - Soma dos Quadrados dos Desvios  
UTC- Tempo Universal Coordenado  
VCAN- Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis  
VCAS- Vórtices Ciclônicos em Ar Superior  
ZCAS- Zona de Convergência do Atlântico Sul  
ZCIT- Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>16</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>20</b>
3.1 MATERIAIS.....	20
3.2 MÉTODOS .....	22
<b>3.2.1 Técnica dos Quantis</b> .....	<b>22</b>
<b>3.2.2 Análise de Componentes Principais (ACP)</b> .....	<b>23</b>
<b>3.2.3 Análise de Agrupamento (AA)</b> .....	<b>26</b>
<b>3.2.4 Correlações e Campos Médios</b> .....	<b>27</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>29</b>
4.1 CLASSIFICAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO ANUAL .....	29
4.2 CLASSIFICAÇÃO DA VARIABILIDADE MENSAL .....	31
4.3 CLASSIFICAÇÃO DOS EVENTOS EXTREMOS DE CHUVA DIÁRIA.....	34
4.4 PADRÕES ATMOSFÉRICOS ASSOCIADOS AOS EVENTOS EXTREMOS DE CHUVA.....	36
<b>4.4.1 Padrão do Primeiro Fator (Tipo 1)</b> .....	<b>39</b>
<b>4.4.2 Padrão Segundo Fator (Tipo 2)</b> .....	<b>40</b>
<b>4.4.3 Padrão Terceiro Fator (Tipo 3)</b> .....	<b>40</b>
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	<b>44</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>45</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A precipitação é uma importante variável meteorológica e de fundamental valor na natureza, além de ser um dos fatores meteorológicos responsáveis por impactos socioambientais em grandes centros urbanos. Essas precipitações quando intensas ou contínuas podem ocasionar: alagamentos, deslizamentos de encostas, desmoronamentos e até mesmo perda de vidas humanas, que pode deixar a cidade em estado de calamidade pública.

É conhecido que esses impactos não são causados apenas pelas chuvas fortes. Eles ocorrem também devido a associação das fortes chuvas com a má infraestrutura urbana, o que acaba agravando as consequências e efeitos de alguns desastres, principalmente para as regiões conhecidas como áreas de riscos.

Alguns desses impactos decorrentes de inundações e os movimentos de massa, como deslizamentos, resultam em danos (humanos e materiais) e prejuízos socioeconômicos. Entretanto são os deslizamentos que geram o maior número de vítimas fatais (CARVALHO e GALVÃO, 2006).

Os eventos de chuvas intensas têm sido causadores de quedas de árvores, deslizamentos de barreiras, inundações em áreas residenciais, comerciais e em vias de grande fluxo, causando congestionamentos que duram horas, além do agravamento dos problemas sociais e sanitários das populações residentes em áreas de maior vulnerabilidade socioambiental. (PEREIRA et al, 2012. p 922).

Segundo o Banco de Dados de Desastres Naturais no Mundo (EM-DAT), a maior parte (66%) dos desastres naturais registrados no mundo em mais de cem anos, entre 1900 e 2006, foram causados por eventos meteorológicos extremos, os desastres naturais com maior número de registros foram deflagrados por inundações (35%), seguidas das tempestades (31%) (SCHEUREN et al., 2007).

É sabido que o crescimento urbano desordenado e sem planejamento público intensifica e diversifica esses desastres nas áreas urbanas. 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).

No Brasil, a distribuição espacial dos desastres naturais mostra que a região que apresenta o maior número de registros é a Sudeste, com 40%, seguida pela Região Nordeste, com 32% do total. Contudo, mais de 70% desses desastres foram causados por eventos extremos de precipitação (Santos, 2013).

Particularmente, a cidade de João Pessoa, capital paraibana situada no litoral leste do Nordeste, cujo total anual de chuva é de 2145,4 mm (RAMOS et al., 2009), 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 (Anjos et al., 2006).

As autoras BARRETO e MEDEIROS (2013), estudaram as fortes chuvas de João Pessoa e seus resultados confirmaram os máximos das médias mensais que são observados nos meses de abril (293,8mm), maio (287,7mm), junho (358,1mm) e julho (313,5 mm) definindo assim o principal quadrimestre chuvoso, representando quase 64% do total anual das chuvas esperado para a cidade. Alguns autores também identificaram os meses de abril a julho como o quadrimestre chuvoso de regiões localizadas no litoral leste do Nordeste (BARRETO et al., 2008; RAO et al., 1993).

Embora a redução dos impactos socioambiental decorrentes de chuvas intensas nas áreas urbanas necessite de implantações de políticas públicas, também se faz necessário a compreensão dos padrões atmosféricos associados a essa chuvas extremas, e a Pressão Reduzida ao Nível Médio do Mar (PNMM) é uma das variáveis meteorológicas que contribui com a investigação de um comportamento padrão da atmosfera.

BARRADAS e NIGAM (2005) estudaram a variabilidade da precipitação sobre as grandes planícies dos Estados Unidos, usando séries de reanálise do NCEP/NCAR e ERA-40 e simulações de modelos atmosféricos, assim como RAO et. al. (1999), que investigam a influência da interação oceano-atmosfera para a precipitação do nordeste brasileiro.

O estudo das condições atmosféricas que influenciam na ocorrência de eventos extremos de chuva pode identificar características específicas de algumas variáveis meteorológicas determinadas como padrão. O conhecimento da existência de padrões é importante na prevenção dos desastres naturais relacionados com esses eventos.

Assim, esse trabalho tem a finalidade de analisar e quantificar os eventos extremos de excesso ou escassez de chuva, através da técnica estatística Percentil, como também investigar a existência de padrões atmosféricos associados à ocorrência de eventos extremos de precipitação em João Pessoa. Para tal, a técnica estatística empregada será a de Análise Fatorial em Componentes.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As manifestações do clima sempre existiram, tais como chuva forte, vendavais, tornados e seca. Mas, o que se observa ultimamente é que estes efeitos tornaram-se mais constantes, consequência que, segundo alguns estudiosos, é causada pelas mudanças dos fatores meteorológicos. Especialistas garantem o aumento de temperaturas, intensidade ou escassez de chuvas e maior frequência de desastres naturais. Quando os eventos ocorrem e afetam a sociedade, a incapacidade do homem de resposta aos resultados dos eventos meteorológicos é o que caracteriza o desastre.

O IPCC - Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (International Panel on Climate Change), nos cenários de mudanças climáticas do seu 4º Relatório IPCC AR4 (2007), já apontava para uma série de mudanças climáticas globais na temperatura do ar à superfície e nos padrões de precipitação. Com um aumento na temperatura, o número de eventos extremos de precipitação pode aumentar e, com isso, a média mensal da chuva também aumenta. Num clima mais quente há grande probabilidade de expressivo crescimento dos desastres naturais pelo aumento de chuvas intensas no litoral brasileiro (Silva Dias e Silva Dias, 2007).

Outro tipo de mudanças que aumenta a vulnerabilidade da população é decorrente de mudanças ambientais causadas pela relação do homem com a natureza devido à retirada da cobertura vegetal, realização de cortes para nivelar o terreno, aterros, impermeabilização das vias urbanas, ocupação desordenada de morros e encostas e alterações nas bacias de drenagem. O crescimento urbano desordenado e sem planejamento público intensifica e diversifica os desastres nas áreas urbanas.

O aumento das áreas urbanas nas últimas décadas tem ocorrido sem nenhum critério técnico ou lógico. Devido à ocupação e uso desordenados do solo, as precipitações intensas resultam em alagamento nas áreas mais baixas e deslizamentos de encostas. Os eventos de chuva extrema também podem interferir nas atividades econômicas, especialmente nos países em desenvolvimento, os quais dependem fortemente da agricultura e produção de energia hidrelétrica. Também se pode 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.

A precipitação não é uma variável contínua no espaço-tempo. Nos últimos anos, para maior compreensão do comportamento da precipitação foram desenvolvidas metodologias

que possibilitaram diferenciar as intensidades de precipitação como, por exemplo, chuva acima da média e chuva muito acima da média, sendo esta última classe denominada de extremo. Esses métodos também são utilizados para analisar a intensidade de períodos secos e chuvosos.

Dentre os principais métodos usados para quantificar e monitorar eventos extremos de excesso ou escassez de chuva destacou-se o Método dos Percentis e Índice Padronizado de Precipitação.

A Técnica dos Percentis (quantis) proposta por Pinkayan (1966), amplamente utilizada por Xavier (2001) para estabelecer a classificação e monitoramento de períodos secos e chuvosos, baseia-se na distribuição da frequência acumulada, sendo que a aproximação da função densidade de probabilidade que descreve o fenômeno é tanto melhor quanto maior é o número de observações disponíveis. Os intervalos de cada percentil representam as probabilidades ou frequências esperadas para cada um dos eventos que podem ocorrer na sequência da série temporal de uma variável X.

Santos (2013) utilizou o método dos percentis (quantis) na classificação pluviométrica da cidade de Salvador. Na análise anual, 1964 é o ano mais extremo “muito chuvoso” e o ano 1961 é o extremo “muito seco”. O maior número desses eventos está nas décadas de 1960 e 1980. Ela observou que os eventos “muito chuvosos” estão concentrados nas décadas de 1970 e 1980.

Ainda usando o método dos percentis (quantis), 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).

Da mesma forma, 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.

Um dos objetivos desse trabalho é investigar a existência de padrões atmosféricos associados à ocorrência de eventos extremos de precipitação em João Pessoa. Para verificar a existência de um padrão, a Análise de Componentes Principais (ACP) é uma das técnicas de análise multivariada mais utilizada, a exemplo de Esteban et al. (2006) que utilizaram a Análise de Componentes Principais e Análise de Agrupamento para caracterizar padrões de

circulação diária de superfície em escala sinótica, na Europa Ocidental, usando dados diários de reanálise da PNMM para as 18:00 UTC no período 1960-2001.

A ACP e AA têm sido aplicados com frequência a séries de variáveis meteorológicas, por serem capazes de identificar e classificar padrões espacial e temporal, com o objetivo de interpretar fenômenos de interesse de maneira mais clara e simplificada (ARAÚJO, 2005, WILKS, 2006).

A ACP é uma técnica da análise multivariada utilizada para reduzir o número de variáveis de um conjunto de dados, identificando o padrão de correlações ou de covariâncias entre elas e gerando um número menor de novas variáveis latentes, não observadas, calculadas a partir dos dados brutos. A redução do número de variáveis, também chamados muitas vezes de fatores ou componentes, maximiza o poder explicativo do conjunto de todas as variáveis, a partir da classificação dos autovetores associados aos autovalores da matriz de correlação (RICHMAN, 1986, WILKS, 2006).

Outro estudo que utilizou a Análise de Componentes Principais foi o de Fragoso e Gomes (2008) que tinham o objetivo de identificar os principais padrões de precipitação associados a eventos intensos de chuva, bem como padrões da circulação atmosférica de grande escala associados aos eventos, no sul de Portugal. A ACP aplicada a dados de reanálise de pressão ao nível médio do mar (PNMM) identificou 5 padrões de circulação, indicando uma diversidade considerável entre as condições de circulação atmosférica favoráveis à ocorrência de chuvas intensas no sul de Portugal.

Barreto et al. (2012) utilizou dados de precipitação diária e mensal do período de 1964 a 2009 para estudar a variabilidade da chuva na cidade de Salvador, situada no litoral leste do Nordeste, e diagnosticou suas características em várias escalas de tempo. Ela também investigou os eventos extremos de precipitação (total diário igual ou superior a 50 mm) e através de dados de reanálises (pressão reduzida ao nível médio do mar e das componentes zonal e meridional do vento no nível de 200 e 850 hpa) identificou padrões da circulação atmosférica de grande escala relacionados a tais eventos.

Nascimento (2014) aplicou a ACP e Agrupamentos de dados aos do índice de precipitação normalizada com a finalidade de identificar regiões de eventos máximos e mínimos de chuva no estado do Maranhão. Detectou os padrões espaciais e temporais e relacionou com os principais fenômenos meteorológicos atuantes no estado do Maranhão.

Os sistemas meteorológicos, tais como, Vórtices Ciclônicos em Ar Superior (VCAS), Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e a

influência dos Sistemas Frontais (SF) são elementos que induzem direta ou indiretamente a ocorrência de chuvas sobre a região Nordeste do Brasil, Melo (1997).

Em suas pesquisas, Alves et al. (2001) concluíram que os sistemas meteorológicos que afetam o tempo no leste do NEB precisam ser estudados mais detalhadamente. Entre esses sistemas, os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) e Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) foram destacados em seus estudos (Alves et al., 2001; 2006)

Particularmente para a cidade de João Pessoa, região de estudo dessa pesquisa, Anjos et al. (2006) estudaram duas características fundamentais das chuvas diárias, mais precisamente sua intensidade e frequência. Já Barreto e Medeiros (2013) estudaram os eventos extremos de chuva, com intensidade maior ou igual a 60 mm.

Os sistemas atmosféricos que atuam em João Pessoa são de escala zonal e de níveis regionais, dessa maneira, se conhece a Zona de Convergência Intertropical - ZCIT, Massa Tropical Atlântica - MTA, Ondas de Leste - OL, Complexos Convectivos de Meso Escala - CCMs, Vórtice Ciclônico de Ar Superior - VCAS, Repercussões de Frente fria - RFF e Linhas de Instabilidade - LI (MOLLION e BERNARDO, 2002; FERREIRA e MELLO, 2005; MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Ainda para a cidade de João Pessoa, o estudo de Medeiros (2015) evidenciou a importância da circulação de brisa terrestre no regime de precipitação, já que favorece a chuva no final da noite até o início da manhã, com frequência máxima as 6 HL (Horário Local).

Assim, conhecer as características dessas chuvas é importante, uma vez que sua intensidade pode resultar em prejuízos econômicos, sociais e ambientais. Bem como, estudar o comportamento da circulação atmosférica associada com esses eventos extremos de chuva, na cidade. A finalidade é fazer uma classificação sinótica desses eventos que possa contribuir para aprimorar a previsão de tempo, a fim de minimizar os impactos provocados por este tipo de evento.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo é a cidade de João Pessoa, capital da Paraíba, localizada no litoral leste do nordeste brasileiro com longitude oeste de 34°47'30" e latitude sul de 7°09'28" (mapa 1). Segundo a uma estimativa de 2017 feita pelo IBGE, a capital paraibana possui cerca de 811.598 habitantes que ocupam uma área de 211,475 km<sup>2</sup>.

O clima da cidade foi classificado por Mendonça e Danni-Oliveira (2007) como sendo o Clima Tropical Litorâneo do Nordeste Oriental, que se caracteriza como clima úmido e quente, se diferenciando dos climas mais secos do interior da região. João Pessoa possui um litoral com cerca de 25 km de praias que são banhadas pelo Oceano Atlântico, o qual detém grande influência sobre o clima da capital através de suas águas, normalmente quentes, devido a corrente oceânica conhecida como corrente do Brasil.

**Mapa 1 - Localização da Cidade de João Pessoa – Paraíba**



Autor: Francisco Vilar de Araújo Segundo Neto, 2014.

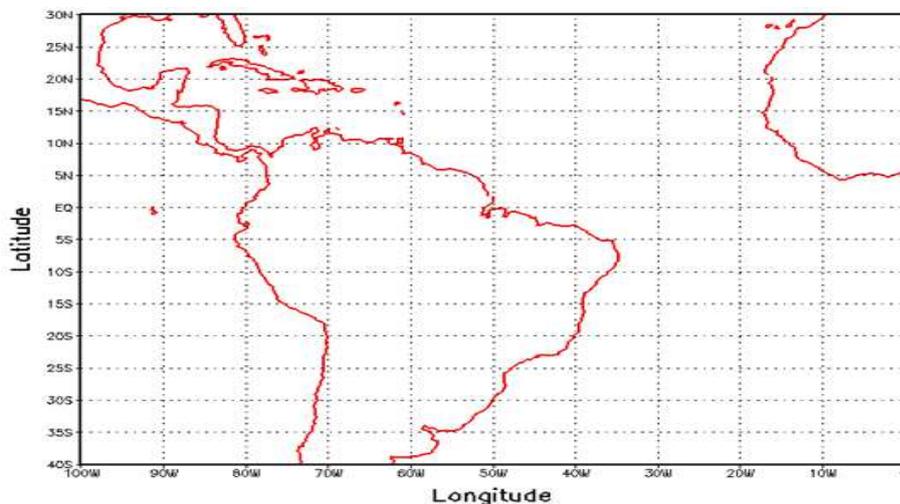
#### 3.1 MATERIAIS

Neste trabalho foram utilizados dados diários de precipitação do período de 1961 a 2017, observados na estação climatológica principal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em João Pessoa (7°7'S, 34°53'W, 5m). Do período em estudo foram excluídos oito anos (1962, 1971, 1972, 1975, 1979, 1980, 1981, 1982) uns por total ausência de dados e outros por dados incompletos, assim totalizando apenas 49 anos trabalhados na pesquisa. Esses dados foram usados para analisar os totais acumulados de chuva, as médias

climatológicas, o desvio padrão, a classificação pluviométrica da precipitação anual e mensal em períodos secos e chuvosos, bem como os eventos extremos de precipitação.

Foram utilizados ainda dados de pressão reduzida ao nível médio do mar (PNMM), obtidos do conjunto de dados de reanálise do NCEP/NCAR, cuja resolução é de  $2,5^\circ \times 2,5^\circ$  de longitude-latitude, esses dados estão disponibilizados no site (<https://www.esrl.noaa.gov/psd/>) da Divisão de Ciências Físicas (PSD) da NOAA / OAR / Earth System Research Laboratory, Boulder, Colorado- EUA. A área delimitada para análise desses dados encontra-se situada entre as latitudes de  $40^\circ\text{S}$  e  $30^\circ\text{N}$  e entre as longitudes de  $100^\circ\text{W}$  e  $0^\circ\text{W}$ , correspondendo a 1189 pontos de grade. Na Figura 1 estão apresentados os limites dessa área que abrange parte do Oceano Pacífico, Oceano Atlântico, América do Sul, África e Golfo do México.

**Figura 1** - Área de análise dos dados de pressão reduzida ao nível médio do mar (PNMM).



Autora: Aldinete Bezerra Barreto, 2012.

Esses dados de reanálises foram utilizados para identificação de padrões atmosféricos associados aos eventos extremos de precipitação através da Análise em Componentes Principais. A análise desses dados foi realizada para as 6 UTC (3 horas, horário local) de dois dias antes do evento extremo de precipitação, um dia antes do evento e do dia do evento. É importante ressaltar que a escolha do horário das 6 UTC decorre do fato de que a chuva da cidade de João Pessoa tem frequência máxima no período da madrugada e início da manhã, resultado encontrado por Medeiros (2015).

## 3.2 MÉTODOS

Os dados citados na seção 3.1 são utilizados a fim de identificar variabilidade da precipitação mensal e anual e realizar a classificação pluviométrica dentro das Classes do quantis, como também verificar a existência de padrões atmosféricos associados à ocorrência de eventos extremos de precipitação em João Pessoa. Nessa etapa, foram utilizados métodos matemático-estatísticos (Percentis, Análise de Componentes Principais e Análise de Agrupamento, Correlações Lineares).

### 3.2.1 Técnica dos Quantis

Para caracterizar a frequência e a intensidade dos eventos extremos de chuva em João Pessoa, utilizou-se o método do percentil, aplicado aos dados diários de chuva. O percentil emprega a técnica dos Quantis, que teve aplicações ampliadas a partir do pioneiro e importante estudo dessa técnica, o de PINKAYAN (1966) que a usou para avaliar a ocorrência de anos secos e chuvosos sobre extensas áreas continentais sobre os Estados Unidos.

A Técnica baseia-se na distribuição da frequência acumulada, sendo que a aproximação da função densidade de probabilidade que descreve o fenômeno é tanto melhor quanto maior for o número de observações disponíveis. Os intervalos de cada percentil representam as probabilidades ou frequências esperadas para cada um dos eventos que podem ocorrer na sequência da série temporal de uma variável  $X$ .

A Técnica dos Quantis é uma metodologia que consiste estritamente na distribuição em ordenamento crescente de uma série amostral contínua, para a qual se atribui uma probabilidade  $p$ , univocamente para cada valor amostral (XAVIER, 1999; XAVIER et al., 2002). Assim, a série temporal será organizada 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%, como mostra o quadro abaixo. Se a divisão for em 99 partes corresponde ao percentil, assumindo a probabilidade de 1% para cada ordem. O índice  $n$ , portanto, representa o tamanho da amostra.

**Quadro 1** - Intervalos de classe para categorização da precipitação.

<b>Classes de Precipitação</b>		
Muito Seco	“MS”	quando $xi \leq P0,15$
Seco	“S”	quando $P0,15 < xi \leq P0,35$
Normal	“N”	quando $P0,35 < xi < P0,65$
Chuvoso	“C”	quando $P0,65 \leq xi < P0,85$
Muito chuvoso	“MC”	quando $xi \geq P0,85$

Fonte: Elaborado pela autora.

As classes pluviométricas anuais foram utilizadas para investigar a existência de influência dos eventos El Niño e La Niña, nas precipitações pluviométricas de João Pessoa-PB. Esses anos foram obtidos junto ao Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, pelo site (<http://www.cptec.inpe.br/>). Como podemos observar no Quadro 2, os eventos El Niño (EN) e La Niña (LN) são classificados, quanto a sua intensidade, em três categorias: Forte (F), Moderado(M) e Fraco (FR).

**Quadro 2-** Ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña para o período de 1961-2017, de intensidades: Forte (F), Moderado (M) e Fraco (FR). (Fonte: Adaptado do CPTEC).

<b>Ocorrência de El Niño</b>		<b>Ocorrência de La Niña</b>	
1965-1966 (M)	1990-1993 (F)	1964-1965 (M)	1995-1996 (FR)
1968-1970 (M)	1994-1995 (M)	1970-1971 (M)	1998-2001 (M)
1972-1973 (F)	1997-1998 (F)	1973-1976 (F)	2007-2008 (F)
1976-1977 (FR)	2002-2003 (M)	1983-1984 (FR)	2010-2011 (M)
1977-1978 (FR)	2004-2005 (M)	1984-1985 (FR)	2017 (M)
1979-1980 (FR)	2006-2007 (M)	1988-1989 (F)	-
1982-1983 (F)	2009-2010 (M)	-	-
1986-1988 (M)	2015-2016 (F)	-	-
<b>Total: 16 Eventos</b>		<b>Total: 11 Eventos</b>	

Fonte: Elaborado pela autora.

### 3.2.2 Análise de Componentes Principais (ACP)

Os dados de reanálises foram analisados para identificação de padrões atmosféricos associados à ocorrência de eventos extremos de precipitação em João Pessoa através da técnica estatística da Análise Fatorial em Componentes Principais, que tem com principal

objetivo reduzir o número de variáveis de um conjunto de dados, preservando a maior parte das informações contidas nesses dados.

Assim sendo, as componentes principais são combinações lineares das variáveis originais e obtidas em ordem decrescente de importância e foi aplicado a três conjuntos de dados (matrizes): para o dia do evento, um dia antes do evento e dois dias antes do evento.

A ACP é uma técnica usada para transformar um grupo de variáveis correlacionadas em um grupo de variáveis não-correlacionadas que as quantificam em proporções decrescentes da variância explicada dos dados originais. A razão da utilização deste método é para reduzir a complexidade existente nos dados e ao mesmo tempo o número de variáveis que necessariamente deveriam ser consideradas (AMANAJÁS e BRAGA, 2012)

A Análise das Componentes Principais se inicia com o cálculo dos autovalores e correspondentes autovetores de uma matriz de variância-covariância [S] ou uma matriz de correlação entre variáveis.

Neste trabalho propôs-se a realização da ACP através da matriz de correlações. Para tanto foi necessário realizar o teste de Esfericidade de Bartlett que determina se as variáveis estão correlacionadas e se estas correlações são significativas. Outro teste realizado foi o Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), que mostra a adequação dos dados para a realização da ACP quando os valores obtidos estão no intervalo de 0,5 a 1 (Hair et al., 2005).

A ACP pode ser representada geometricamente sob a forma de uma nuvem de pontos individuais no espaço das variáveis. Os fatores ou eixos principais extraídos de uma ACP fornecem imagens aproximadas dessa nuvem de pontos e a ACP propõe-se a medir a qualidade dessa aproximação. A rotação nos eixos fatoriais possibilita uma melhor interpretação desses dados. Daí optou-se por utilizar a rotação ortogonal dos eixos fatoriais via Varimax, que proporciona uma melhor distribuição das variáveis em relação aos fatores, assim tornando a interpretação mais clara.

Na definição do número de fatores retidos, o critério utilizado foi o Método de Kaiser que considera como mais significativos os autovalores cujos valores sejam superiores à unidade (Garayalde et al., 1986). Entretanto, quando o número de dados de uma matriz é elevado este método tende a elevar o número de fatores retidos. Assim utilizou-se o Método Scree Plot para fazer uma análise gráfica comparativa com o Método de Kaiser e então determinar o número de fatores a serem analisados.

O Método Scree Plot é baseado num gráfico construído com valores dos autovalores versus seu número. Neste caso, o número de fatores retidos é tomado como o ponto onde os

autovalores passam a ser pequenos e têm valores aproximadamente iguais. Vale ressaltar, que um fator associado a um autovalor pequeno (próximo de zero) será pouco importante, mas indica alguma dependência linear nos dados.

A partir das datas (dias) dos eventos extremos de precipitação em João Pessoa, obtidas com a aplicação da técnica do percentil, foram selecionados os dados de reanálises (PNMM), provenientes do NCEP. De forma semelhante, os dados de reanálises também foram selecionados para as datas referentes a dois dias antes do evento e um dia antes do evento.

Com a obtenção desses dados, foram formadas três matrizes para a variável: para dois dias antes do evento, um dia antes e o dia do evento. Foi organizado um total de três matrizes, denominadas matriz  $[X]$ , cada uma com 1189 linhas (pontos de grade da área delimitada) e 272 colunas (datas relacionadas com os eventos). Posteriormente, a técnica da Análise de Componentes Principais foi aplicada a cada uma dessas matrizes, na forma descrita a seguir.

A Matriz de correlação  $[R]$  é obtida a partir da matriz  $[X]$  das variáveis padronizadas pelos desvios padrões. sendo dada por:

$$[R] = 1/n [X]^T [X] \quad (1)$$

Tendo-se a matriz de correlações determinam-se os autovalores e autovetores associados. Os autovalores e os autovetores de uma matriz  $[S]$  são  $n$  escalares e um vetor não nulo  $[E]$  de dimensão  $(n \times 1)$  que satisfaz a relação:

$$[S][E] = \lambda[E] \quad (2)$$

$$([S] - \lambda[I]) \cdot [E] = [0] \quad (3)$$

Os autovalores de  $[S]$  são obtidos da solução permitida acima:

$$[S] - \lambda[I] = 0 \quad (4)$$

$$|[S] - \lambda[I]| = 0 \quad (5)$$

Como a matriz  $[S]$  é simétrica, os autovalores desta serão ortogonais, ou seja:

$$[E]^T [E] = [I] \quad (6)$$

A soma dos autovalores define a variância total dos dados. A variância explicada por cada autovetor é calculada pelo autovalor dividido pela soma dos autovalores. Pode-se obter uma nova matriz de dados a partir da combinação linear entre a matriz dos dados originais normalizados e a matriz transposta dos autovetores. Os elementos dessa nova matriz recebem o nome de componentes principais e é dado por:

$$[C] = [E]^T [X] \quad (7)$$

As componentes são calculadas de modo que a primeira componente principal  $C_1$  tenha variância máxima. Calcula-se  $C_2$ , procurando, novamente, maximizar a variância da

segunda componente que não deverá ser correlacionada com  $C_1$ . Calcula-se  $C_3$  que é obtido maximizando-se a variância, desde que não seja correlacionada com  $C_1$  e  $C_2$ . Assim, a variância de  $C_1, C_2, \dots, C_m$  decresce e frequentemente grande parte da variância dos dados é explicada por um número reduzido de componentes. Neste caso, é possível descartar as últimas componentes principais, sem grande perda de informação.

Ressalta-se ainda que a representatividade dos Padrões encontrados na ACP como situações sinóticas reais serão avaliadas através da configuração espacial do campo de pressão da variável original que apresenta maior correlação com os fatores temporais. Associadas a respectiva componente. E assim, espera-se poderem inferir as características de alguns sistemas atmosféricos que podem ter contribuído com as fortes chuvas de João Pessoa.

### 3.2.3 Análise de Agrupamento (AA)

A Análise de Agrupamento (AA) ou “Cluster Analysis” é uma técnica de análise multivariada que tem por objetivo a classificação de variáveis em grupos, baseando-se na identificação de suas características comuns. A Análise de Agrupamento foi aplicada aos fatores rotacionados retidos na ACP na tentativa de classificar grupos de fatores formados por configurações semelhantes. A identificação destes grupos permitiu diagnosticar Tipos de Padrões que indicam um comportamento particular da atmosfera favorável à ocorrência de eventos extremos de chuva em João Pessoa. A estrutura final dos grupos é apresentada sob forma de dendrograma, que representa uma síntese objetiva dos resultados.

A análise de agrupamento, ou análise de cluster, é uma técnica multivariada que busca agrupar elementos de dados com base na similaridade entre eles, definindo-os em grupos (Johnson e Wichern, 1982).

O sucesso de uma Análise de Agrupamento depende da medida numérica de similaridade ou dissimilaridade utilizada. Uma das medidas mais usadas na AA baseia-se na distância Euclidiana. Uma discussão detalhada dessa medida pode ser vista em Wilks (1995). A distância Euclidiana entre duas variáveis  $x_i$  e  $x_j$  é dada por:

$$d(x_i - x_j) = |x_i - x_j| = [\sum_{k=1}^k (x_{i,k} - x_{j,k})^2]^{1/2} \quad (8)$$

O método de agrupamento usado neste trabalho é o método de Ward. Esse método propõe que em qualquer fase da análise a perda de informação que resulta do agrupamento de indivíduos em grupos é medida pela Soma dos Quadrados dos Desvios (SQD) de cada objeto em relação à média do grupo ao qual o objeto pertence. A cada passo do agrupamento é

considerada a união de todo possível par de agrupamentos, e são combinados os dois agrupamentos cuja fusão resulta na perda mínima de informação (Everitt, 1974). O método de Ward é dado por:

$$SQD = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum x_i)^2 \quad (9)$$

em que  $x_i$  é o  $n$ -ésimo indivíduo do grupo.

### 3.2.4 Correlações e Campos Médios

Outra técnica estatística utilizada para analisar as características dos grupos (Tipos de Padrões) foi a correlação temporal entre os fatores e as variáveis originais. Essa correlação é o meio de interpretar o papel que cada variável tem na definição de cada fator. Assim, os coeficientes máximos da correlação indicam os casos de eventos extremos mais representativos no fator, ou seja, os meses que estão associados a cada Tipo de Padrão.

A representatividade dessas correlações é determinada pelo coeficiente de correlação ( $r$ ) que é uma medida de associação linear e que, diferentemente da regressão, permite a comparação de duas variáveis aleatórias ou independentes com o objetivo de examinar até que ponto essas variáveis são interdependentes. Quanto mais próximo de  $r=1$ , maior o grau de relação entre as duas variáveis. Isso significa que, quanto mais próximo de 1, os Padrões (fatores) e as situações sinóticas reais (variáveis originais) têm configurações similares.

A medida de associação entre o fator e a variável original é o coeficiente de correlação linear ou de Pearson. Tendo-se dois vetores  $X_i$  e  $Y_i$ , com  $i=1, \dots, n$  e  $n$  representa a dimensão destes vetores, o coeficiente de correlação linear é dado pela fórmula abaixo:

$$r_{xy} = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(x_1 - \bar{x})^2 (y_1 - \bar{y})^2}} \quad (10)$$

O resultado dessa correlação linear permite avaliar a representatividade dos Padrões como situações sinóticas reais. A identificação desses casos permitiu construir o campo médio das variáveis originais associadas ao seu respectivo fator. Esses campos foram encontrados através da composição média dessas variáveis obtidas a partir da ordenação de cada valor do coeficiente de correlação em ordem decrescente e também pelo número de autovalores associado a cada fator.

A análise da configuração espacial dos fatores e os seus respectivos campos médios permitiu inferir as características de alguns sistemas atmosféricos que podem ter contribuído

com as fortes chuvas de João Pessoa. Essas configurações espaciais foram obtidas utilizando o pacote gráfico *Grid Analysis and Display System* (GrADS).

O GrADS é um Sistema de Visualização e Análise de Dados em Pontos de Grade, é um software interativo utilizado nas tarefas de acesso, manipulação e visualização de dados geofísicos em geral. O mesmo trabalha com matrizes de dados de diferentes formatos como: BINÁRIO (fluxo ou sequencial), GRIB (versão 1 e 2), NetCDF ou HDF-SDS (versão 4 e 5) e BUFR (para dados da estação), nas quais as variáveis podem possuir até 4 dimensões (longitude, latitude, níveis verticais e tempo) especificadas por um arquivo descritor.ctl.

Uma das vantagens da utilização do GrADS é a sua distribuição gratuita pela internet, através de sua página oficial: <http://grads.iges.org/grads/index.html>, para diversos tipos de ambiente, podendo ser implementada em sistemas UNIX (workstations), LINUX e DOS(micros). O GrADS possui uma interface programável (linguagem de script) que permite aplicações de análise e exibição sofisticadas. Ele pode ser executado no modo de lote, e a linguagem de script facilita o uso do GrADS para fazer trabalhos longos durante o dia.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na análise da variabilidade temporal da chuva na cidade de João Pessoa-PB foram realizadas medidas estatísticas como as médias climatológicas, desvio padrão e os percentis, todas elas aplicadas às séries de dados anual, mensal e diária. Entretanto, o foco principal da análise foi a identificação dos eventos extremos de precipitação diária e, com base na intensidade e dia de ocorrência desses eventos, investigar a existência de Padrões Atmosféricos que podem influenciar na ocorrência de chuvas extremas na cidade de João Pessoa.

### 4.1 CLASSIFICAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO ANUAL

Através do uso da Técnica do Percentil foi determinada a classe pluviométrica da precipitação anual da cidade de João Pessoa, que caracterizou os totais anuais em cinco (05) classes: como Muito Seco (MS), Seco (S), Normal (N), Chuvoso (C) e Muito Chuvoso (MC). Os limites inferior e superior de cada classe estão descritos no Quadro 3, abaixo. Já na figura 2 é apresentado os mínimos e máximos pluviométricos anuais dentro cada classe.

Ainda usando essa divisão das cinco (05) classes anuais de precipitação, foram apresentados na Tabela 1 os anos que evidenciam as ocorrências de El Niño e La Niña em cada classe.

**Quadro 3** – Limites dos Intervalos das Classes Anuais da Precipitação de João Pessoa-PB do período de 1961-2017 e a Frequência Percentual dos anos em cada classe.

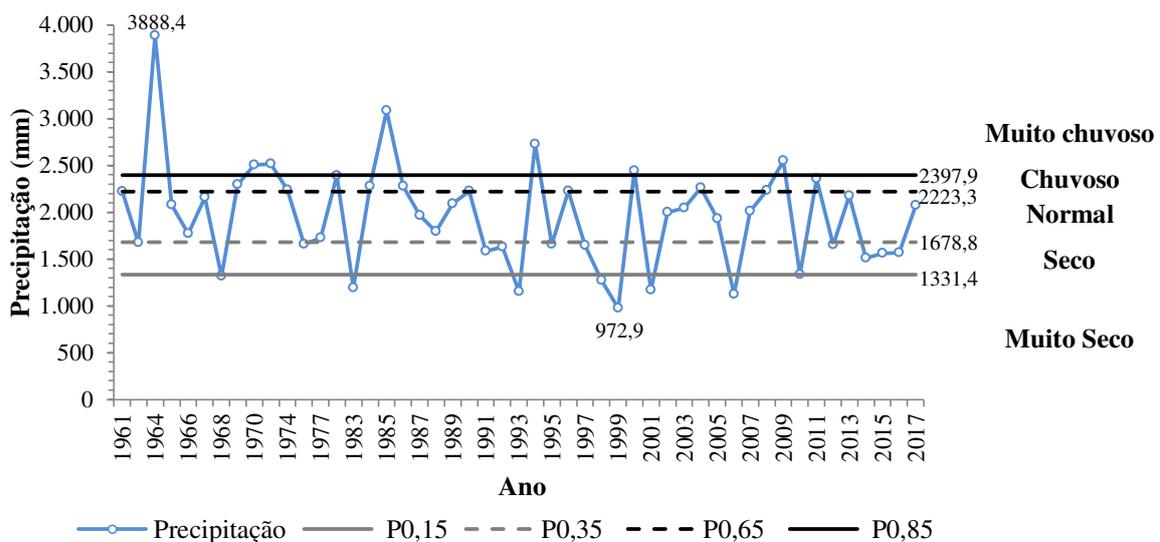
<i>Classes de Precipitação</i>		<i>Precipitação (mm)</i>	<i>Frequência percentual dos anos</i>
1	Muito Seco (MS)	972,9  ——  1331,4	16,33%
2	Seco (S)	1331,4 ———  1678,8	20,41%
3	Normal (N)	1678,8 ———  2223,3	28,57%
4	Chuvoso (C)	2223,3  ——  2397,9	20,41%
5	Muito chuvoso (MC)	2397,9  ——  3888,4	14,28%

Fonte: Elaborado pela autora.

A distribuição anual da precipitação para o período dos 49 anos em estudo, entre o período de 1961 a 2017, apresentou uma média climatológica anual de 1962,9mm. Então, em

acordo com o Quadro 3 e o Gráfico 1, os anos com chuva igual ou superior a esse valor médio anual estão distribuídos entre as classes Normal (N), Chuvoso (C) e Muito Chuvoso (MC). A maior frequência anual está registrada na classe Normal, com aproximadamente 29% dos anos. O limite dessa classe varia entre 1678,8mm e 2223,3mm. Os anos considerados Muito Seco (MS) têm mínimo de 972,9mm e máximo de 1331,4mm, enquanto os considerados Secos (S) variam entre 1331,4mm até 1678,84mm. Juntas as duas classes representam 36,74% dos anos investigados.

**Gráfico 1** - Distribuição do total anual da precipitação e a sua Classificação obtida pelo método dos percentis, no período 1961-2017 da Estação Climatológica do INMET em João Pessoa/PB: Precipitação (linha azul), Percentil<sub>0,15</sub> (linha cinza contínua), Percentil<sub>0,35</sub> (linha cinza tracejada), Percentil<sub>0,65</sub> (linha preta tracejada) e Percentil<sub>0,85</sub> (linha preta contínua).



Elaborado: Autora Shayenny Alves de Medeiros

No gráfico 1, observa-se que os menores índices de precipitação estão nos anos 1968, 1983, 1993, 1998, 1999, 2001, 2006 e 2010 os quais foram classificados como Muito Seco (MS), com valores menores ou iguais a 1331,4mm. Embora, 1999 e 2001 estejam no intervalo de classe dos anos Muito Seco (MS), foram períodos em que se registrou a ocorrência de La Niña (LN) de intensidade moderada (Quadro 2). Por outro lado, nos demais anos dessa classe, têm-se registros de eventos de El Niño (EN), que variam de intensidade moderada a forte.

Em contraste aos períodos muito secos, os anos 1964, 1970, 1973, 1985, 1994, 2000 e 2009 foram classificados como Muito Chuvoso (MC), pois apresentaram valor maior ou igual a 2397,9mm. Observa-se que os valores máximos da chuva anual estão nos anos de 1964 (com 3888,4mm) e em 1985 (com 3085,6mm). É importante ressaltar que no ano de 1964 choveu quase o dobro do valor anual (2145,3mm) esperado, observado por Ramos et al

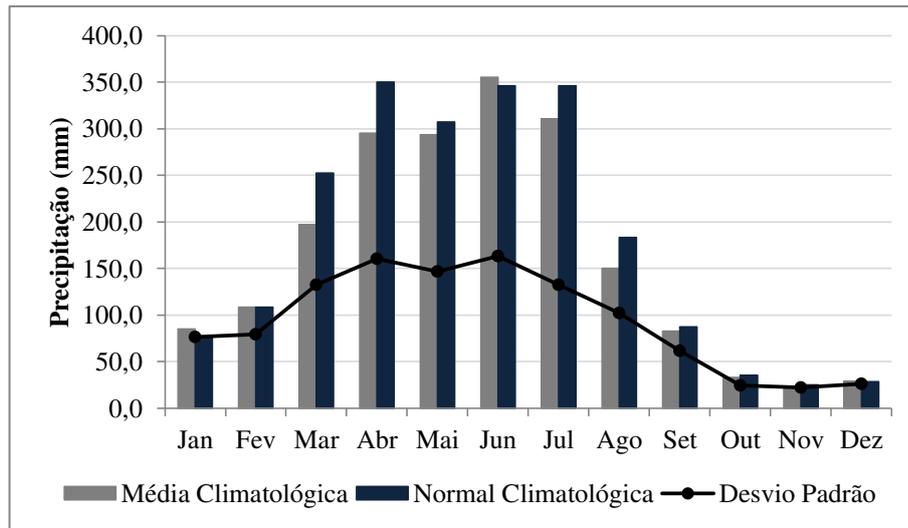
(2009). Esse máximo de chuva do ano de 1964 também foi observado no litoral leste do Nordeste do Brasil, como destacado por Lima (1991). O episódio de La Niña com intensidade moderada registrado nesse ano pode ter contribuído para esse valor elevado.

Os fenômenos El Niño e La Niña têm sido associados à precipitação da Região Nordeste, entretanto esses resultados não evidenciam a influência desses fenômenos sobre a variabilidade da chuva de João Pessoa. Esse resultado também foi apontado por Medeiros (2015) ao investigar a influência de eventos El Niño (EN) e La Niña (LN) na precipitação de João Pessoa, analisando o Desvio Padronizado de Precipitação (DPP) para os anos de ocorrências desses fenômenos. Entretanto, a variabilidade da precipitação, no litoral leste no NE, tem relação com os fenômenos estudados, quando o EN ou o LN ocorre simultaneamente com o Dipolo do Oceano Atlântico, como indicaram os estudos de ANDREOLI e KAYANO (2007) e MOURA et al. (2009).

#### 4.2 CLASSIFICAÇÃO DA VARIABILIDADE MENSAL

Quanta a variabilidade mensal, apresentadas no Gráfico 2, os máximos das médias mensais são observados nos meses de abril (295,11mm), maio (293,41mm), junho (355,4 mm) e julho (310,7 mm). Esse quadrimestre representa quase 64% do total anual esperado. Esse mesmo quadrimestre foi denominado como o quadrimestre chuvoso de regiões localizadas no litoral leste do Nordeste (BARRETO e MEDEIROS, 2013; BARRETO et al., 2008; RAO et al., 1993). No gráfico 2 ainda ressalta-se o mês de junho com valor máximo de precipitação e que a média climatológica do período em estudo são bem próxima da normal climatológica, o que qualifica o uso dessa série de dados.

**Gráfico 2** - Distribuição mensal da normal climatológica da precipitação (1961-1990) e da precipitação média e desvio padrão (DP) do período 1961-2017 para João Pessoa.



Elaborado: Autora Shayenny Alves de Medeiros

Outubro, novembro e dezembro são os meses com menor ocorrência de chuvas. Nos meses em que o desvio padrão é muito próximo da média indica uma maior variabilidade entre os valores mensais da série, o que determina a ocorrência de chuvas atípicas nesses meses, a exemplo de chuvas muito acima da média como: outubro de 1984 (97,8 mm) e dezembro de 1989 (98,5 mm).

Na análise da chuva mensal de João Pessoa também foi investigado a sua variabilidade dentro das classes mensais identificadas através do uso da Técnica dos Percentis, caracterizando os totais mensais como Muito Seco (MS), Seco (S), Normal (N), Chuvoso (CH) e Muito Chuvoso (MC), ilustrados no Quadro 4.

**Quadro 4** - Valores dos Intervalos de Classe Mensal da Precipitação de João Pessoa-PB do período de 1961-2017.

<i>Classes de Precipitação</i>		<i>Precipitação (mm)</i>
1	Muito Seco (MS)	0  ———  19,4
2	Seco (S)	19,4  ———  57,7
3	Normal (N)	57,7  ———  190,4
4	Chuvoso (C)	190,4  ———  323,1
5	Muito chuvoso (MC)	323,1  ———  731,0

Fonte: Elaborado pela autora.

Os meses com chuva de até 19,4mm são considerados meses Muito Secos. Os valores que variam entre 19,4 e 57,7mm classificam os meses como Secos. Os meses do período de transição entre os Secos e os chuvosos são denominados meses Normais e seus totais de precipitação variam entre 57,7 e 190,4mm. Na quarta classe estão os meses chuvosos com chuva de 190,4 e menor que 323,1mm. Já os meses com totais de chuvas maiores que 323,1mm são representados na quinta classe dos meses Muito Chuvosos, com valor máximo 731,0mm. A frequência percentual das cinco (05) classes de precipitação mensal está representada na Tabela 1.

**Tabela 1-** Frequência percentual mensal das classes correspondente ao período de 1961-2017.

Meses	Frequência mensal das classes pluviométricas				
	MS	S	N	C	MC
<b>Jan</b>	12,24%	38,78%	38,78%	10,20%	-
<b>Fev</b>	16,33%	16,33%	53,06%	14,28%	-
<b>Mar</b>	6,12%	6,12%	41,86%	32,65%	12,24%
<b>Abr</b>	-	8,16%	20,14%	34,70%	36,73%
<b>Mai</b>	-	2,04%	22,45%	40,81%	34,70%
<b>Jun</b>	-	-	14,29%	32,65%	53,06%
<b>Jul</b>	-	<b>2,04%</b>	20,40%	34,70%	42,86%
<b>Ago</b>	2,04%	10,20%	63,27%	20,40%	4,09%
<b>Set</b>	4,08%	42,86%	42,86%	10,20%	-
<b>Out</b>	34,70%	46,94%	18,36%	-	-
<b>Nov</b>	59,19%	32,65%	8,16%	-	-
<b>Dez</b>	44,90%	36,73%	18,37%	-	-

Fonte: construída com os dados da pesquisa.

Observa-se que, na distribuição da frequência mensal das classes, o maior percentual associado à classificação Chuvoso (C) e Muito Chuvoso (MC) está no mês de junho, com 85,71% de todos os meses da série, seguido de julho com 77,56%.

Ressalta-se que nenhum dos meses de junho se enquadraram nas classes Seco (S) ou Muito Seco (MS), e apenas no ano de 2016 de toda a série o mês de julho se enquadraram na classe Seco (S), uma situação atípica do que se espera para esse mês.

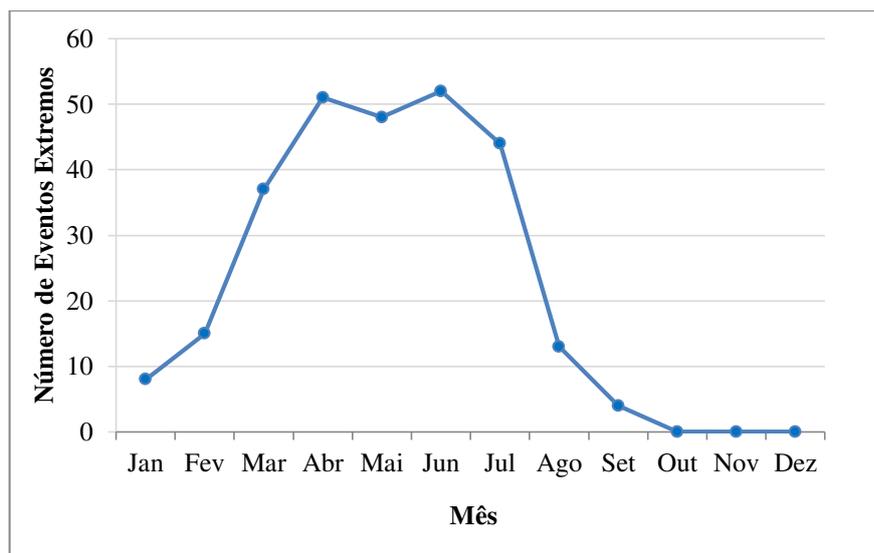
Em contraste a classificação dos meses chuvosos, os meses de outubro, novembro e dezembro apresentam os maiores percentuais dos meses classificados como Secos e Muito Secos, com 81,64%, 91,84% e 81,63%, respectivamente, e nenhum deles apresentou frequências nas classes chuvosas (C e MC).

#### 4.3 CLASSIFICAÇÃO DOS EVENTOS EXTREMOS DE CHUVA DIÁRIA

Na análise temporal diária, a frequência do número de dias efetivamente com chuva de toda a série (1961-2017) é de 9111 dias. A partir da obtenção desses dados diários, foi aplicado a técnica do percentil ( $P_{0,97}$ ), que permitiu identificar um total de 272 eventos extremos de precipitação, com um total diário igual ou maior do que 60mm.

O quadrimestre chuvoso apresenta o número máximo de eventos extremos de chuva, num total de 195 eventos o que representa quase 72% dos casos. Vale ressaltar que nos meses de outubro, novembro e dezembro não houve nenhum evento extremo, meses em que as precipitações diárias estão abaixo de 60 mm (Gráfico 3).

**Gráfico 3** - Frequência mensal dos eventos extremos de precipitação, igual ou superior a 60mm para o período de 1961-2017, na cidade de João Pessoa.



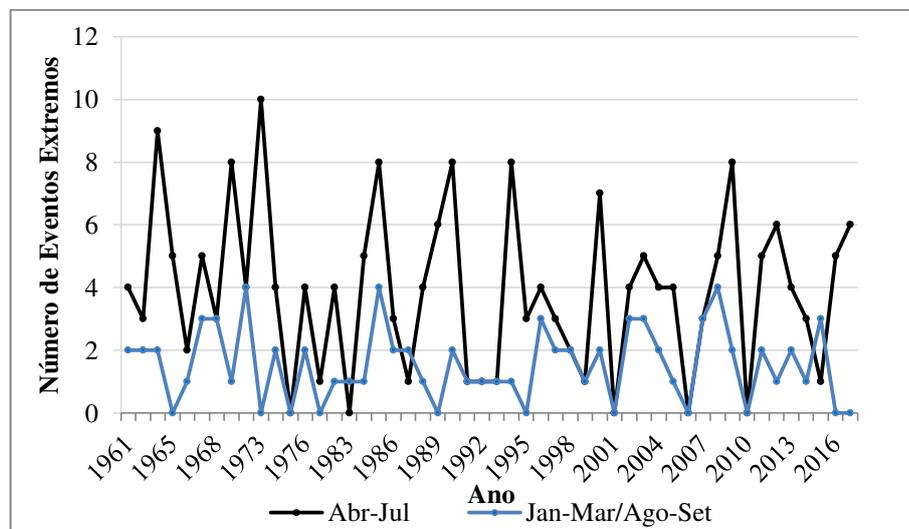
Fonte: Construído com os dados da pesquisa.

A frequência anual dos eventos extremos de precipitação, igual ou superior a 60 mm, é ilustrada no Gráfico 4. Em grande parte dos anos predomina a curva que representa quadrimestre chuvoso em relação à análise conjunta dos meses de janeiro a março e agosto a

setembro. Dos anos classificados com a diminuição nos totais de chuva, os anos Muito Seco (MS) apresentaram um total de 15 eventos extremos de chuva e os anos Seco (S) 38 eventos.

De toda a série de dados, apenas três deles (2001, 2006 e 2010), todos da classe Muito Seco (MS) não registraram nenhum caso de evento extremo. Já o número máximo de eventos registrados é no ano de 1985 com 12 casos, seguido pelo ano de 1964 (11 eventos) e os anos 1973, 1990 e 2009, todos com 10 eventos. Esses cinco anos citados, foram classificados como Chuvoso e Muito Chuvoso.

**Gráfico 4** - Frequência mensal do número de eventos extremos de chuva no período em estudo (1961-2017) no quadrimestre chuvoso (Abr-Jul) e nos meses de Janeiro a março e de agosto setembro (Jan-Mar/ago-Set), na cidade de João Pessoa.



Fonte: Construído com os dados da pesquisa.

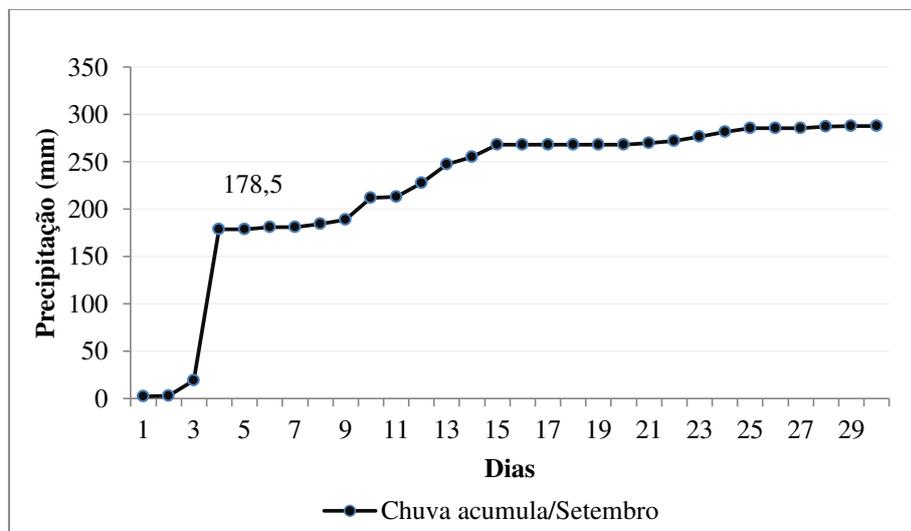
Associado a classificação da variabilidade anual, mensal e diária da chuva, de João Pessoa, é importante evidenciar alguns impactos associados à intensidade dessas chuvas. Como exemplo, os 36 deslizamentos de barreiras, os 73 pontos de alagamentos e os 4 eventos extremos de precipitação, observados em 2013, conforme informações fornecidas pela defesa Civil.

Em particular, no mês de setembro de 2013, os acumulados mensais (287,5mm) excederam a média histórica em mais de 229%, com destaque para os 159 mm registrados no dia 04, associados à propagação de um distúrbio no escoamento de leste (Climanalise, 2013). De acordo com o Gráfico 5, o acumulado dos dias 03 e 04 (176 mm) foi o dobro do total esperado para o mês inteiro (87,2 mm). Esse registro de chuvas em dias consecutivos resultou

em 27 pontos de alagamentos, dificultando a circulação de carros devido às vias interditadas com grande acúmulo de água.

O site da Defesa Civil (<http://www.joaopessoa.pb.gov.br/defesa-civil-segue-monitorando-possiveis-danos-causados-pelas-chuvas/>) divulgou que o número de famílias afetadas pelos desastres em decorrência dessas chuvas de setembro, chegava a 5100, em todas as 31 áreas identificadas como áreas de risco de desastres. Vale ressaltar que nos últimos anos a capital reduziu para 27 o número de áreas consideradas de riscos e com a implantação do Programa João Pessoa em Ação também vem reduzindo o número de ocorrências de desastres na cidade.

**Gráfico 5** - Precipitação acumulada (mm) registrada pela estação Climatológica Principal do INMET do mês de setembro de 2013.



Elaborado: Autora Shayenny Alves de Medeiros

#### 4.4 PADRÕES ATMOSFÉRICOS ASSOCIADOS AOS EVENTOS EXTREMOS DE CHUVA

Com foco na análise desses eventos extremos de chuva, exalta-se a importância de compreender o que acontece na atmosfera e investigar a existência de padrões que podem influenciar na frequência e intensidade dessa chuva.

Inicialmente a Análise Fatorial (AF) foi realizada separadamente para as três matrizes (dois antes do evento extremo, um dia antes do evento e no dia do evento) dos dados de pressão ao nível médio do mar (PNMM), três matrizes. Para averiguar a consistência dos dados originais na aplicação da técnica da AF foi utilizado o teste *Kaiser-Meyer-Olkin* (KMO). O resultado desse teste foi de 0,96, indicando que a covariância da matriz é bastante acentuada e que a análise das Componentes Principais é apropriada.

O método utilizado na Análise de Fatores foi o de Componentes Principais com rotação ortogonal dos eixos fatoriais via *Varimax*, que possibilita uma melhor distribuição das variáveis em relação aos fatores, de forma a facilitar a sua interpretação.

Na definição do número de fatores retidos o critério empregado foi o Método de *Kaiser* juntamente com o critério do *Scree Plot*, que permitiram a observação da ordem dos autovalores e verificação da maior porcentagem da variação total explicada pelos primeiros fatores.

Na análise foram considerados os cinco primeiros fatores rotacionados para o dia do evento (Fx00), um dia antes do evento (Fx-1) e dois dias antes do evento (Fx-2), somando um total de 15 fatores, os quais contêm grande parte das informações importantes sobre os dados originais. A Tabela 2 apresenta as porcentagens da variância explicada por cada um dos fatores, rotacionados e não rotacionados, bem as respectivas porcentagens da variância explicada acumulada.

**Tabela 2-** Valores Próprios (autovalores) e porcentagens da Variância Total Explicada e Explicada Acumulada da pressão ao nível médio do mar (PNMM).

Fator	Não Rotacionado			Rotacionado (VARIMAX)		
	Valor Próprio	Variância Explicada (%)	Variância Acumulada (%)	Valor Próprio	Variância Explicada (%)	Variância Acumulada (%)
<b>F100</b>	132,80	48,82	48,82	65,10	23,93	23,93
<b>F200</b>	24,46	8,99	57,81	44,09	16,21	40,14
<b>F300</b>	20,53	7,55	65,36	39,44	14,50	54,64
<b>F400</b>	17,38	6,39	71,75	31,62	11,63	66,27
<b>F500</b>	13,13	4,83	76,58	28,04	10,31	76,58
<b>F1-1</b>	133,04	48,91	48,91	60,23	22,14	22,14
<b>F2-1</b>	23,26	8,55	57,46	43,54	16,01	38,15
<b>F3-1</b>	19,22	7,07	64,53	36,94	13,58	51,73
<b>F4-1</b>	16,39	6,03	70,56	33,84	12,44	64,17
<b>F5-1</b>	13,83	5,08	75,64	31,19	11,47	75,64
<b>F1-2</b>	130,3	47,9	47,9	60,2	22,1	22,1
<b>F2-2</b>	24,1	8,9	56,8	39,7	14,6	36,7
<b>F3-2</b>	18,4	6,8	63,5	37,1	13,6	50,4
<b>F4-2</b>	16,70	6,14	69,67	36,46	13,41	63,76
<b>F5-2</b>	15,93	5,86	75,53	32,00	11,76	75,53

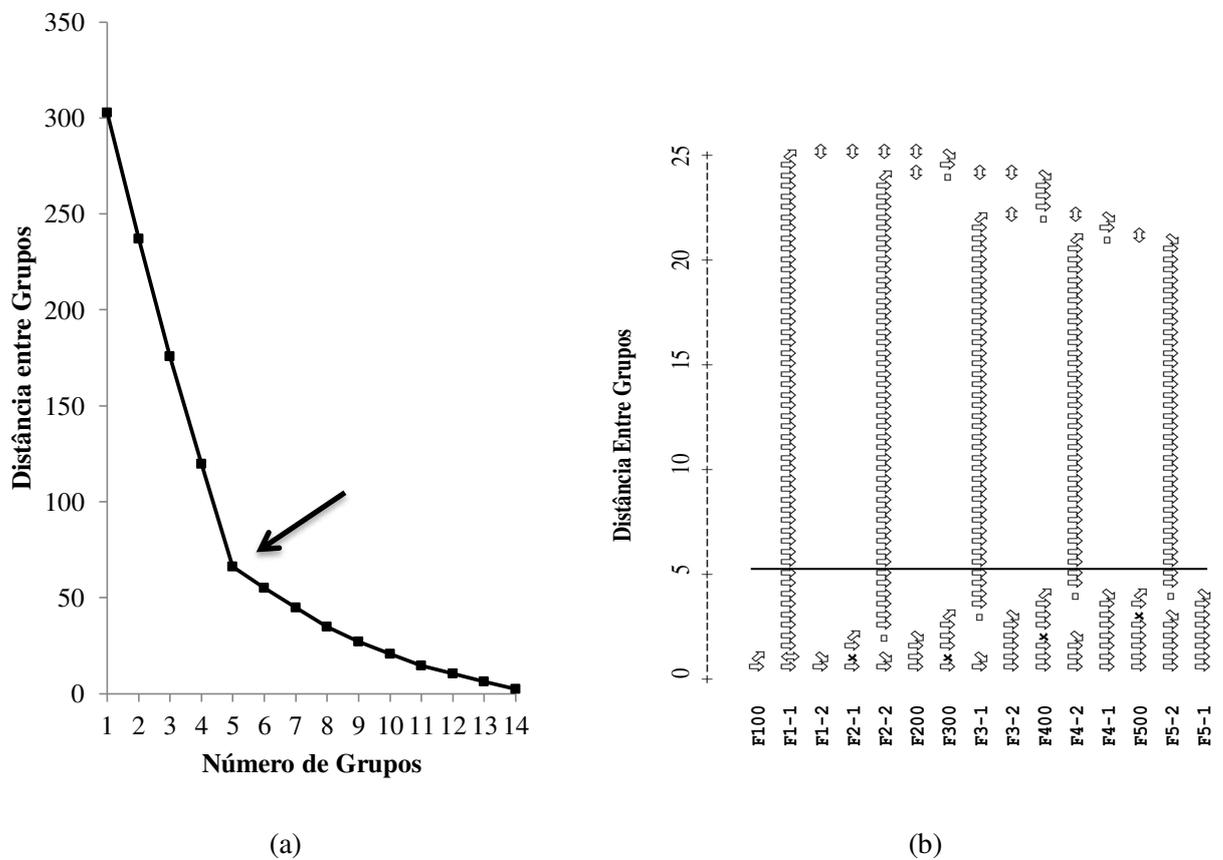
Elaborado: Autora Shayenny Alves de Medeiros

Os cinco primeiros fatores explicam aproximadamente 76% da variância total. Observa-se também que, após a rotação, a maior distribuição das variáveis em relação aos fatores ocorre no primeiro fator comum temporal que explica o máximo da variância dos dados: 48,8% para 23,9% (F100), 48,9% para 22,1% (F1-1), 47,9% para 22,1% (F1-2).

Cada fator abrange o máximo da variância explicada que não foi explicada no fator anterior. Na distribuição espacial desses fatores observa-se que, em geral, os núcleos com contribuições positivas estão relacionados com áreas de alta pressão e os negativos com áreas de baixa pressão.

A análise de agrupamento foi utilizada para identificar, dentre os 15 fatores comuns temporais rotacionados mais significativos da PNMM, os grupos formados com configurações semelhantes. O número de grupos foi determinado através da curva de inércia (Graf 6.a) e do dendrograma (Graf 6.b)

**Gráfico 6** - Tipos de Padrão formados com os fatores comuns temporais rotacionados da pressão ao nível médio do mar (PNMM) do dia-2, dia-1 e dia00: (a) curva de inércia e (b) dendrograma utilizando o método de Ward e a distância euclidiana.



O dendrograma dividiu os quinze fatores em cinco (5) Tipos de Padrão (grupos): Padrão Tipo 1, Padrão Tipo 2, Padrão Tipo 3, Padrão Tipo 4, Padrão Tipo 5. A relação dos fatores pertencentes a cada Tipo de Padrão é apresentada no Quadro 5.

**Quadro 5-** Fatores constituintes de cada Tipo de Padrão da pressão ao nível médio do mar (PNMM).

<b>PADRÃO</b>	<b>dia00</b>	<b>dia-1</b>	<b>dia-2</b>
<b>TIPO 1</b>	F100	F1-1	F1-2
<b>TIPO 2</b>	F200	F2-1	F2-2
<b>TIPO 3</b>	F300	F3-1	F3-2
<b>TIPO 4</b>	F400	F4-1	F4-2
<b>TIPO 5</b>	F500	F5-1	F5-2

Fonte: Construído com os dados da pesquisa.

A escolha do nome de cada grupo foi feita de acordo com o fator associado ao dia em que ocorreu o evento extremo de chuva (dia00), a exemplo do Padrão Tipo 1 que recebe esse nome porque está relacionado com o primeiro fator do dia00 (F100), Padrão Tipo 3 que está relacionado com o terceiro fator do dia00 (F300), etc.

Na distribuição espacial desses fatores observa-se que, em geral, os núcleos com contribuições positivas estão relacionados com áreas de alta pressão e os negativos com áreas de baixa pressão. A seguir são discutidas as características dos três primeiros Padrões, pois embora tenham sido selecionados cinco (5) tipos, o Padrão Tipo 4 e 5 foram excluídos da discussão devido à dificuldade na interpretação da configuração espacial dos fatores. A discussão é feita juntamente com os campos médios da PNMM.

#### **4.4.1 Padrão do Primeiro Fator (Tipo 1)**

O Padrão do Primeiro Fator é formado pelos fatores F100, F1-1 e F1-2, apresentados na figura 2. Na distribuição espacial desses fatores, uma área negativa, que representa baixa pressão, domina uma faixa latitudinal entre 15°N e 15°S sobre a América do Sul e parte do Oceano atlântico, o que indica a presença da ZCIT. Vale ressaltar que essa área negativa estende-se por quase todo o continente da América do Sul.

Os campos médios da PNMM relacionados com esses fatores (Fig. 2) apresentam configurações semelhantes aos mesmos, delimitado pela isóbara de 1012 hpa. A sequência dos mapas médios mostra ainda a desintensificação da alta subtropical do Pacífico Sul (ASPS) no extremo sul do mapa (PNMM F100). Os mapas médios mostram também a alta subtropical do Atlântico Sul (ASAS) centrado no leste do Atlântico subtropical e o domínio da alta subtropical do Atlântico Norte (ASAN) ao norte de 15°N.

Áreas positivas (alta pressão) são vistas entre 30°N e 15°N, se estendendo do Golfo do México até parte do norte da África, caracterizando Alta Subtropical no Pacífico Norte (ASAN), bem como as Altas Subtropicais no Pacífico Sul (ASPS) e Atlântico Sul (ASAS).

#### **4.4.2 Padrão Segundo Fator (Tipo 2)**

Na distribuição do Padrão do Segundo Fator é possível identificar um cinturão de baixa pressão formado na faixa latitudinal de 30°N a 10°S que se estende do Golfo do México até o norte da África e destaca duas áreas de núcleos mais intensos. Essa faixa de baixa pressão atinge parte do norte do Brasil. Essa mesma configuração foi vista no primeiro fator e indica a presença de ZCIT. Áreas positivas localizadas no Pacífico Sul e Atlântico Sul avançam e se intensificam para o extremo sul do continente, essas áreas indicam configurações de Altas Subtropicais nos Oceanos.

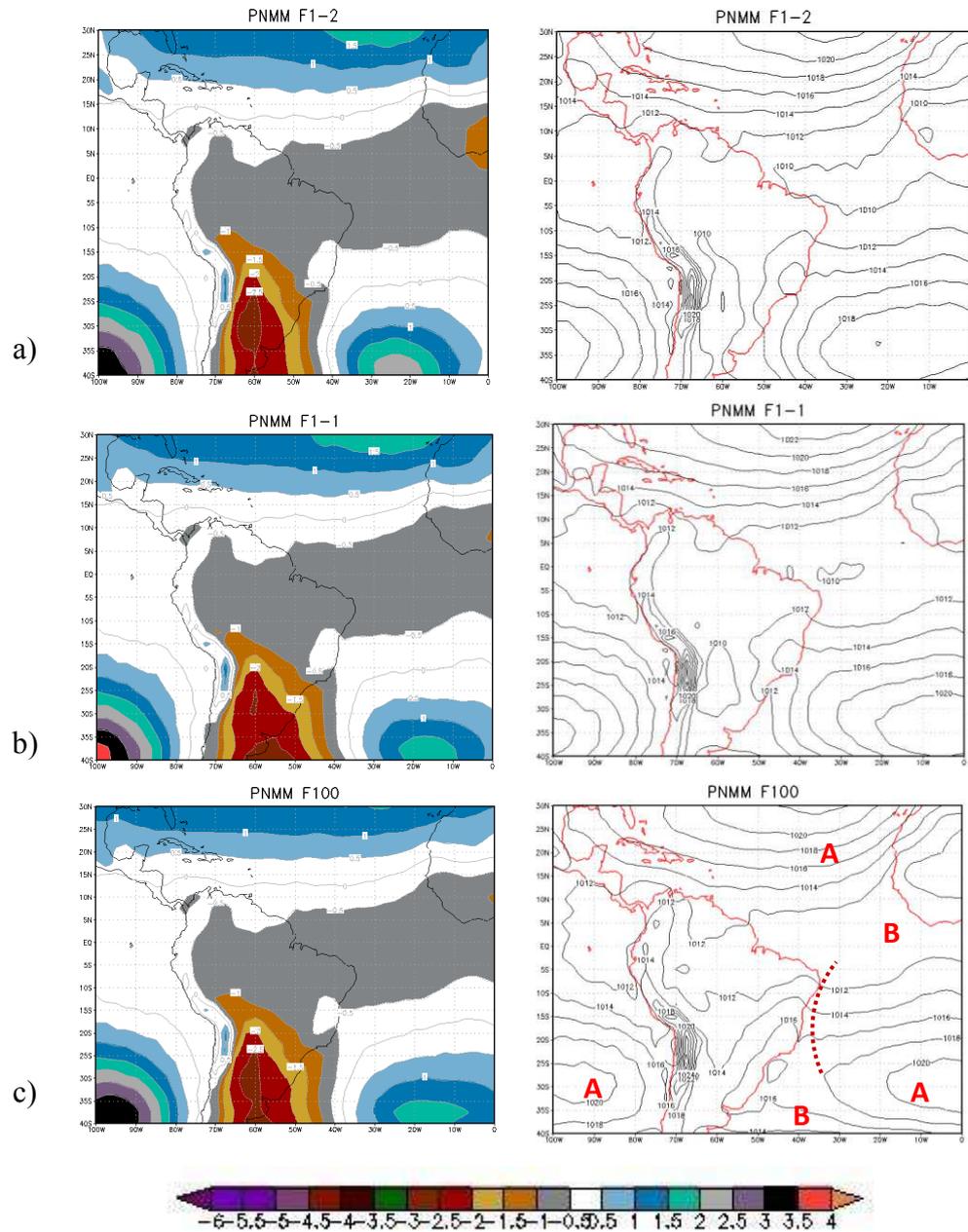
Os campos médios da PNMM relacionados com esses fatores (Fig. 3) apresentam configurações semelhantes aos mesmos, evidenciando a presença do cavado equatorial (e da ZCIT), delimitado pela isóbara de 1014 hpa, próximo a América do Sul. A sequência dos mapas médios mostra ainda a intensificação das Altas Subtropical do Atlântico e Pacífico Sul e a desintensificação do cinturão de baixa pressão ao norte de 30°N.

#### **4.4.3 Padrão Terceiro Fator (Tipo 3)**

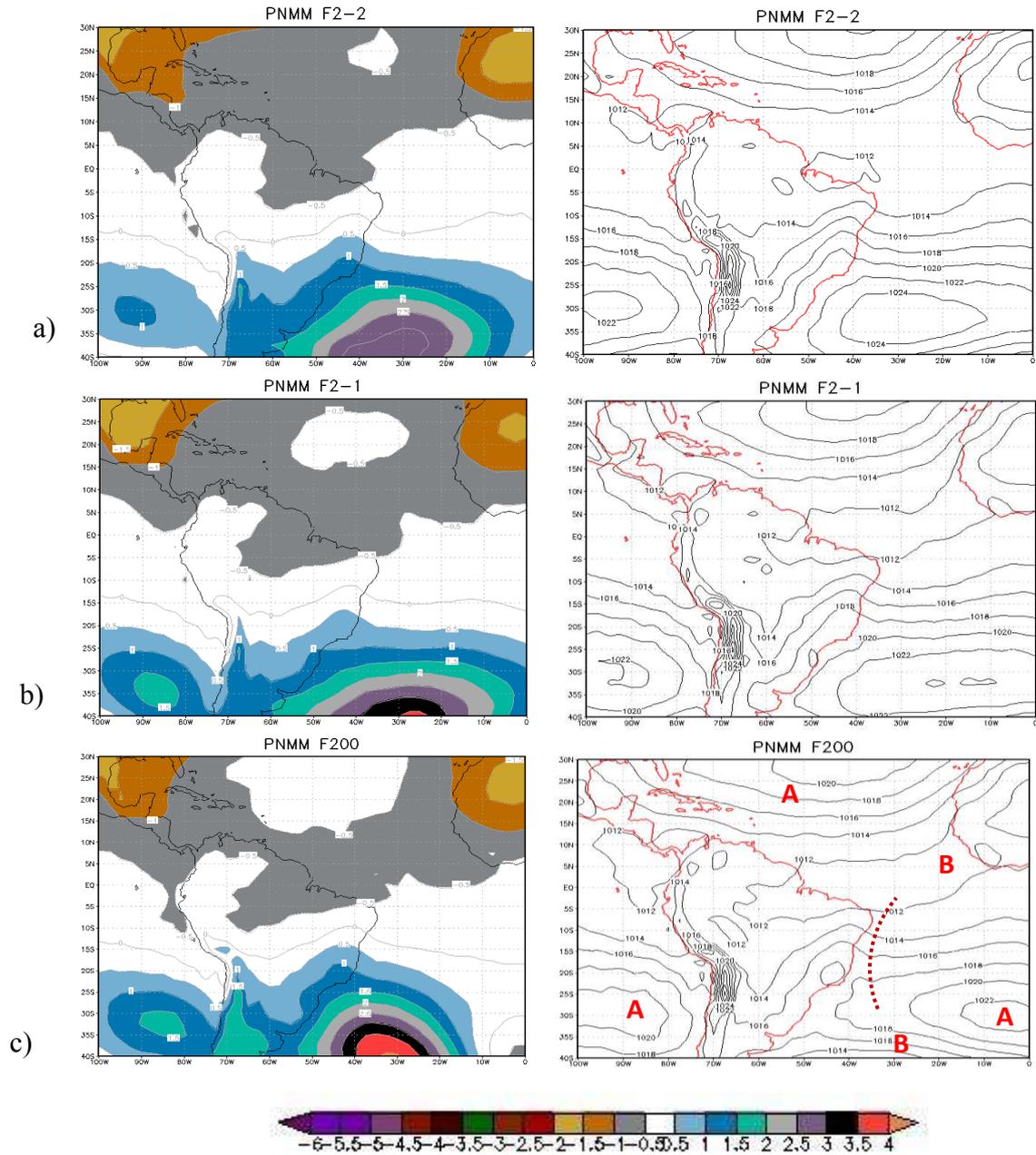
As distribuições espaciais desse padrão mostram um núcleo positivo na área oceânica ao leste do Brasil, que se aproxima de parte do estado da Bahia, do sudeste e sul do país. No Atlântico Sul há um núcleo de alta pressão se formando numa faixa latitudinal entre 5°S e 40°S caracterizando uma Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), já no Pacífico Sul um núcleo de baixa pressão vem atingindo a região sul da América do Sul, mais acima na faixa latitudinal entre 10°S e 30°S no sudoeste do continente, atingindo Peru, Bolívia, Paraguai e Argentina, há um núcleo de alta pressão. Na faixa latitudinal entre 30°N e 15°N, o núcleo positivo (alta pressão) diminui tanto espacialmente quanto de intensidade em relação aos dois dias antes do evento ao dia do evento. No decorrer dos três dias há uma formação de um pequeno núcleo de baixa pressão que atinge parte do nordeste ocidental e oriental.

Os campos médios da PNMM relacionados com esses fatores (Fig. 4) apresentam configurações semelhantes aos mesmos, evidenciando os núcleos de baixa pressão no Pacífico Sul, e a intensificação da ASAS, condizendo com os mapas dos fatores.

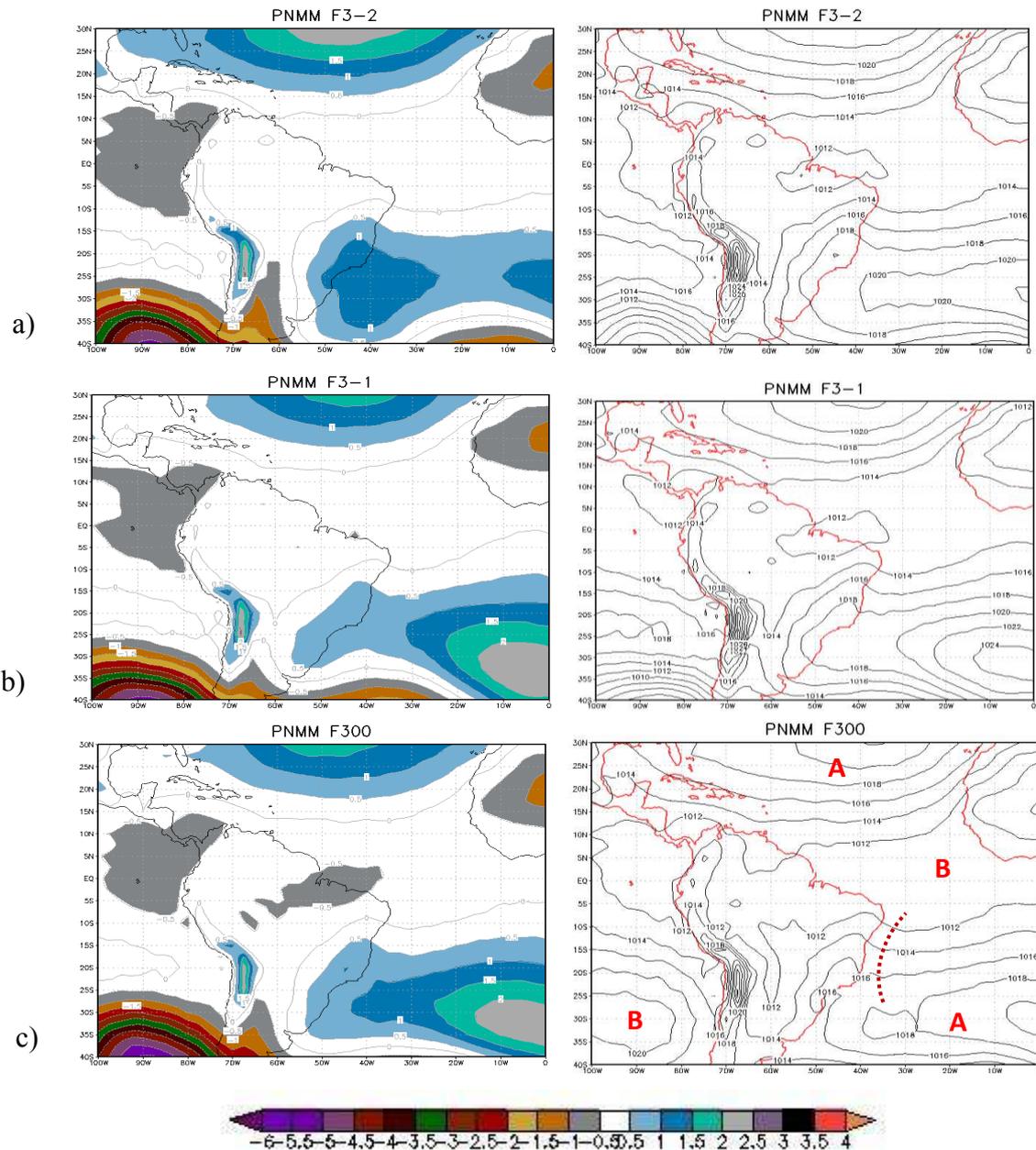
**Figura 2** - Distribuição Espacial do Primeiro Fator e a pressão ao nível médio do mar (PNMM) e os Campos Médios de Pressão. O valor das isóbaras é dado em hectopascal (hpa). Os centros de alta (baixa) pressão indicados pela letra A (B). (a) dois dias antes do evento (F1-2), (b) um dia antes do evento (F1-1) e (c) no dia do evento (F100).



**Figura 3** - Distribuição Espacial do Segundo Fator e a pressão ao nível médio do mar (PNMM) e os Campos Médios de Pressão. O valor das isóbaras é dado em hectopascal (hpa). Os centros de alta (baixa) pressão indicados pela letra A (B). (a) dois dias antes do evento(F2-2), (b) um dia antes do evento (F2-1)e (c) no dia do evento (F200).



**Figura 4** - Distribuição Espacial do Terceiro Fator e a pressão ao nível médio do mar (PNMM) e os Campos Médios de Pressão. O valor das isóbaras é dado em hectopascal (hpa). Os centros de alta (baixa) pressão indicados pela letra A (B). (a) dois dias antes do evento (F3-2) (b) um dia antes do evento (F3-1) e (c) no dia do evento (F300).



## 5 CONCLUSÕES

Na análise da variabilidade anual a Técnica dos Quantis caracterizou os totais anuais e mensais em cinco classes: como Muito Seco (MS), Seco (S), Normal (N), Chuvoso (C) e Muito Chuvoso (MC), os anos foram analisados juntamente com períodos em que se registrou a ocorrência de La Niña (LN) e de El Niño (EN) e os resultados não evidenciaram a influência desses fenômenos sobre a variabilidade da chuva de João Pessoa.

Na variabilidade mensal, a distribuição da frequência mensal das classes tem maior percentual associado à classificação Chuvoso (C) e Muito Chuvoso (MC) no mês de junho (85,71%) e julho (77,56%). Já a classificação dos meses chuvosos, os meses de outubro, novembro e dezembro apresentam os maiores percentuais dos meses classificados como Secos e Muito Secos, com 81,64%, 91,84% e 81,63%, respectivamente.

Com o cálculo do percentil 97 ( $P_{97}$ ) foram identificados 272 eventos extremos de precipitação, com valor diário igual ou superior a 60mm e frequência máxima no período de abril a julho (quadrimestre chuvosos).

Através da Análise de Componentes Principais, aplicada à pressão ao nível médio do mar, foram investigados três padrões atmosféricos relacionados com os três primeiros fatores da ACP e os eventos extremos de chuva ocorridos em João Pessoa. Nos Padrões do primeiro e segundo fator (Tipo 1 e Tipo 2), observou-se uma configuração indicativa da ZCIT nas baixas latitudes, e a presença das ASAS e ASPs nas latitudes médias, já o Padrão para o terceiro fator (Tipo 3) não se observa a presença da ZCIT e evidencia a presença de núcleos de baixa pressão nos Oceanos Pacífico e núcleos de alta pressão Atlântico Sul e Norte.

Pesquisas que estudem o regime de chuvas de uma cidade e com eles os padrões de circulação atmosférica relacionados com os eventos extremos de chuva são de grande importância e contribuem positivamente para a população, já que podem auxiliar o trabalho da Defesa Civil da cidade no combate dos desastres.

## REFERÊNCIAS

ALVES, J. M.; FERREIRA, F. F.; CAMPOS, J. N. B.; SOUZA, E. B.; DURAN, B. J.; SERVAIN, J. ; STUART. Mecanismos Atmosféricos Associados à Ocorrência de Precipitação Intensa sobre o Nordeste do Brasil durante Janeiro/2004. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Cachoeira Paulista - SP, v. v.21, n. n. 1, p. 1-21, 2006.

ALVES, J.M., TEIXEIRA, R.F.B., FERREIRA, A.G. Um Intenso Sistema Convectivo de Mesoescala no Setor Leste do Nordeste: O Caso de 20 a 21 de maio de 1999. **Revista Brasileira de Meteorologia**, vol. 16, n. 1, p. 19-31, 2001.

AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C. Padrões espaço-temporal Pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando Análise Multivariada. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, p. 323 – 338, 2012.

ANDREOLI, R.V.; KAYANO, M.T. Enso-Related Rainfall Anomalies in South America and Associated Circulation Features During Warm and Cold Pacific Decadal Oscillation Regimes, International Journal of Climatology. **Internacional Journal Climatology**, 25: p. 2017–2030, 2007.

ANJOS, B. L., COSTA, A. M., ANJOS, D. L. Chuvas diárias em João Pessoa. Uma Contribuição para a Defesa Civil. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14. 2006. Florianópolis-RS.

ARAÚJO, S. M. B. **Estudo da variabilidade climática em regiões homogêneas de temperaturas médias no Rio Grande do Sul**. Pelotas: UFPel, 2005. 54f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Curso de Pós-Graduação em meteorologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2005.

BARRADAS, A.R.; NIGAM, S. Warm season rainfall variability over the U.S. Great Plains in observations, NCEP and ERA-40 reanalyses, and NCAR and NASA atmospheric model simulations. **Journal Climate**, v.18,1808 – 1830, 2005.

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.

BARRETO, A. B. **Eventos extremos de chuva em Salvador: uma abordagem matemático-estática do ambiente atmosférico.** 2012. 149 F. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande-UFPG, Campina Grande. 2012.

BARRETO, A. B.; MEDEIROS, B. C. Investigação da variabilidade da precipitação em João Pessoa e os eventos extremos de chuva. In: XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2013.

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. Anais... SÃO PAULO. 1 CD. 2008.

CARVALHO, C. S. e GALVÃO, T (org). Ministério das Cidades. **Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais.** Brasília: Ministério das Cidades; Cities Alliance, 2006, 111 p.

ESTEBAN, P.; MARTEN-VIDE, J.; MASSES, M. Daily Atmospheric Circulation Catalogue for Western Europe using Multivariate Techniques. *International Journal of Climatology*, v. 26, p. 1501-1515, 2006.

EVERITT, B. **Cluster Analysis.** Heinemann Educational Books, London, 1974. 135p.

FERREIRA, A. G. e MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, 2005.

FRAGOSO, M., GOMES, P.T. Classification of daily abundant rainfall patterns and associated large-scale atmospheric circulation types in Southern Portugal. *Int. J. Climatol.*, 28:537-544, 2008.

GARAYALDE, E.J.G.; da SILVA, M.G.A.; TAVARES, A. de SÁ. Classificação mesoclimática da região sul do Brasil pela análise de Componentes Principais. In: Congresso Interamericano de Meteorologia, 1. Congresso Brasileiro de Meteorologia, 1986, Brasília. Anais..., Brasília: Sociedade Brasileira de Meteorologia, v.1, 1986. p. 119- 124.

HAIR, Jr. J. F; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. Análise Multivariada de Dados.Ed. Bookman. 5ª edição, 593 pag..Porto Alegre, 2005.ISBN 85-363-0482-0.

JOHNSON, RA; WICHERN, DW. **Análise estatística multivariada aplicada**. Prentice Hall, New Jersey, 4ª edição, 1998.

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

LIMA, M. C. **Variabilidade da precipitação no litoral leste da região Nordeste do Brasil. 1991**. 222 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1991.

MEDEIROS, B. C. **Análise Quantitativa da Variabilidade da Chuva em João Pessoa/Pb, em Várias Escalas de Tempo**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Biosistemas) – Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, Sumé, 2015.

MEDEIROS, S.A.; BARRETO, A. B. Investigação da Variabilidade da chuva em João Pessoa e os riscos de desastres naturais relacionados a essas chuvas. Engenharias e ciências exatas. In: XIV CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, s/n., 2017, Universidade Federal de Campina Grande. [S.l.: s.n.], 2017. p. 1-15. v. I.

MELO, A. B. C. **Previsibilidade da precipitação na região semi-árida do Nordeste do Brasil, durante a estação chuvosa, em função do comportamento diário das chuvas na pré-estação**. 1997. 124f. Tese (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, Paraíba.

MENDONÇA, F; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 206 p.

MENDONÇA, F; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 206 p.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. Uma Revisão da Dinâmica das Chuvas no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia** 17(1):1-10, ISSN0102-7786, 2002.

MOURA, G. B. A.; ARAGÃO, J. O. R.; MELO, J. S. P.; SILVA, A. P. N.; GIONGO, P. R.; LACERDA, F. F. Relação entre a precipitação do leste do Nordeste do Brasil e a temperatura dos oceanos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 462-469, 2009.

NASCIMENTO, F. das C. N. **Padrões climáticos associados à periodicidade de eventos extremos de precipitação no Estado do Maranhão**. 108p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2014.

PEREIRA, M. D. B; MONTEIRO, D. C. S; SILVA, N. T; MOURA, M. O. Avaliação Quantitativa das Precipitações Diárias Intensas na Cidade de João Pessoa, Paraíba. **Revista GeoNorte**, Manaus. Edição especial 2, 2012. p 921 - 929. Disponível em: <http://www.periodicos.ufam.edu.br/revista-geonorte/article/view/2443/2253>. Acessado em: 07/02/2018.

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).

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

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.; CHAPA, S.R.; FRANCHITO, S.H. Decadal variation of atmosphere-ocean interaction in the tropical Atlantic and its relationship to the Northeast Brazil rainfall. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v.77, n.1, p.63-75, 1999.

RICHMAN, M. B. Rotation of principal components. **Journal of Climatology**, 6:293-335, 1986.

SANTOS, A. P. Precipitação **na cidade de Salvador: classificação em quantis e análise de um evento climático extremo**. 2013. 100 F. Dissertação (Doutorado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, Campina Grande 2013.

SCHEUREN, J.-M.; POLAIN, O. le; BELOW, R.; GUHA-SAPIR, D.; PONSERRE, S. Annual disaster statistics review. 2007. World Wide Web, <http://www.emdat.be/Publications/publications.html>. 1, 3.

SILVA DIAS. M.A.F., SILVA DIAS, P.L. As Incertezas Regionais nos Cenários de Mudanças Climáticas Globais. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 4, abril. 2007.

WILKS, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. 2. ed. London, Academic Press, 2006. 649p.

WILKS, D. S. **Statistical Methods in the atmospheric Sciences**. Academic Press, San Diego, 1995, 467p.

XAVIER, T. DE MA. B. S. **Tempo de Chuva- estudos climáticos e de previsão para o Ceará e o Nordeste Setentrional**. Fortaleza: ABC Editora, 2001. 478p.

XAVIER, T. M. B. S. **A técnica dos quantis e suas aplicações em meteorologia, climatologia e hidrologia, com ênfase para as regiões brasileiras.** Brasília, DF: Thesaurus, 2002. 143p.

XAVIER, T. M. B. S. Caracterização de Períodos secos ou excessivamente chuvosos no Estado do Ceará através da Técnica dos Quantis: 1964-1998. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 14, n.2, p.63-78. 1999.